

〈응용논문〉

## 능동 현가 제어시스템을 위한 차량 롤 모델 개발

전 창준·나 호용·유승한\*

한국기술교육대학교 기계공학부

### Development of Vehicle Roll Model for Active Suspension Control System

Changjun Jeon · Hoyong Na · Seung-Han You\*

School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungnam 31253, Korea

(Received 16 October 2019 / Revised 16 December 2019 / Accepted 17 December 2019)

**Abstract** : This paper presents a vehicle roll model for a vehicle equipped with an active and/or semi-active suspension control system, such as ARS(Active Roll System) and ECS(Electronic Control Suspension). First, the second-order roll dynamics equation with lateral acceleration sensor input is derived, and, then, it is reduced to the first-order system upon consideration of frequency response characteristics. Roll moment generated by ARS is applied to the roll model as additional moment input, and damper characteristic variation by ECS is reflected on the time constant of the first-order roll model. The proposed roll model is verified by experimental vehicle tests and CARSIM simulation. Results show relative improvement in estimation accuracy, compared to previous approaches.

**Key words** : Vehicle roll angle(차량 롤 각), Model order reduction(모델 차수 축소), Active roll system(능동 롤 시스템), Electronic controlled suspension(전자제어 현가장치), Vehicle model(차량 모델)

#### Nomenclature

$\phi$	: vehicle roll angle at c.g of vehicle, deg
$\omega_z$	: vehicle yaw rate, deg/s
$v_x, v_y$	: longitudinal/lateral velocity at c.g of vehicle, m/s
$a_{y, sensor}$	: lateral acceleration from sensor, m/s <sup>2</sup>
$I_{xx}$	: vehicle roll inertia, kg·m <sup>2</sup>
$C_\phi$	: vehicle roll damping coefficient, N·m/s/rad
$K_\phi$	: vehicle roll stiffness coefficient, N·m/rad
$m_s$	: vehicle sprung mass, kg
$h$	: height from roll center to c.g, m
$g$	: gravity acceleration, m/s <sup>2</sup>
$\varphi$	: road bank angle, deg
$K_{DC\ gain}$	: DC gain of first-order roll model
$T_s$	: time constant of first-order roll model
$M_{ARS}$	: ARS roll moment, N·m
$D_f$	: front damper damping ratio
$D_r$	: rear damper damping ratio
$k_T$	: time constant tuning gain

#### 1. 서론

차량의 롤 운동은 선회운동에 따른 횡방향 관성력과 좌우 불균일한 노면 입력에 의해 발생된다. 일반적인 On-road 주행 상황에서 조향 입력에 의한 횡방향 관성력은 주로 1 Hz이하의 주파수 영역에서 롤 운동을 발생시킨다. 한편 고속 주행에서는 급격한 조향을 하면 큰 롤 모션이 발생되며, 이때 내륜에서 외륜으로의 하중 이동이 크게 일어나 차량의 횡방향 자세가 불안정해질 수 있다.<sup>1)</sup> 이런 상황에서 차량의 안정성과 승차감을 동시 개선하기 위해, 롤 각을 저감시키는 능동 롤 제어시스템(ARS) 및 서스펜션의 댐핑력을 조절하는 전자제어 서스펜션(ECS)과 같은 능동/반능동 현가 제어시스템들이 적용되어 왔다.<sup>2,3)</sup> 최근 고급 승용차량에서의 능동 현가 제어시스템들의 적용이 확대되어 가고 있으며 보다 제어 응답성이 빠르고 신뢰성 및 정확도가 높은 시스템 사양이 요구되고 있다. 본 연구에서는 다양한 주행 상황 별 최적의 능동적인 롤 모멘트 및 댐핑력을 발생시켜 차량의 롤 거동을

\*Corresponding author, E-mail: shyoo@koreatech.ac.kr

<sup>1</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

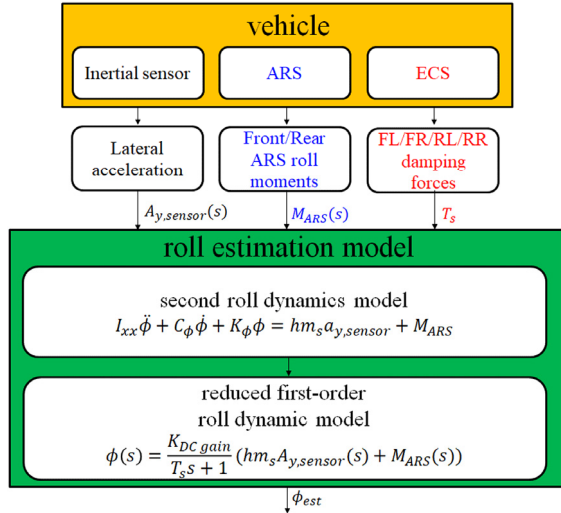


Fig. 1 Vehicle roll model structure

제어하는 능동/반능동 현가 제어시스템들이 반영된 차량에 대한 단순화된 차량 롤 모델을 제안하였다.

차량의 롤 각 추정에 대한 연구는 지난 20~30년간 활발하게 진행되었으며 현재까지도 여전히 이뤄지고 있다. 기존 연구들에서는 주로 횡가속도 센서를 모델 입력으로 하는 롤 운동방정식을 통해 롤 각을 추정하였다. 하지만, 많은 연구에서 롤 운동방정식의 롤 각가속도와 롤 각속도를 생략하여 정상상태 롤 각을 추정하였기 때문에 횡가속도가 빠르게 변화하는 선회 조건에서는 롤 각 추정이 정확하지 못한 경우가 발생하였다.<sup>4)</sup> 또한, 차량의 롤 각속도를 적분하는 방법 혹은 무게중심의 높이와 수직운동방정식을 통해 롤 각 추정 알고리즘을 개발해왔지만, 능동/반능동 현가 제어시스템이 롤 모델에 적절하게 반영되지 않아 ARS/ECS 제어가 적용되는 상황에서 롤 각 추정 성능의 한계가 존재한다.<sup>4,7)</sup>

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 능동/반능동 현가제어시스템이 장착된 차량에서 횡가속도 센서와 ARS/ECS의 제어 정보를 이용하여 차량의 롤 각을 추정하는 단순화 차량 롤 모델을 개발하였다. 제안 차량 롤 모델에서는 횡가속도 센서 계측치를 모델 입력으로 하는 2차 롤 운동방정식을 기반으로 모델 차수 축소 과정을 거쳐 1차 시스템으로 변환하였다.

여기서, ARS를 통해 생성된 롤 모멘트를 제안 롤 모델의 추가 모멘트 입력항으로 반영하고 ECS제어 효과에 의한 댐핑력 변동을 1차 롤 모델 시정수 파라미터에 반영하는 롤 각 추정 알고리즘을 제안하였다.

2장에서는 차량의 2차 롤 운동방정식에 대한 설명과 차량 롤 계측치의 주파수 분석을 통해 2차 시스템을 1차 시스템으로 변환한 모델 차수 축소의 타당성을 설명하였

다.<sup>8)</sup> 3,4장에서는 ARS/ECS가 각각 반영된 차량에서의 제안된 롤 각 추정 모델 도출 과정에 대해 설명하였으며, 실차 실험과 Carsim 시뮬레이션 검증을 통해 모델 정확도를 분석, 검증하였다. 그 결과 기존 모델 대비하여 제안 롤 모델의 개선된 롤 각 추정 성능을 확인하였다.

## 2. 차량의 시스템 및 모델링

본 연구에서는 스프링, 댐퍼 및 롤 회전 관성으로 단순화된 차량 롤 모델을 사용하였다. 차량이 선회하는 경우, 원심력에 의해 선회 바깥쪽으로 롤 거동이 발생한다. Fig. 2와 같이 롤 중심에서 발생하는 스프링과 댐퍼의 반력 롤 모멘트, 무게중심에서 발생하는 횡방향 관성에 의한 모멘트, 중력에 의한 모멘트가 롤 각가속도를 발생시키는 차량 Sprung mass의 롤 2차 선회운동방정식은 식 (1)과 같다.

$$I_{xx}\ddot{\phi} = -C_{\phi}\dot{\phi} - K_{\phi}\phi + hm_s(v_x\omega_z + \dot{v}_y)\cos(\phi) - hm_s(g\sin(\varphi - \phi)) \quad (1)$$

한편, 횡가속도 센서 계측치는 식 (1)의 순수 횡방향 가속도 성분  $v_x\omega_z + \dot{v}_y$ 과 중력 가속도 성분  $g\sin(\varphi - \phi)$ 을 포함하며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{y,sensor} = (\dot{v}_y + v_x\omega_z)\cos(\phi) - g\sin(\varphi - \phi) \quad (2)$$

참고로, 중력 가속도 성분은 도로에 대한 차량 롤 각 ( $\phi$ )뿐만 아니라 도로 횡경사각( $\varphi$ )도 포함하기 때문에 식 (1)은 횡경사 노면에서도 그 유효성이 유지된다. 결과적으로 롤 모멘트 평형식 (1)은 식 (3)과 같이 간략하게 표현된다.

$$I_{xx}\ddot{\phi} + C_{\phi}\dot{\phi} + K_{\phi}\phi = hm_s a_{y,sensor} \quad (3)$$

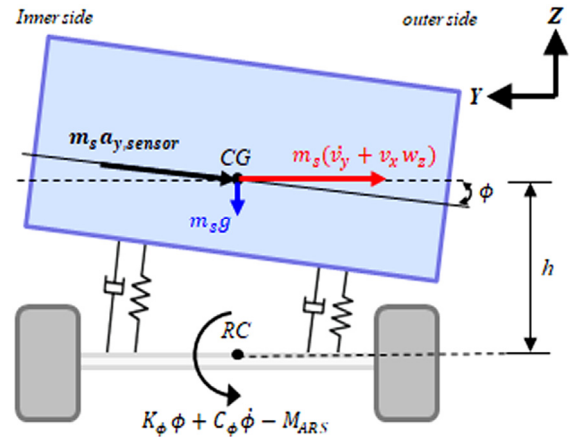


Fig. 2 Vehicle roll dynamic model

식 (3)을 라플라스 변환하면 식 (4)와 같다.

$$\Phi(s) = \frac{hm_s}{I_{xx}s^2 + C_\phi s + K_\phi} A_{y,sensor}(s) \quad (4)$$

식 (4)에서의 2차 롤 운동 모델은 시스템에서 기여도가 상대적으로 적은 상태변수를 제거하고 중요한 모델의 특성만을 보존하는 방식인 Balanced truncation 방법론<sup>8)</sup>을 통해 1차 롤 운동 모델로 변환하면 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\Phi(s) = \frac{K_{DC} gain}{T_s s + 1} \times (hm_s A_{y,sensor}(s)) \quad (5)$$

Balanced truncation 방법론에 의해 도출된 1차 시스템은 2차 시스템 대비 과도 응답 측면에서 정확도가 다소 저하되지만, 본 연구의 관심 주행 상황인 On road 핸들링 조건의 롤 거동의 주파수 영역대(주로 1 Hz 이하)에서는 롤 각 추정 성능에는 큰 차이가 없었으며, 차량 ECU에서

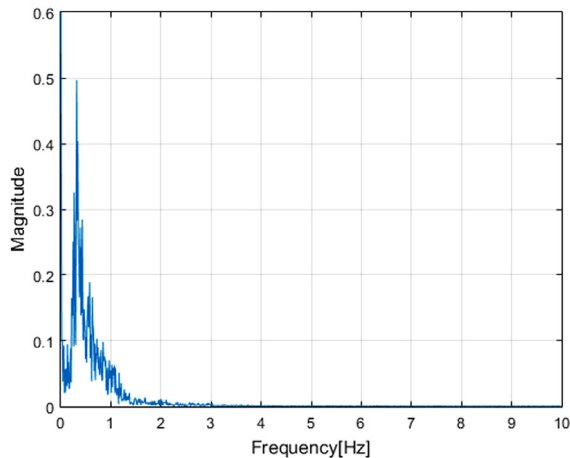


Fig. 3 Fast Fourier Transform(FFT) result for measured vehicle roll angle in handling situation (sampling 100 Hz)

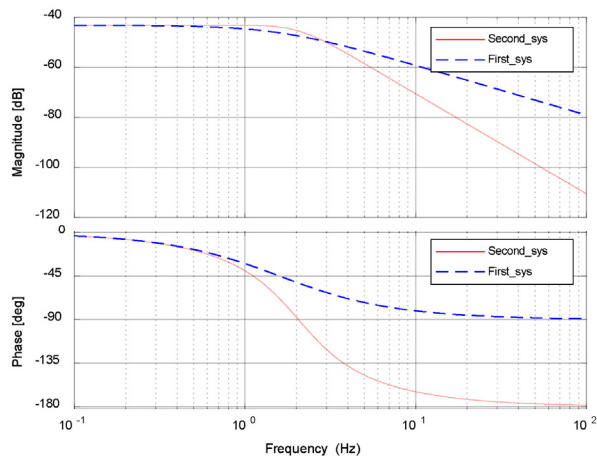


Fig. 4 Bode plot in respect to comparison first-order system with second-order system

연산 부하가 감소할 뿐만 아니라 모델 파라미터의 간소화로 모델 분석이 용이한 장점이 존재한다.

Fig. 3은 능동 현가 제어시스템이 적용된 실제 차량의 다양한 차속에서 조향에 의한 롤 계측 데이터를 주파수 분석한 결과이다. 이를 통해 대부분 On road 핸들링 상황에서 롤 운동은 1 Hz이하의 주파수 영역에서 발생함을 확인하였다. 한편, Fig. 4는 Bode선도를 통해 2차 시스템과 모델 축소된 1차 시스템의 주파수 영역에서의 게인 및 위상 지연 차이를 보여준다. 1 Hz이하 저주파 구간에서는 모델 축소 1차 시스템의 게인과 위상이 2차 시스템과 거의 유사하게 나타난다. 이를 통해 실차 데이터의 주파수 특성을 고려하여 1차 시스템으로의 모델 차수 축소가 타당함을 확인하였다.

### 3. ARS 롤 모멘트가 고려된 차량 롤 모델

#### 3.1 ARS가 반영된 1차 롤 모델 도출

우선 본 연구에서 제안하는 ARS 제어 모멘트가 반영된 롤 추정식은 식 (6)과 같다.

$$\Phi_{ARS}(s) = \frac{K_{DC} gain}{T_{s,ARS} s + 1} \times (hm_s A_{y,sensor}(s) + M_{ARS}(s)) \quad (6)$$

식 (6)은 기존 롤 추정 식 (5)에 ARS 액추에이터에 의해 생성된 롤 모멘트를 추가 외력 모멘트 입력으로 하는 특징을 갖는다. 여기서, 시정수  $T_{s,ARS}$  는 0.01이고 ARS 롤 모멘트는  $M_{ARS}$  로 표현되며 롤 관성모션을 억제하는 방향으로 작용한다. 해당 값은 ARS ECU에서 내부적으로 산출하여 CAN통신을 통해 출력되는 값을 사용하였다. 또한, 식 (6)의 1차 시스템에서 DC gain 역할을 하는  $K_{DC} gain$ 은 롤 각에 대한 롤 강성계수의 비선형성을 보상하기 위해 일정한 상수가 아닌 횡가속도 계측치를 입력으로 하는 Look-Up-Table(1D)로 처리하였으며 해당 테이블의 수치는 실차 계측 데이터에 근거하여 경험적으로 설계되었다.

#### 3.2 실차 검증

ARS가 장착된 차량에서 롤 각 추정 성능을 검증하기 위해 실차 테스트를 수행하였다. 차량은 국내의 대형 승용차량으로, 제안 모델에서 사용된 파라미터는 아래 Table 1과 같다. 정확한 Reference 값 측정을 위하여 상용 GPS/INS RT3000을 장착하여 차량 롤 각을 계측하였다. ARS는 주로 고속 선회 구간에서 안정성 및 승차감 개선 효과를 목적으로 하기 때문에 90 kph 이상 고속 조건의 연속 Lane change 시나리오로 테스트를 진행하였다.

Fig. 5와 Fig. 6는 각각 차속 90 kph와 120 kph에서 연속적인 차선 변경 조향 상황에서의 롤 각 추정 결과를 나타

Table 1 Vehicle model parameters

Sprung mass ( $m_s$ )	1784.811 kg
CG height from roll center ( $h$ )	0.57 m
Roll inertia ( $I_{xx}$ )	873.8 kg · m <sup>2</sup>
Roll stiffness coefficient ( $K_{\phi}$ )	145720 N · m/rad
Roll damping coefficient ( $C_{\phi}$ )	14572 N · m · s/rad

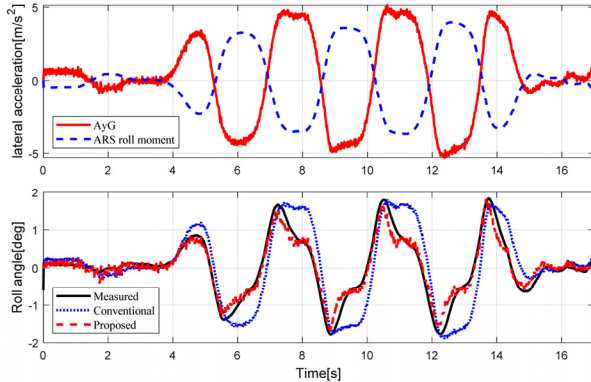


Fig. 5 Experimental validation (upper: lateral acceleration & ARS roll moment, lower: roll angle, 90 kph lane change)

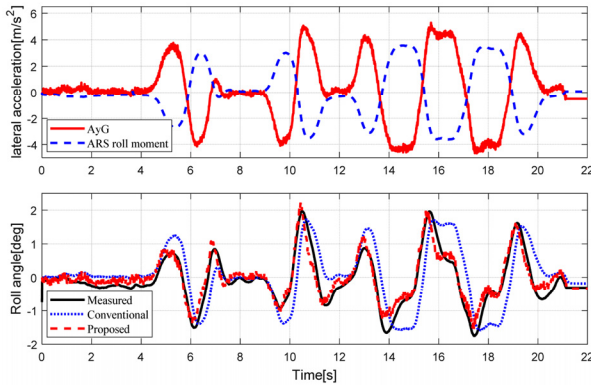


Fig. 6 Experimental validation (upper: lateral acceleration & ARS roll moment, lower: roll angle, 120 kph lane change)

낸다. 기존 롤 모델(Conventional)은 식 (5)와 같이 ARS 제어 롤 모멘트가 고려되지 못한 롤 각 추정식을 의미하며, 제안 롤 모델(Proposed)은 식 (6)과 같이 ARS 롤 모멘트가 추가 모멘트 입력 형태로 적절히 반영된 롤 각 추정식을 의미한다. 우선, 횡가속도 계측치와 ARS 롤 모멘트를 각각 나타낸 상단 그래프는 ARS 롤 모멘트가 롤 각을 감소시키기 위해 횡방향 관성력 반대 방향으로 작용하여 횡가속도 센서 계측치와 역상되는 경향을 보인다. 하단의 롤 각 추정 결과 그래프를 통해, ARS 제어 효과가 모델에 효과적으로 반영된 제안 롤 모델(Proposed)이 기존 모델 대비 롤 각을 더 정확하게 추정함을 알 수 있다. 특히, ARS가 차량의 롤 응답성을 빠르게 하면서도 Peak를 지

나 빠르게 저감시키는 부분에서 특히 기존 롤 모델 (Conventional)에서는 오차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 제안 롤 모델은 ARS 롤 모멘트를 모델에 모멘트 입력 형태로 반영함으로써 최대 1 deg 정도의 오차를 개선한 것을 확인하였다.

#### 4. ECS제어 효과가 반영한 롤 모델

##### 4.1 ECS제어 효과가 반영된 1차 롤 모델 도출

Fig. 7은 연구에서 사용된 ECS 모드 별 댐퍼 속도에 대한 댐핑력 특성곡선이다. 전/후륜 각각의 모드 별 댐핑 특성을 고려하여 기준(Base) 대비 Hard 셋팅이 반영되는 ECS 제어 모드에서는 시정수가 높게, Soft 셋팅이 적용되는 ECS 제어 모드에서는 시정수가 낮게 조절되었다. 기존 롤 추정 식인 (5)를 기반으로 위의 고려된 ECS제어 효과에 의한 가변 시정수를 적용한 제안 롤 모델은 식 (7)과 같다.

$$\Phi_{ECS}(s) = \frac{K_{DC\ gain}}{T_{s,ECS}s+1} \times (hm_s A_{y,sensor}(s)) \quad (7)$$

제안 1차 롤 모델의 DC 게인( $K_{DC\ gain}$ )은 식 (6)에서와 같이 경험적으로 설계하였고, 가변 시정수  $T_{s,ECS}$ 는 ECS가 고정 모드가 아닌 4륜의 임의의 연속적인 제어량으로 전/후 댐퍼를 각각 제어하는 상황에서도 유효성을 확보하기 위해 제어 댐핑 모드 별 상대적인 위상 지연을 고려하였고 다양한 검증 시뮬레이션 결과를 기반으로 경험적인 방법으로 식 (8)과 같이 설계하였다.

$$T_{s,ECS} = k_T \times (1.25D_f + D_r) \quad (8)$$

본 연구에서  $D_f, D_r$ 은 전/후 댐퍼의 롤 댐핑계수에 근거하여 설계된 댐핑지수를 의미하며 이 값은 모드에 따라 0~1사이의 값을 갖는다(soft 0.35, base 0.5, hard 1). 여기서,  $k_T$  값은 모델의 성능 개선을 위한 시정수 게인으로

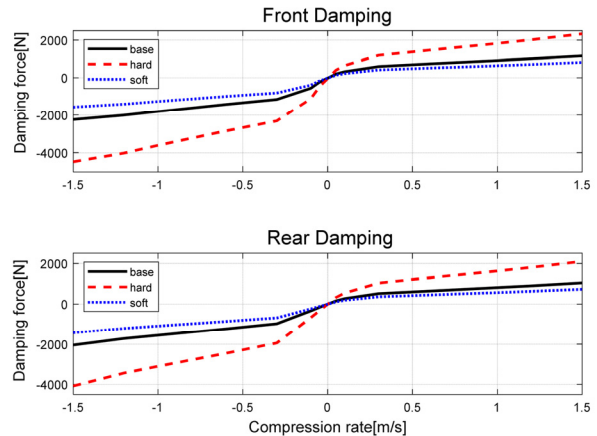


Fig. 7 Damper characteristic curve

서, 경험적인 방법에 의해 설계되었다. 한편, Fig. 7을 통해 동일 스트로크 속도에 대해 댐퍼 용량 차이로 인해 전륜 댐핑력이 후륜 댐핑력보다 더 큰 것을 알 수 있으며, 이를 고려하기 위해 제안 시정수 식 (8)에서 후륜 댐퍼 대비 전륜 댐퍼의 댐핑지수를 25 % 크게 적용하였다.

#### 4.2 시뮬레이션 검증

ECS 시스템이 적용된 차량에 대해 제안 롤 모델을 검증하기 위해 상용 차량 동역학 해석프로그램인 Carsim을 활용하였다. 사용된 차량 모델은 3.2절에서 사용된 실차 데이터가 도출된 국대 대형 승용 차량이다. 검증 시나리오는 Double lane change 관련 표준인 ISO 3888-2 (moose test)<sup>9)</sup>을 사용하였으며, 종방향 속도는 70 kph로 설정하였다.

Fig. 8은 전/후 댐퍼가 Base 셋팅인 차량의 ISO 3888-2 주행에 대한 횡가속도, 조향각, 롤 각속도와 롤 각가속도를 나타낸 것이다. 최대 횡가속도는 절대값 기준으로 약 0.7 g, 최대 롤 각속도는 약 10 deg/s인 급격한 핸들링 상황으로 모드 별 댐퍼 특성 변동이 가변 시정수를 적용한 제안 롤 모델로 잘 모사가 되는지 여부를 검증하기에 적합한 주행상황이다.

본 연구에서는 ECS normal 모드에서의 롤 모델을 기준 모델(Nominal model, 시정수 고정)로 간주하여 시정수를 가변한 제안 모델과의 정확도를 비교하였다.

참고로 핸들링 상황에서 전/후 댐퍼 모두 Hard 셋팅인 Hard 모드, 전/후 댐퍼 모두 Base 셋팅인 Base 모드, 전/후 댐퍼 모두 Soft 셋팅인 Soft 모드의 경우 식 (8)에 의해 산출된 시정수  $T_{s,ECS}$ 는 각각 0.081, 0.045, 0.027이다(시정수는 그 외 연속적인 전/후 댐핑력 제어 조합들에 의해 다양한 값들로 산출가능).

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 전후 댐퍼의 셋팅이 Hard 모드(FHRH: Front Hard Rear Hard), Soft 모드(FSRS: Front Soft Rear Soft)에서 제안 모델(Proposed)을 기준 모델(Nominal

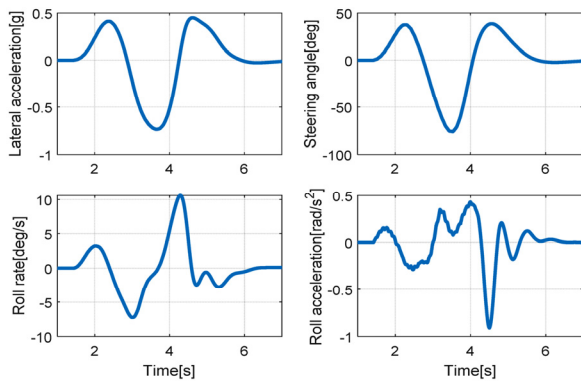


Fig. 8 DLC scenario (ISO 3888-2)

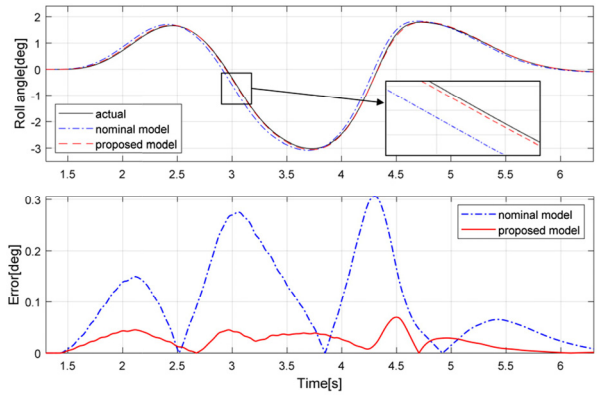


Fig. 9 Roll model error for front hard/rear hard scenario

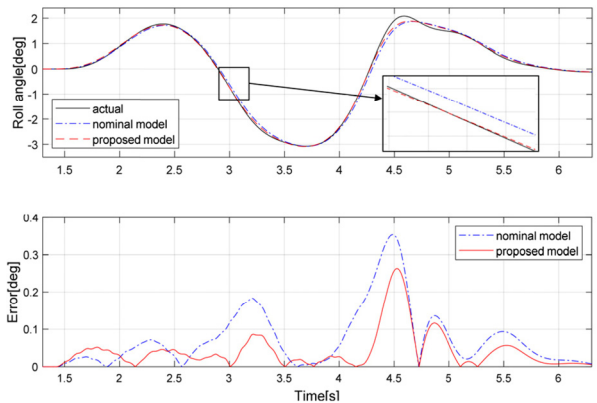


Fig. 10 Roll model error for front soft/rear soft scenario

model)과 비교한 그래프이다. 하단의 그래프는 롤 각의 정밀한 오차 비교를 위해 제안 모델 및 기준 모델과 Carsim에서 측정된 롤 각의 차이에 대한 오차절대값을 나타낸 그래프이다. Fig. 9의 FHRH 상황에서는 식 (8)에서 산출된 시정수가 차량 롤 모델 특성에 맞게 결정되어 제안 모델이 기준 모델 대비 위상을 실제 차량 롤 거동과 유사하게 40 ms 정도 지연시켜 차량 롤 각 오차를 최대 0.3 deg 정도 감소시켰다. 또한, FHRH조건에서 제안 모델의 롤 각과 Carsim 측정 롤 각의 오차는 0.05 deg이하로 매우 작다. Fig. 10은 차량의 전/후 댐핑력이 상대적으로 작게 제어되는 FSRS 상황에서도 식 (8)에 의해 시정수가 0.027로 산출되어 제안 모델이 기준 모델 대비 위상을 약 15 ms 빠르게 변화시켜 차량 롤 각 오차를 최대 0.2 deg 정도 감소시키는 것을 보여준다. Soft 셋팅 댐퍼는 댐핑력이 낮기 때문에 급격한 핸들링 상황에서 큰 과도응답이 발생하며 이 부분을 제외하고는 FSRS 조건에서 제안 모델의 롤 각과 Carsim 측정 롤 각의 오차는 0.07 deg이하로 매우 작다.

추가적으로, 과도한 핸들링 상황에서 오버스티어 발생 시 언더스티어 유도를 위해 ECS가 Front hard/rear base

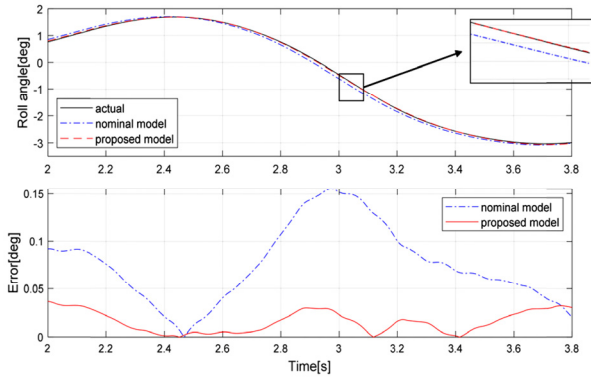


Fig. 11 Roll model error for front hard/rear base scenario

로 제어되는 케이스에 대한 제안 롤 모델의 정확도를 Fig. 11에서 살펴보았다. 제안 롤 모델에서 시정수는 해당 전/후 댐핑력 제어 모드에 따라 0.065로 조절됨으로써 급격한 Lane change 상황에서 롤 운동 위상을 기준 모델 대비 18 ms 정도 지연시켜 롤 각 오차를 0.03 deg 이하로 감소, 개선시켰다. 이를 통해 핸들링 상황에서 발생하는 다양한 ECS 댐핑력 제어 모드에서도 제안 롤 모델이 우수한 롤 각 추정 성능을 보이는 것을 확인하였다.

위에 설명한 경우 외에 다수의 댐핑력 조합들에 대한 검증들을 통해 ECS 제어로 인한 전/후의 댐퍼 특성이 변화하는 상황에서 제안 모델이 시정수의 적절한 변동을 통해 변화되는 차량의 롤 운동의 동특성을 잘 모사하여 모델 오차를 감소시키는 것을 확인하였다.

하지만, 시정수 산출 경험식 식 (8)은 차종에 따라 변동될 수 있으며 현재는 경험적인 검증 절차를 통해 결정하였지만 추후 모든 차종에 적용될 수 있도록 댐퍼의 정량 파라미터에 근거하는 시정수 산출 프로세스를 도출할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 능동/반능동 현가 제어시스템인 ARS와 ECS가 적용된 차량에 대한 새로운 단순화 차량 롤 모델을 제안하였다.

먼저, 차량의 선회 롤 운동방정식에서 도출된 2차 롤 운동 모델을 모델 차수 축소를 통해 1차 시스템으로 간략화하였다. 이 과정에서 실제 주행 상황을 바탕으로 한 FFT해석과 두 시스템의 Bode 선도에 의한 비교를 통해 모델 축소에 대한 타당성을 검증하였다.

횡가속도 센서 계측치를 롤 모델의 입력으로 하는 1차 롤 운동 모델을 활용하여 ARS 제어 롤 모멘트가 반영되지 않은 롤 모델과 ARS 제어 롤 모멘트가 적절히 반영된 제안 롤 모델을 실제 차량 계측 데이터를 통해 정확도 관점에서 비교 및 분석하였다. 그 결과, ARS제어 롤 모멘트

를 추가 입력으로 적용한 제안 롤 모델이 기존 모델에 대비하여 우수한 롤 각 추정 성능을 보임을 확인하였다.

다양한 ECS 제어 모드에 따라 1차 롤 모델의 시정수를 가변화하는 것을 통해 ECS 제어에 따라 변화하는 롤 운동의 동특성을 적절히 모사하는 모델을 제안하였다. ECS가 장착된 차량 현가시스템의 댐핑력 특성 변동에 따라 1차 롤 모델의 시정수가 변화되는 제안 모델과 base 댐핑력 기준으로 고정된 시정수를 갖는 기준 모델과의 롤 각 추정 성능에 대해 Carsim 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 주행 상황 별로 차별화 변화되는 ECS 제어 효과를 1차 모델의 시정수 변동으로 모사하는 제안 모델이 기준 모델 대비 실제 롤 각과의 위상/크기 오차를 축소시키는 것을 확인하였다. 하지만, 제안 연구에서는 경험적인 방법으로 모델을 설계하였기 때문에 추후 차량 설계 파라미터에 근거한 정량적 모델 개발 프로세스가 요구된다.

향후, 본 연구결과를 바탕으로 ARS/ECS가 통합된 현가 통합제어 시스템을 고려한 롤 각 추정 모델을 도출 및 검증할 예정이다.

## 후 기

이 성과는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2017R1A1A1A05069503).

## References

- 1) J. Lee, Y. Kwon and H. Lee, "Using Lateral Acceleration and Yaw Rate, Sliding Observer Design for Roll Angle," Transaction of KSAE, Vol.19, No.4, pp 38-46, 2011.
- 2) H. Her, J. Suh and K. Yi, "Integrated Control of the Differential Braking, the Suspension Damping Force and the Active Roll Moment for Improvement in the Agility and the Stability," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol.229, No.9, pp.1145-1157, 2015.
- 3) S. Chung and H. Lee, "Estimation Algorithm of Vehicle Roll Angle and Control Strategy of Roll Mitigation Force Distribution," Transaction of KSAE, Vol.23, No.6, pp.633-641, 2015.
- 4) A. Hac, T. Brown and J. Martens, "Detection of Vehicle Rollover," SAE 2004-01-1757, 2004.
- 5) A. Hac, D. Nichols and D. Sygarowicz, "Estimation of Vehicle Roll Angle and Side Slip for Crash Sensing," SAE 2010-01-0529, 2010.

- 6) R. Rajamani, D. Piyabongkarn, V. Tsourapas and J. Y. Lew, "Real-Time Estimation of Roll Angle and CG Height for Active Rollover Prevention Applications," 2009 American Control Conference, pp.433-438, New York, 2009.
- 7) J. Lee, Y. Kwon and H. Lee, "Using Lateral Acceleration and Yaw Rate, Sliding Observer Design for Roll Angle," Transaction of KSAE, Vol.19, No.4, pp.38-46, 2011.
- 8) A. C. Antoulas, Approximation of Large-Scale Dynamical Systems, Advances in Design and Control, SIAM, Texas, pp.211-220, 2005.
- 9) ISO 3888-2:2011(en) Passenger cars - Test Track for a Severe Lane-change Manoeuvre - Part 2: Obstacle Avoidance, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3888:-2:ed-2:v1:en>, 2011.