

# SUV 차량의 횡방향 안정성 강화를 위한 통합운동제어시스템 개발

송 정 훈\*

동명대학교 시자동화설계공학과

## Design of Integrated Dynamics Control System to Enhance Lateral Stability of SUV

Jeonghoon Song\*

Department of AI Automation and Design Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea  
 (Received 25 February 2021 / Revised 6 April 2021 / Accepted 25 April 2021)

**Abstract** : An integrated dynamics control system with front wheel steering(IDCF) for SUVs is developed and evaluated. It consists of the active front steering(AFS) system and the active rear brake(ARB) system. The IDCF integrates them and controls the SUV to improve lateral stability and vehicle steerability. It is evaluated with various road and driving conditions. The result shows that IDCF allows the SUV to track the desired yaw rate and reduce sideslip angle simultaneously when sinusoidal steering input is applied. IDCF vehicle shows better performances compared to those of the AFS vehicle. It can also extend the limit of adhesion and enhance lateral stability.

**Key words** : Integrated Dynamics Control with Front steering(IDCF, 통합운동제어), Sports Utility Vehicle(SUV, 스포츠 실용차), Active Front Steering(AFS, 능동전륜조향), Active Rear Brake(ARB, 능동후륜제동), Lateral stability(횡방향안정성)

### Nomenclature

$a$  : distance from center of gravity to the front wheel, m  
 $b$  : distance from center of gravity to the rear wheel, m  
 $B_{roll}$  : roll axis torsional damping, Nm/rad/s  
 $C_{\alpha f} / C_{\alpha r}$  : cornering stiffness of front/rear tire, N/rad  
 $F_t$  : tire tractive force, N  
 $F_x, F_y$  : tire longitudinal and lateral force, N  
 $F_z$  : normal force, N  
 $h_s$  : distance from centre of gravity to roll axis, m  
 $I_x, I_z$  : vehicle inertia moment about roll and yaw axis, kg m<sup>2</sup>  
 $I_w$  : mass moment inertia of the wheel, kg m<sup>2</sup>  
 $K_{roll}$  : roll axis torsional stiffness, Nm/rad  
 $m_s$  : sprung mass, kg  
 $m_{total}$  : vehicle total mass, kg  
 $R_w$  : wheel radius, m  
 $t_f, t_r$  : front and rear wheel distance, m

$T_b$  : brake torque, Nm  
 $T_{roll}$  : rolling resistance torque, Nm  
 $v_x, v_y$  : velocity of longitudinal and lateral direction, m/s  
 $\gamma$  : yaw angle, rad  
 $\mu$  : friction coefficient between road and tire  
 $\phi$  : roll angle, rad  
 $\omega$  : rotational speed of wheel, rad/s

### 1. 서론

최근 생활수준의 향상에 따라 차량을 이용하여 여가 시간을 보내려고 하는 추세가 증가하고 있다. SUV (Sports Utility Vehicle) 차량은 이러한 목적에 부합되는 차량으로 인식되어 판매량이 크게 늘어나고 있다. 하지만 SUV 차량의 질량 중심은 일반 세단 자동차에 비하여 높기 때문에 횡방향 안정성에 취약하며 승차감 악화의 큰 원인으로 지목되고 있다. 이에 SUV 차량의 횡방향 안정성을 개선하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있다.

\*Corresponding author, E-mail: jhsong@tu.ac.kr

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.

Elbeheiry 등<sup>1)</sup>은 AFS(Active Front Steering)와 ARMC (Active Roll Moment Control)을 통합제어하는 시스템을 제안하였다. 이들은 현가장치의 높낮이를 제어하는 ARMC를 이용하여 AFS의 보조 조향각을 감소시킴으로써 횡방향 안정성을 개선시킬 수 있다는 결과를 발표하였다. Zhu와 He<sup>2)</sup>는 전륜 양쪽 바퀴의 제동 압력을 이용하여 SUV 차량의 요 속도를 제어하는 Driver-Adaptive Vehicle Stability Control(DAVSC)를 제안하였으며 Soltani 등<sup>3)</sup>은 반능동(Semi-active) 현가장치와 능동 제동장치를 결합한 통합 제어 시스템을 개발하였다. 송정훈<sup>4)</sup>은 PID (Proportional Integral Differential), SMC(Sliding Mode Control) 그리고 FLC(Fuzzy Logic Control) 제어를 이용하여 세 종류의 AFS를 개발하였으며 횡방향 안정성 개선에 대한 성능 평가를 실시하였다. 하지만 이 연구는 조향 장치의 제어만 실시하였기 때문에 횡방향 안정성에 대한 강인한 제어를 확보하기 어려우며 차량을 안정적으로 제어할 수 있는 운전 범위도 한계가 있을 것으로 판단된다.

따라서 이 연구에서는 SUV 차량의 능동전륜조향장치 (AFS)와 능동후륜제동장치(Active Rear Brake, ARB)를 통합제어하는 IDCF(Integral Dynamics Control system with Front wheel steer)를 개발하였다. 이들은 이미 상용화 되었거나 기존 시스템의 간단한 변경만으로 IDCF를 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한 앞 바퀴의 조향각과 제동 압력을 통합 제어할 경우 두 장치의 간섭으로 성능이 오히려 악화될 수 있다. AFS는 유성 기어에 의하여 기계적인 연결을 유지하면서 입력 조향각 대비 출력 조향각의 크기를 가변할 수 있는 장치이다. ARB는 후륜 양쪽 제동장치의 제동 압력을 독립적으로 제어하여 차량의 안정적인 선회 운동을 보조하는 역할을 한다.

IDCF는 FLC 방법을 이용하여 AFS 및 ARB를 통합제어한다. 앞바퀴 조향장치와 뒷바퀴 제동장치를 통합 제어함으로써 SUV 차량이 안정적으로 운전될 수 있는 범위를 확장시켜 횡방향 안정성 및 조향성능을 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 차량 및 조향 장치 모델

IDCF 개발을 위해서 차량 모델 및 전륜 조향 장치의 수학적 모델이 필요하다. 이 연구에서는 8자유도의 차량 모델과 능동전륜조향장치 모델을 사용한다. 모델에 사용된 SUV 차량은 현대자동차의 투싼(Tucson)이며 차량 제원은 Table 1에 나타내었다.<sup>5)</sup>

Table 1 Vehicle and controller specification

$a, b$	1.3 m/1.37 m	$B_{roll}$	3,511.6 Nm/rad/s
$C_{qf}, C_{qr}$	30,000 N/rad	$h_s$	0.25 m
$I_x$	489.9 kg m <sup>2</sup>	$I_z$	1,627 kg m <sup>2</sup>
$I_\omega$	2.1 kg m <sup>2</sup>	$K_D$	0.2
$K_f$	4	$K_P$	20
$K_{roll}$	66,185 Nm/rad	$m_s/m_{total}$	1,370 kg/1,530 kg
$R_w$	0.23 m	$t_f, t_r$	1.608 m/1.620 m

### 2.1 8자유도 차량 모델

SUV 차량이 평지를 주행한다고 가정하였으며 차체와 바퀴의 상하 운동은 무시하였다. 8자유도 차량의 수학적 모델은 Fig. 1을 이용하여 다음과 같이 유도 할 수 있다.

종방향 운동

$$m_{total}(\dot{v}_x - v_y\dot{\gamma}) - m_s h_s \dot{\gamma} \phi = \sum_{i=1}^4 F_{xi} \quad (1)$$

횡방향 운동

$$m_{total}(\dot{v}_y - v_x\dot{\gamma}) + m_s h_s \ddot{\phi} = \sum_{i=1}^4 F_{yi} \quad (2)$$

요운동

$$I_z \ddot{\gamma} = aF_{y1} + \frac{t_f}{2} F_{x1} + aF_{y2} - \frac{t_f}{2} F_{x2} - bF_{y3} + \frac{t_r}{2} F_{x3} - aF_{y4} - \frac{t_r}{2} F_{x4} \quad (3)$$

롤운동

$$I_x \ddot{\phi} + B_{roll} \dot{\phi} + K_{roll} \phi = m_s g h_s \sin \phi - m_s (v_y + v_x \dot{\gamma}) h_s \cos \phi \quad (4)$$

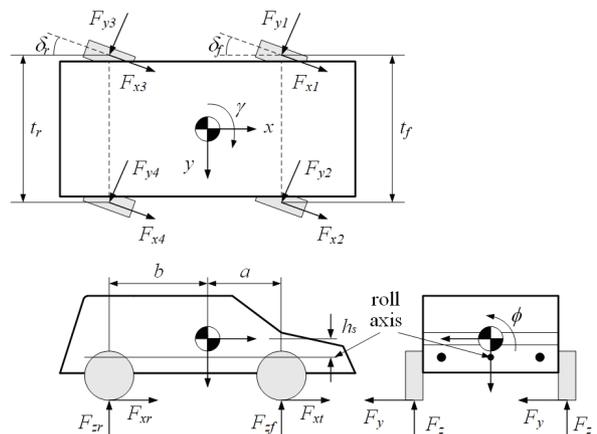


Fig. 1 8 degree of freedom vehicle model<sup>4)</sup>

바퀴 회전 운동

$$I_{oi} = -T_b - F_{tr}R_{\omega} - T_{rolli} \quad (5)$$

여기서  $i = 1, 2, 3, 4$ 이며 각각 좌측 앞바퀴, 우측 앞바퀴, 좌측 뒷바퀴, 우측 뒷바퀴를 의미한다. 사용된 차량 모델의 신뢰성 분석은 송정훈과 제우성<sup>6)</sup>을 참고하기 바란다.

### 2.2 조향 장치 모델

이 연구에서 사용되는 전륜 조향 장치는 운전자의 조향 입력과 보조 조향력을 제공하기 위한 모터에서의 입력을 고려하여 설계한다. 모터는 조향 축에 부착되어 있다고 가정하였다. 이 연구에서는 송정훈 등<sup>7)</sup>에 소개된 Reduced Order Model(ROM)을 사용하였다. ROM은 조향 휠에서 피니언 기어까지 하나의 시스템으로 단순화시킨 모델이다. 운전자의 조향 입력과 조향 축에 가해지는 보조 조향 토크 그리고 타이어를 거쳐 들어오는 외력을 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$I_{eq}\ddot{\theta}_p + B_{eq}(\dot{\theta}_p - \dot{\theta}_{sw}) + K_{eq}(\theta_p - \theta_{sw}) = T_{driver} + T_{assist} - T_{load} \quad (6)$$

여기서,  $I_{eq}$ 는,  $B_{eq}$ ,  $K_{eq}$ 는 각각 조향축, 피니언 기어, 타이로드 그리고 타이어의 등가 관성, 등가 감쇠계수 그리고 등가 강성계수이다.  $\theta_p$ 는 피니언 회전각,  $\theta_{sw}$ 는 운전자 조향 입력각이다.  $T_{assist}$ 와  $T_{load}$ 는 각각 조향 장치의 모터에 의한 보조 조향 토크와 피니언 기어에 작용하는 부하 토크이다. 특히  $T_{load}$ 는 식 (7)에서 계산되는 힘에 피니언 기어의 반경을 곱하여 얻을 수 있다.

$$F_{load} = F_x \times \sin \theta_{tire} + F_y \times \cos \theta_{tire} \quad (7)$$

여기서  $\theta_{tire}$ 는 타이어의 회전각이다.

### 3. 제어기 설계

IDCF 제어기는 전륜 조향각과 후륜 제동 압력을 동시에 통합 제어한다. 통합 제어를 위해서 IDCF는 퍼지 로직 제어(FLC)를 이용하여 2층 구조의 제어기를 설계한다(Fig. 2).<sup>8)</sup>

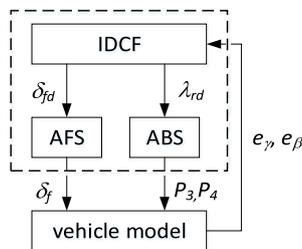


Fig. 2 Architecture of IDCF

통합 제어기는 차량 모델에서 계산된 요 속도 오차( $e_\gamma$ ) 및 횡방향 미끄러짐 각 오차( $e_\beta$ )를 입력으로 이용하여 목표 전륜 조향각( $\delta_{fd}$ ) 및 목표 후륜 미끄러짐 계수( $\lambda_{rd}$ )를 출력으로 계산한다. 여기서 제어되는 후륜은 SUV가 선회할 때 안쪽 바퀴의 제동 압력이다. 퍼지 입력은 다음과 같이 계산된다.

$$e_\gamma = \text{reference yaw rate} - \text{yaw rate}$$

$$e_\beta = \text{reference side slip angle} - \text{side slip angle}$$

이들은 [-1 1]의 전체 집합을 가지며 각각 5개의 삼각형 멤버십 함수로 구성된다(Fig. 3).

목표 요 속도(Reference yaw rate)는 다음과 같이 계산된다. 먼저 정상 상태(Steady state)에서 차량의 조향각과 회전 반경은 다음과 같다.<sup>9)</sup>

$$\delta_{ss} = \frac{a+b}{R} + \left( \frac{m_{total}bC_{ar} - m_{total}aC_{af}}{2C_{af}C_{ar}(a+b)} \right) \frac{V^2}{R} \quad (8)$$

여기서  $\delta_{ss}$ 는 정상상태에서의 조향각,  $R$ 은 차량의 회전 반경,  $V$ 는 차량 속도 그리고  $C_{af}$  및  $C_{ar}$ 은 전륜 및 후륜 바퀴의 Cornering stiffness를 의미한다. 식 (8)을 차량의 회전 반경을 이용하여 정리하면

$$\frac{1}{R} = \frac{\delta_{ss}}{a+b + \frac{m_{total}V^2(bC_{ar} - aC_{af})}{2C_{af}C_{ar}(a+b)}} \quad (9)$$

만약 차량의 횡방향 속도가 종방향 속도에 비하여 무시할 만큼 작다면 목표 요 속도는 다음과 같다.

$$\dot{\gamma}_{ref} = \frac{v_x}{R} = \frac{v_x \delta_f}{a+b + Km_{total}v_x^2} \quad (10)$$

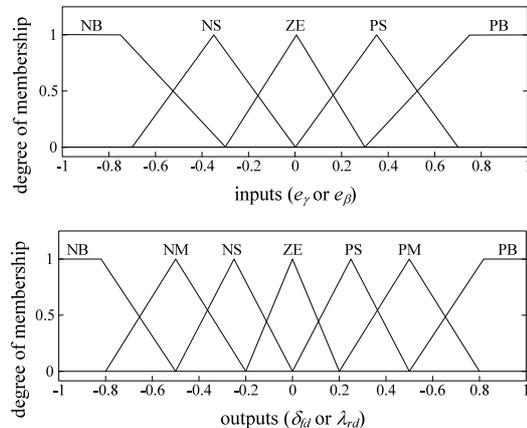


Fig. 3 Input and output membership function of IDCF

여기서

$$K = \frac{bC_{ar}\mu_r - aC_{af}\mu_f}{2(C_{af}\mu_f)(C_{ar}\mu_r)(a+b)}$$

이다. 이 연구에서는 목표 횡방향 미끄러짐 각은 0으로 가정한다. 퍼지 출력은 7개의 멤버쉽 함수를 이용하였으며 Mamdani 퍼지 추론을 사용하였다. Fig. 3은 입력 및 출력 멤버쉽 함수를 나타낸다.

Table 2는 이 연구에서 사용된 퍼지 제어 규칙(Fuzzy control rule)을 나타낸다.

계산된 목표 값들은 각각 AFS와 ARB를 이용하여 구현한다. AFS의 보조 조향각은 이산화(Discretize)를 적용한 PID 제어법으로 계산할 수 있다.<sup>4)</sup>

$$\Delta\delta_f = \delta_f(n-1) + (K_p + K_I + K_D)e(n) - (K_p + 2K_D)e(n-1) + K_De(n-2) \quad (11)$$

Table 2 Fuzzy control rules

NO	$e_\gamma$	$e_\beta$	$\lambda_r$	$\delta_f$
1	NB	PB	NB	NB
2	NB	PS	NB	NB
3	NB	ZE	NB	NM
4	NB	NS	NM	NM
5	NB	NB	NM	NS
6	NS	PB	NB	NB
7	NS	PS	NB	NM
8	NS	ZE	NM	NM
9	NS	NS	NM	NS
10	NS	NB	NS	ZE
11	ZE	PB	NM	NS
12	ZE	PS	NS	NS
13	ZE	ZE	ZE	ZE
14	ZE	NS	PS	PS
15	ZE	NB	PM	PS
16	PS	PB	PS	ZE
17	PS	PS	PM	PS
18	PS	ZE	PM	PM
19	PS	NS	PB	PM
20	PS	NB	PB	PB
21	PB	PB	PM	PS
22	PB	PS	PM	PM
23	PB	ZE	PB	PM
24	PB	NS	PB	PB
25	PB	NB	PB	PB

여기서  $K_p, K_I$  및  $K_D$ 는 각각 비례, 적분 및 미분 계수이며 각 값은 Table 1에 표시하였다.

ARB는 후륜의 좌측과 우측 바퀴의 목표 미끄러짐 값을 다르게 하여 구현할 수 있다. 바퀴의 미끄러짐(Slip) 값은 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda_{si} = \frac{v_x - R_w\omega_i}{v_x} \quad (12)$$

차량이 선회 운동을 할 때 운전자에 의하여 제동 입력이 가해지지 않거나 작은 제동 입력만 가해진다면 ARB는 후륜 안쪽 바퀴의 제동 압력을 제어한다. 만약 큰 제동 입력이 가해져 바퀴에 잠김 현상이 발생하면 ( $\lambda_s > 0.15$ ) ARB는 제동 거리의 단축과 조향 성능의 유지를 위하여 양쪽 바퀴 모두 목표 미끄러짐 값인 0.15를 유지하도록 한다. 제동 압력은 목표 미끄러짐 값과 ABS 슬라이딩 모드 제어를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.<sup>4)</sup>

$$P_b = -\frac{1}{v_x Q_i} \left[ (\hat{r}_{xi} - \hat{r}_{ri})v_x + \omega_i v_x - \frac{v_x^2 \lambda}{R_x} (\lambda_{di} - \lambda_{si}) \right] + \frac{\hat{r}_{xi}^* - \hat{r}_{ri}^* + \eta}{Q_i} \text{sgn}(S) \quad (13)$$

여기서  $\lambda$ 와  $\eta$ 는 양수,  $\lambda_{di}$ 는 목표 미끄러짐 값이다.

### 4. 결과

IDCF 제어기는 전륜 조향각과 후륜 제동 압력을 통합 제어하기 위한 시스템이다. 성능 평가는 삼각함수 파형(Sinusoidal) 조향 입력을 이용하여 실시하였다. 또한 IDCF에 의한 성능 개선을 살펴보기 위하여 송정훈<sup>4)</sup>에 소개된 AFS와 성능 비교 평가를 실시하였다.

#### 4.1 건조한 아스팔트 노면

건조한 아스팔트 노면에서 IDCF 또는 AFS를 장착한 SUV 차량과 제어장치를 장착하지 않은 SUV 차량의 주행 성능을 살펴보았다. 차량의 초기 속도는 20 m/s이다.

Fig. 4(a)는 운전자에 의한 조향 입력과 IDCF 및 AFS에 의한 보조 조향각을 나타낸다. 조향 입력이 커짐에 따라 AFS 차량의 보조 조향각은 매우 불안정해지며 점착 한계(Adhesion limit)에 가까운 것을 확인할 수 있다. 반면 IDCF 차량은 비슷한 운전 조건에서 안정적인 보조 조향각을 제공하여 차량의 조향 성능을 안정적으로 유지시키고 있음을 볼 수 있다. IDCF에 의한 후륜 제동 압력은 Fig. 4(b)에 표시되었다. IDCF 차량의 후륜 제동 압력은 조향 입력에 따라 변갈아 제어되고 있다.

Fig. 4(c) 및 4(d)는 차량의 요 속도와 횡방향 미끄러짐

각을 각각 나타낸다. 그림에서 IDCF 차량 및 AFS 차량의 요 속도는 목표 요 속도를 잘 추종하고 있다. 하지만 IDCF의 횡방향 미끄러짐 각이 가장 적어 차량 진행 방향이 운전자 조향 방향에 가장 가까운 것을 표시하고 있다. 이는 IDCF 차량은 요 속도가 목표 요 속도를 추종하는 동시에 횡방향 미끄러짐 각도를 최소화 하도록 조향각 및 후륜 제동압력을 동시에 통합제어하기 때문이다. 반면 AFS 차량은 요 속도가 목표 요 속도를 추종하도록 조향각만을 제어하기 때문에 미끄러짐 각도의 감소는 충분하지 못하다. 한편 Fig. 4(f)에 나타낸 것과 같이 IDCF

차량은 후륜에서 제동력이 발생하기 때문에 감속이 가장 심하다. 따라서 IDCF 차량의 성능개선이 제어기의 성능에 의한 것인지 감속으로 인한 것인지 확인할 필요가 있다.

Fig. 5는 Fig. 4의 데이터를 이용하여 IDCF와 AFS에 의한 SUV 성능 향상을 분석한 것이다. Fig. 5(a) 및 5(b)는 조향 입력과 요 속도 오차 및 조향 입력과 횡방향 미끄러짐 각도의 관계를 각각 나타낸다. 그림에서 IDCF를 장착한 SUV 차량은 AFS 차량에 비하여 조향 각도의 크기에 큰 영향을 받지 않으며 작은 값을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 반면 AFS를 장착한 차량은 조향 각도가 커지면서 요 속도 오차가 커지며 미끄러짐 각도도 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(c)는 차속과 요 속도 오차의 관계를 나타낸다. 차속은 감소하지만 조향 입력이 커지기 때문에 요 속도 오차는 커진다. 차량의 속도와 횡방향 미끄러짐 각도의 관계는 Fig. 5(d)에 표시하였다. IDCF 차량의 횡방향 미끄러짐 각도가 더 작음을 확인할 수 있다.

이러한 분석에서 확인할 수 있는 것은 건조한 아스팔트 노면에서 IDCF 차량의 요 속도 오차는 조향 각도 및 차속에 큰 영향을 받지 않고 매우 우수한 성능을 발휘한다는 것이다. 또한 AFS 차량에 비하여 횡방향 미끄러짐도 감소시켜 운전 성능 및 차량 안정성을 개선시키는 것을 확인할 수 있다.

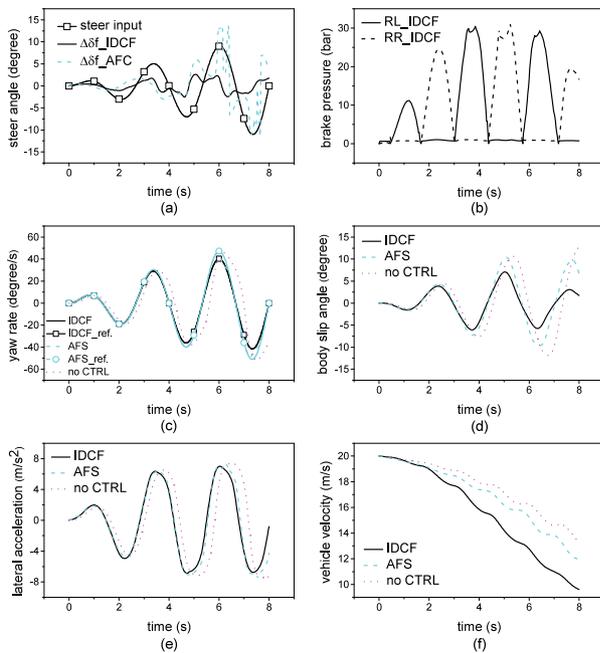


Fig. 4 Vehicle responses on dry asphalt, sinusoidal steering input

#### 4.2 젖은 아스팔트 노면

다음은 젖은 아스팔트 노면에서 삼각함수 파형의 조향 입력이 가해질 때 세 종류의 SUV 차량의 응답을 살펴보았다(Fig. 6). 차량 초기 운전 속도는 20 m/s로 설정하였다.

Fig. 6(a)는 운전자의 조향 입력과 AFS 및 IDCF의 보조 조향각을 나타낸다. 조향입력이 커짐에 따라 AFS 및 IDCF의 보조 조향각도 커진다. 하지만 AFS 차량은 타이어와 노면 간의 점착 한계를 초과하면 보조 조향각이 급속도로 커지면서 불안정한 응답을 보인다. IDCF 차량은 후륜 제동 압력 제어로 인하여 점착 한계가 확장되어 동일한 노면 및 운전조건에서 도 안정적인 조향이 가능함을 나타낸다.

Fig. 6(b)는 IDCF 차량의 후륜 제동 압력을 나타낸다. 조향 입력이 달라짐에 따라 후륜 안쪽 바퀴가 변경되어 제동 압력이 좌우 바퀴에 번갈아 가해진다. SUV 차량의 응답은 Fig. 6(c)-6(f)에 나타내었다. AFS와 IDCF 차량의 응답은 비슷하였으나 제어기를 장착하지 않은 차량의 응답은 느려지고 다소 불안정해지는 것을 확인할 수 있다.

이러한 결과에서 타이어와 노면 사이의 점착한계에 도달할 때까지는 AFS를 이용한 요 속도 제어만으로 성능 개선을 얻을 수 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 점착한

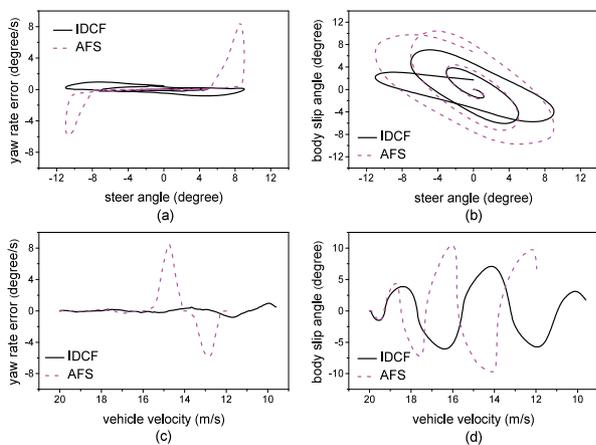


Fig. 5 Yaw rate error and body slip angle on dry asphalt

계 부근에 도달하면 IDCF를 장착한 SUV 차량이 점착한 계를 확장할 수 있어 횡방향 안정성을 개선시킨다.

한편 Fig. 7(a)과 7(b)는 요 속도 오차 및 횡방향 미끄러짐 각도와 조향 입력의 상관 관계를 각각 나타낸다. 앞의 실험과 비슷하게 IDCF를 장착한 차량의 요 속도 오차는 조향 각도에 큰 영향을 받지 않고 작은 값을 유지한다. 미끄러짐 각도는 두 차량 모두 조향각이 커짐에 따라 증가한다.

Fig. 7(c)와 7(d)는 차속의 변화에 따른 요 속도 오차와 미끄러짐 각도를 나타낸다. AFS를 장착한 차량은 차속이 감소하고 조향 각도가 증가함에 따라 요 속도 오차가 급격히 커짐을 확인할 수 있다.

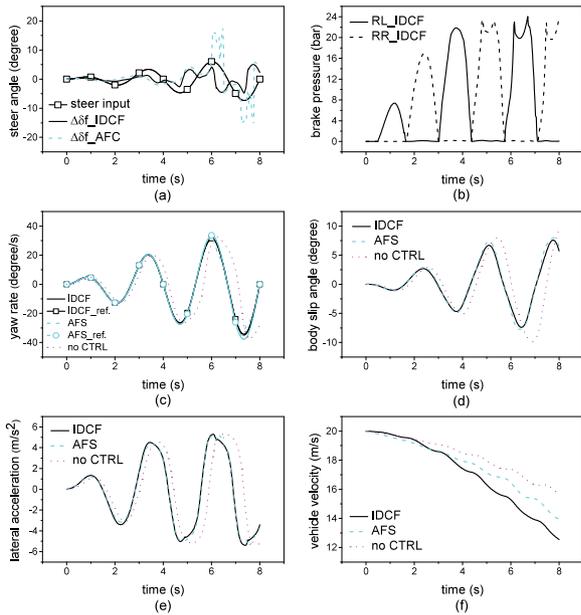


Fig. 6 Vehicle responses on wet asphalt, sinusoidal steering input

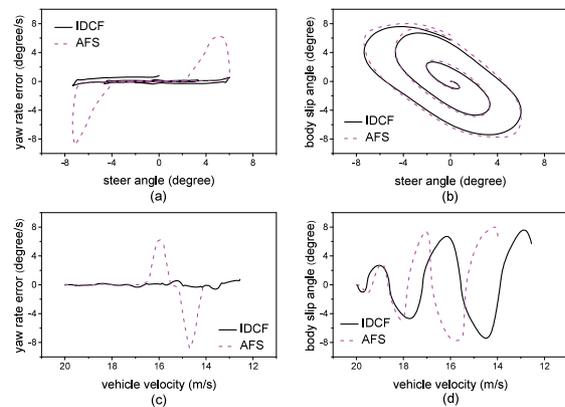


Fig. 7 Yaw rate error and body slip angle on wet asphalt

### 4.3 눈길(Snow paved road)

마지막으로 눈길에서 IDCF 제어기에 의한 SUV 차량의 응답을 살펴보았다. 차량의 초기 속도는 15 m/s로 가정하였다.

Fig. 8(a)는 조향 입력과 IDCF 및 AFS에 의한 보조 조향각을 나타내며 Fig. 8(b)는 IDCF에 의한 후륜 제동 압력을 표시한다. 앞의 두 실험과 비교하면 제동 압력이 상대적으로 작다. 요 속도 오차는 IDCF를 장착한 차량이 AFS를 장착한 차량 보다 약 41 % 감소시킬 수 있었으며 횡방향 미끄러짐 각도는 8.2 % 감소시킬 수 있었다. 하지만 작은 제동 압력과 후륜 제동이라는 특성으로 인하여 두 차량의 속도 및 횡방향 가속도는 거의 비슷한 것을 확인할 수 있다.

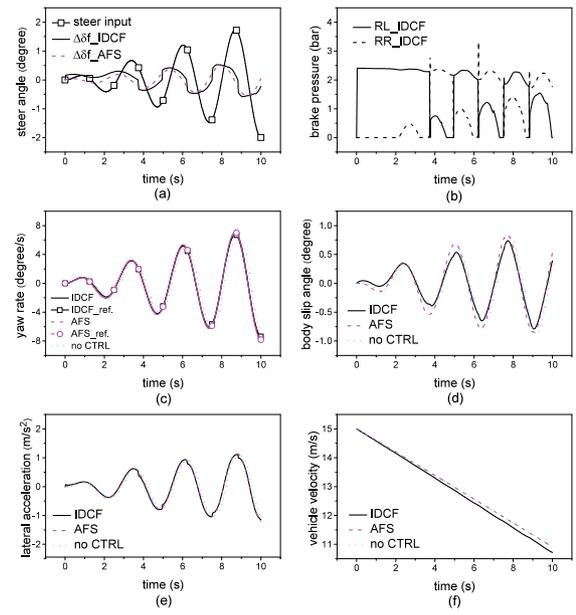


Fig. 8 Vehicle responses on snow paved road, sinusoidal steering input

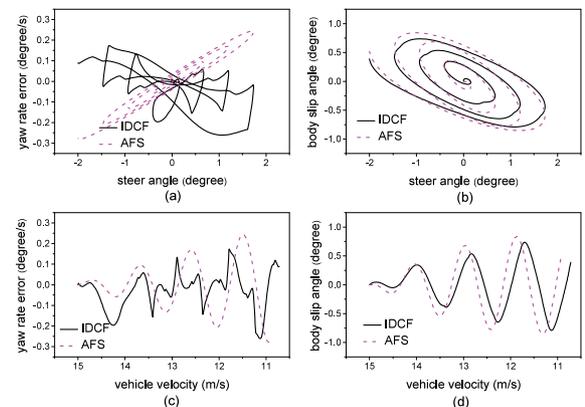


Fig. 9 Yaw rate error and body slip angle on snow paved road

이러한 특성은 Fig. 9에서도 확인할 수 있다. IDCF 차량의 요 속도 오차와 횡방향 미끄러짐 각도는 AFS 차량에 비하여 감소하였다. 조향 입력 및 차속에 따른 요 속도 오차가 다소 불규칙한 것은 제동 압력의 영향으로 판단된다.

## 5. 결론

이 연구에서는 SUV 차량의 횡방향 안정성과 조향 성능을 개선하기 위하여 전륜 조향각 및 후륜 제동 압력을 통합제어 하는 IDCF 제어기를 개발하였다. 개발된 제어기의 성능 평가를 위하여 8자유도의 차량 모델과 ROM 조향 모델을 사용하였다. 이 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 건조한 아스팔트 노면과 젖은 아스팔트 노면에서 IDCF 제어기에 의한 SUV 차량의 성능 개선은 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 짐작한게 부근에서도 요 속도 오차는 작은 값을 유지하였으며 횡방향 미끄러짐 각도도 감소되었음을 알 수 있었다.
- 2) 눈길에서도 IDCF를 장착한 SUV 차량의 조향 성능 및 차량 안정성은 개선되었음을 확인할 수 있다. AFS를 장착한 차량 보다 요 속도 오차는 41 % 감소하였으며 횡방향 미끄러짐 각도는 8.2 % 감소하였다. 하지만 차속 및 횡방향 가속도는 비슷한 결과를 나타내었다.
- 3) 이러한 연구 결과를 이용하면 IDCF를 장착한 SUV 차량은 횡방향 안정성 및 조향 성능을 개선시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 향후 샤시 부품의 통합제어에 대한 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2020학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(2020A021).

## References

- 1) E. M. Elbeheiry, Y. F. Zeyada and M. E. Elaraby, "Handling Capabilities of Vehicles in Emergency Using Coordinated AFS and ARMS Systems," *Vehicle System Dynamics*, Vol.35, No.3, pp.195-215, 2010.
- 2) S. Zhu and Y. He, "A Driver-adaptive Stability Control Strategy for Sport Utility Vehicles," *Vehicle System Dynamics*, Vol.55, No.8, pp.1206-1240, 2017.
- 3) A. Soltani, A. Bagheri and S. Azadi, "Integrated Vehicle Control Using Semi-active Suspension and Active Braking Systems," *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics*, Vol.232, No.3, pp.314-329, 2018.
- 4) J. Song, "Development of Active Front Wheel Steering(AFS) Controllers for SUV," *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.9, pp.613-620, 2020.
- 5) Tucson, Hyundai Motor Company, <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/tucson/spec>, 2020.
- 6) J. Song and W. S. Che, "Comparison and Evaluation of Brake Yaw Motion Controllers with an Antilock Brake System," *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol.222, No.7, pp.1273-1288, 2008.
- 7) J. Song, K. Boo and J. Lee, "Evaluation of Performance and Development of Control Method of a New Electric Power Steering System (EPS-TT)," *Transactions of KSAE*, Vol.12, No.5, pp.154-161, 2004.
- 8) J. Zhao, P. K. Wong, X. Ma and Z. Xie, "Chassis Integrated Control for Active Suspension, Active Front Steering and Direct Yaw Moment Systems Using Hierarchical Strategy," *Vehicle System Dynamics*, Vol.55, No.1, pp.72-103, 2016.
- 9) R. Rajamani, *Vehicle Dynamics and Control*, Springer, New York, 2006.