

인휠구동 전기차의 차량운동제어를 위한 기준모델적응제어

조일범¹, 이창노^{1*}, 김영렬²

¹우석대학교 기계자동차공학과, ²(주)진우에스엠씨 EV개발센터

Model Reference Adaptive Control for Vehicle Dynamics Control of In-wheel driven Electric Vehicle

Yi-Fan Zhao¹, Chang-Ro Lee^{1*}, Young-Ryul Kim²

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Woosuk University

²EV Center, Jinwoo SMC Co.,Ltd.

요약 최근 전기차는 인휠모터에 의해 각 바퀴를 독립적으로 구동함으로써 차량제어성능을 대폭 향상시키고 있다. 차량운동제어의 관점에서 보면 전기차는 전기모터의 빠른 응답성과 제어의 용이성으로 인해 차량의 운동성능을 대폭 향상시킬 수 있는 잠재력이 있다. 특히 최근에 도입된 인휠모터 구동은 각 바퀴를 독립적으로 구동할 수 있으므로 차량운동제어에 필요한 능동요모멘트를 내기 위하여 모터제어로 구동바퀴의 토크를 증감할 수 있으므로 제어의 폭이 넓다. 다양한 차량운동제어기술 중에서도 차량의 파라미터나 주행환경 변화에도 강인성과 안정성을 확보하는 적응제어기의 적용사례가 많다. 적응이란 새로운 환경에 순응하도록 거동을 변화시키는 것이므로 적응제어기는 차량의 동역학이나 외란의 변화에 대하여 응답을 수정할 수 있는 제어기이다. 본 논문에서는 인휠모터로 구동하는 전기차의 차량운동제어 (VDC)를 위하여 기준모델적응제어 (MRAC)를 적용하였다. 이를 위해 운전자의 조향입력에 대하여 원하는 차량응답을 갖는 1차계로 기준 모델을 정의하였으며 적응기제로 Lyapunov 함수를 사용하여 제어기를 설계하였다. 제안된 제어기의 차량제어성능을 검증하기 위해 타이어-노면 마찰계수의 변동에 대한 J-Turn, Sine Steer, 이중차선변경에 대한 차량주행 시뮬레이션을 수행하였다.

Abstract Recently, electric vehicles have been significantly improving vehicle control performance by independently driving each wheel by an in-wheel motor. This is because the in-wheel motor has a faster response and a wider range of control compared to an existing mechanical drivetrain. Vehicles usually accompany changes in vehicle parameters, and an adaptive controller that adjusts control parameters is effective to secure control robustness. In this study, reference model adaptive control (MRAC) was applied for vehicle dynamics control (VDC) of an electric vehicle driven by in-wheel motors. To this end, the desired vehicle response to a driver's steering input was defined as a reference model, and a controller was designed using a Lyapunov function as an adaptation mechanism. In order to verify the performance of the proposed controller, vehicle driving simulations for a J-turn, sine steering, and double lane change were performed with changes of the friction coefficient between the tires and road.

Keywords : Electric Vehicle, In-Wheel Motor, Lyapunov Function, MRAC, VDC

본 논문은 중소벤처기업부 지원 과제명 '초소형전기차특수자동차운행실증' (과제번호 : P0012424)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Chang-Ro Lee(Woosuk Univ.)

email: rolee@woosuk.ac.kr

Received August 4, 2021

Revised September 2, 2021

Accepted October 1, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

전기차의 구동은 초기에는 내연기관과 전기모터를 효율적으로 혼용하는 하이브리드 방식(도요타 프리우스 1997)에서 플러그인 하이브리드를 거쳐 이제는 차량에 탑재된 배터리만으로 전기모터를 구동하는 플러그인 충전방식의 순수 전기차가 판매되고 있다. 향후에는 머지않아 수소를 공급받아 자동차 자체적으로 전기를 생산하는 연료전지 방식의 전기차가 상용화될 것으로 예측된다.

한편 차량운동제어의 관점에서 보면 전기차는 전기모터의 빠른 응답성과 제어의 용이성으로 인해 차량의 운동성능을 대폭 향상시킬 수 있는 잠재력이 있다. 특히 최근에 도입된 인휠모터 구동은 각 바퀴를 독립적으로 구동할 수 있으므로 차량운동제어에 필요한 능동요모멘트를 내기 위하여 모터제어로 구동바퀴의 휠토크를 증감할 수 있으므로 제어의 폭이 넓다[1,2].

다양한 차량운동제어기술 중에서도 차량의 파라미터나 주행환경 변화에도 강인성과 안정성을 확보하는 적응제어기의 적용사례가 많다. 적응이란 새로운 환경에 순응하도록 거동을 변화시키는 것이므로 적응제어기는 차량의 동역학이나 외란의 변화에 대하여 응답을 수정할 수 있는 제어기이다. 적응제어기는 제어이득이 상수(Constant Gain)인 피드백 시스템과 달리 조정 가능한 파라미터와 조정방법을 갖고 있다. 적응기구로는 Gain Scheduling, Self Tuning Regulator(STR) 및 Model Reference Adaptive Control (MRAC) 등이 있다[3]. 차량제어에 MRAC를 사용한 연구로는 제동 시 스키드 방지를 위한 휠슬립제어[4], 예측기준모델을 사용한 차량의 횡방향 운동제어[5], 추돌방지를 위한 선행차량추종제어[6] 등이 있다.

차량의 주행환경에서 노면마찰계수의 변동은 차량의 조종안정성에 영향을 미치는 주요인자이다. 이에 따라 ABS, TCS 및 VDC 등의 차량제어에 노면 마찰계수를 추정하여 차량제어성능을 향상시키려는 연구들이 있다[7,8].

본 논문에서는 인휠구동 전기차에 대하여 노면 마찰계수의 변화에 안정하고 강건한 차량운동제어를 위하여 기준모델적응제어(MRAC)를 사용하여 제어기를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 설계된 제어시스템의 성능을 확인하였다.

2. 시스템 모델

2.1 차량모델

차량운동제어를 위하여 사용된 차량모델은 Fig. 1과 같은 2자유도 모델이고 이것의 공칭 파라미터는 Table 1과 같다. 차량 파라미터는 (주)진우에스엠씨의 초소형 전기차인 포텐스에서 얻은 것이다.

Fig. 1의 차량모델에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$m(\beta+r)V_x = F_{yf} + F_{yr} \quad (1)$$

$$I_z \dot{r} = F_{yf}L_f - F_{yr}L_r + M_z \quad (2)$$

where β denotes body side slip angle, r denotes yaw rate, F_{yf}, F_{yr} denote cornering force from front, rear tire, respectively, and M_z denotes active yaw moment.

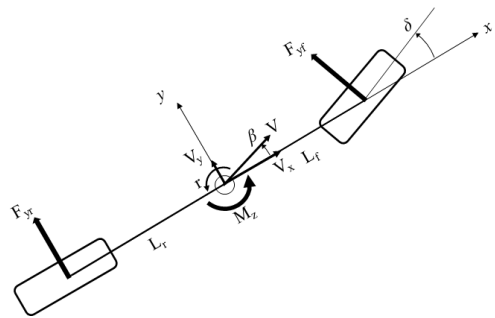


Fig. 1. Two d.o.f. Vehicle Model

코너링력은 타이어-노면 마찰계수에 비례하는 것으로 가정하여 다음과 같다.

$$F_{yf} = 2\mu C_f \alpha_f, \quad F_{yr} = 2\mu C_r \alpha_r \quad (3)$$

$$\alpha_f = \delta - \left(\beta + \frac{L_f}{V_x} r \right), \quad \alpha_r = \frac{L_r}{V_x} r - \beta \quad (4)$$

where δ denotes front steer angle, V_x denotes vehicle speed, C_f, C_r denote cornering stiffness from front, rear tire, respectively, α_f, α_r denote slip angles of front, rear tire, respectively.

식(1)~식(4)를 정리하여 차량모델에 대한 상태방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{x} = Ax + Bu + E\delta \tag{5}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{2\mu(C_f + C_r)}{m V_x} & -\frac{2\mu(L_f C_f - L_r C_r)}{m V_x^2} - 1 \\ \frac{2\mu(L_f C_f - L_r C_r)}{I_z} & -\frac{2\mu(L_f^2 C_f + L_r^2 C_r)}{I_z V_x} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{I_z} \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} \frac{2\mu C_f}{m V_x} \\ \frac{2\mu L_f C_f}{I_z} \end{bmatrix}$$

where $x = [\beta \ r]^T$ denote state variables, $u = M_z$ denotes control input, δ denotes front steer angle.

Table 1. Vehicle Parameters

Item	Value	Unit	Description
m	1230	kg	Vehicle mass
I_z	1255	kg-m ²	Vehicle yaw inertia
C_f	33234	N/rad	Cornering stiffness of front tire
C_r	33234	N/rad	Cornering stiffness of rear tire
L_f	0.8	m	Distance C.G-front_axle
L_r	1.0	m	Distance C.G-rear axle
t_r	1.12	m	Rear wheel read
R_w	0.31	m	Effective tire radius
G	5	-	Gear Ratio of In-wheel Motor
μ	0.8	-	Tire-Road Friction Coefficient

2.2 기준모델

기준모델(Reference Model)은 운전자의 조향입력에 대하여 원하는 차량응답(기준응답)을 출력하는 시스템이다. 본 논문에서 기준모델의 정상상태 출력은 $\mu = 1.0$ 의 차량모델의 정상상태 계단 응답과 같으며 과도상태응답은 설계자가 원하는 시정수를 갖는 식(6)과 같은 1차 시스템으로 표현하였다.

$$\dot{x}_m = A_m x_m + E_m \delta \tag{6}$$

$$A_m = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau_\beta} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_r} \end{bmatrix}, \quad E_m = \begin{bmatrix} \beta_{ss} \\ \tau_\beta \\ r_{ss} \\ \tau_r \end{bmatrix}$$

where $x_m = [\beta_m \ r_m]^T$ denotes desired outputs, τ_β , τ_r are time constants, β_{ss} , r_{ss} are steady state step responses of vehicle with $\mu = 1.0$.

3. 제어시스템 설계

식(5)의 차량모델이 기준모델의 기준응답을 추적하고 시스템의 안정성을 보장하는 적절한 제어입력 u 를 구하기 위한 제어시스템을 설계한다.

3.1 기준모델적응제어기(MRAC)의 구조

차량운동제어에 사용하는 MRAC는 운전자의 조향입력에 대하여 기준모델로 규정된 원하는 차량응답을 차량 모델의 응답이 추종하도록 하는 제어방법으로 차량 파라미터의 변화에도 시스템의 안정성과 강인성을 보장한다. MRAC의 파라미터 적응기재에는 MIT Rule 과 Lyapunov Rule 이 있는데 본 논문에서는 추적성능(Tracking Performance)이 우수한 Lyapunov Rule을 사용하였다 [9]. MRAC의 구조는 Fig. 2와 같다.

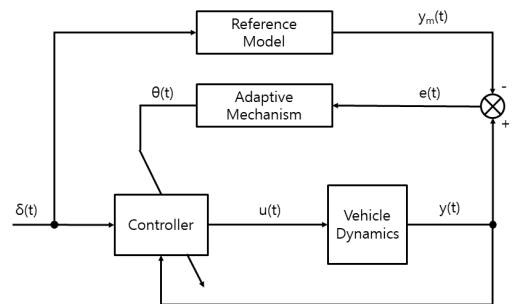


Fig. 2. Structure of MRAC System

3.2 제어법칙

Fig. 2에서 차량의 상태변수 x 가 모두 측정가능하여 $y = x$ 라 하고 제어법칙을 다음과 같이 정의한다.

$$u = M\delta - Lx \tag{7}$$

where $M \in R^{1 \times 1}$ denotes Feedforward Gain, $L \in R^{1 \times 2}$ denotes Feedback Gain.

식(7)을 식(5)에 대입하면 Closed loop system 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= A\mathbf{x} + B(M\delta - L\mathbf{x}) + E\delta \\ &= (A - BL)\mathbf{x} + (BM + E)\delta \\ &= A_c(\boldsymbol{\theta})\mathbf{x} + E_c(\boldsymbol{\theta})\delta \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $\boldsymbol{\theta} = [L \ M]$ 으로 조정가능한 제어기 파라미터이고, A_c 와 E_c 는 $\boldsymbol{\theta}$ 에 의해 결정되며 $\boldsymbol{\theta}$ 는 노면마찰계수 등 차량 파라미터의 변동에 따라 달라진다. 만일 정확한 $\boldsymbol{\theta}^0$ 를 찾으면 Closed loop System은 Reference Model과 동일하게 된다는 충분조건을 적합조건이라 한다. 이 적합조건은 나중에 적응법칙에서 사용되는데 이때 제어기 파라미터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_c(\boldsymbol{\theta}^0) &= A - BL^0 = A_m, \\ E_c(\boldsymbol{\theta}^0) &= BM^0 + E = E_m \\ \therefore L^0 &= (B^T B)^{-1} B^T (A - A_m) \\ M^0 &= (B^T B)^{-1} B^T (E_m - E) \end{aligned} \quad (9)$$

3.3 적응법칙

추적오차를 영으로 수렴하게 하고 제어계의 안정성을 보장하기 위한 가변 파라미터 $\boldsymbol{\theta}$ 를 찾는 적응법칙을 설계한다. 우선 추적오차 동역학은 다음과 같다.

$$\text{추적오차 : } \mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_m(t)$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{e}}(t) &= \dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m \\ &= [A\mathbf{x} + Bu + E\delta] - [A_m \mathbf{x}_m + E_m \delta] \\ &= A_m \mathbf{e} + \Psi(\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}^0) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Psi &= B[-x^T \delta^T], \quad \boldsymbol{\theta} = [L \ M]^T, \\ \text{and } \boldsymbol{\theta}^0 &= [L^0 \ M^0]^T \end{aligned}$$

Lyapunov 함수 V 를 다음과 같이 정의한다.

$$V(\mathbf{e}, \boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{2} \{ \gamma \mathbf{e}^T P \mathbf{e} + (\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}^0)^T (\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}^0) \} \quad (11)$$

V 가 Lyapunov 함수가 되기 위한 조건으로부터 적응법칙을 유도하면 다음과 같다.

$$\frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt} = -\gamma \Psi^T P \mathbf{e} \quad (12)$$

$$\boldsymbol{\theta}(t) = \int_0^t \dot{\boldsymbol{\theta}}(t) dt + \boldsymbol{\theta}^0$$

$$A_m^T P + P A_m = -Q \quad (13)$$

where γ denotes adaptation gain, P and Q are positive definite matrices.

Q 는 기준모델의 상태변수에 대한 가중해열이다.

3.4 능동요모멘트의 인휠모터 토크 변환

위에서 구한 제어입력 $u = M_z$ 를 실제 차량에서 얻기 위해서는 좌우측 구동바퀴를 구동하는 인휠모터에 차분 토크를 입력하여 종감속기어를 통한 휠토크를 각 바퀴에 가한다. 인휠모터는 휠토크를 증감이 가능하여 타이어에서 전후방향의 구동력을 낼 수 있으므로 M_z 를 얻기 위해 제동력을 사용하는 경우의 제동토크의 변환[10]에 비해 단순하고 요구되는 휠토크의 크기도 1/2정도로 작다. 본 논문의 대상차량은 후륜독립구동이므로 M_z (양의 값은 시계반대방향)에 대한 후륜 좌우측 바퀴의 인휠모터 토크 변환식은 단순하게 다음과 같이 변환된다.

$$\begin{aligned} \text{좌측후륜 모터토크 } T_{M,rl} &= -\frac{R_w M_z}{G t_r} \\ \text{우측후륜 모터토크 } T_{M,rr} &= \frac{R_w M_z}{G t_r} \end{aligned} \quad (14)$$

where R_w denotes effective tire radius, G denotes reduction gear ratio of in-wheel motor, and t_r denotes rear wheel tread.

4. 시뮬레이션 결과

위에서 제안된 제어기의 효과를 검증하기 위하여 J-Turn, Sine Steer 와 이중차선변경에 대한 차량주행 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 노면마찰계수의 변화를 고려한 차량의 조종안정성의 변화를 파악하고자 하였다.

4.1 J-Turn

이 시뮬레이션의 목적은 주행환경의 변화에 대한 제어시스템의 추적성과 차량의 조종안정성을 파악하고자하

는 것이다. 시뮬레이션 조건으로 차속 80 KPH, 계단조향입력의 크기는 1.5 deg 이다. 타이어-노면 마찰계수가 초기에는 건조로($\mu = 0.8$) 에서 조향입력 2초경과 후 갑자기 매끄러운 노면($\mu = 0.4$)으로 변화되는 것으로 설정하였다. 시뮬레이션 결과로서 차량응답인, 횡슬립각, 요레이트, 횡가속도를 Fig. 3의 (b), (c), (d)에 각각 나타내었다. 또한 제어차량의 경우 능동요모멘트 M_z 와 이것을 발생하기 위해 필요한 인휠모터의 토크를 Fig. 3의 (e), (f)에 나타내었다. Fig. 3(d)로부터 제어차량이 노면상태

의 변화에도 불구하고 기준모델의 요-레이트 응답을 잘 추적하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 3(b)에서 제어차량의 횡슬립각이 유한한 범위 안에서 발생하여 차량의 조종안정성에도 문제가 없음을 알 수 있다.

4.2 Sine Steer

이 시뮬레이션의 목적은 차량의 장애물 회피성능에 대한 평가를 위한 것으로 시뮬레이션 조건은 차속 60 KPH로, 젖은 노면 ($\mu = 0.6$)을 주행하면서 한 주기의 정현

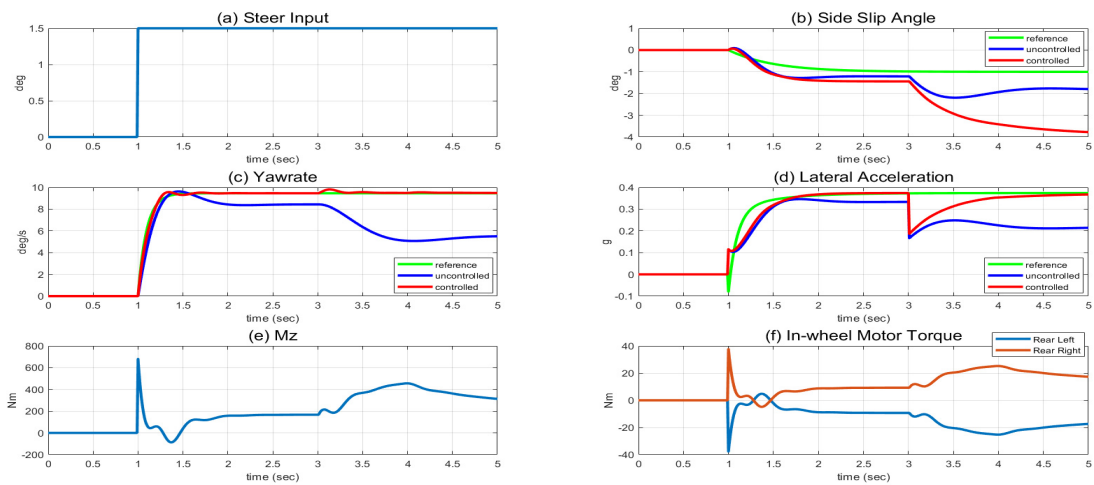


Fig. 3. Simulation Results of J-Turn at V=80 KPH , $\mu=[0.8 : 0.4]$ [$Q=[1 \ 0 ; 0 \ 100]$, $\gamma = 3.0 \times 10^9$]

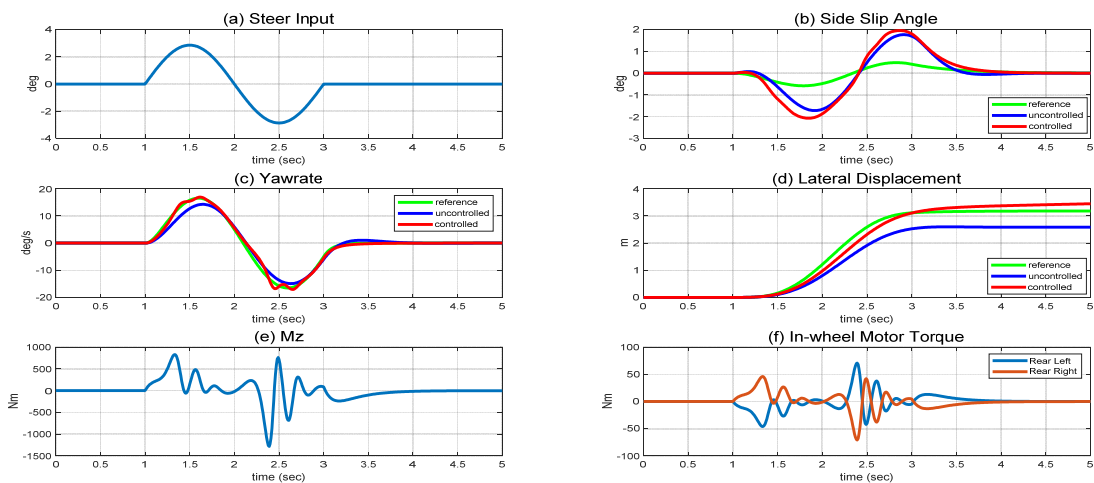


Fig. 4. Simulation Results of Sine Steer at V=60 KPH , $\mu=0.6$ [$Q=[1 \ 0 ; 0 \ 100]$, $\gamma = 3.0 \times 10^9$]

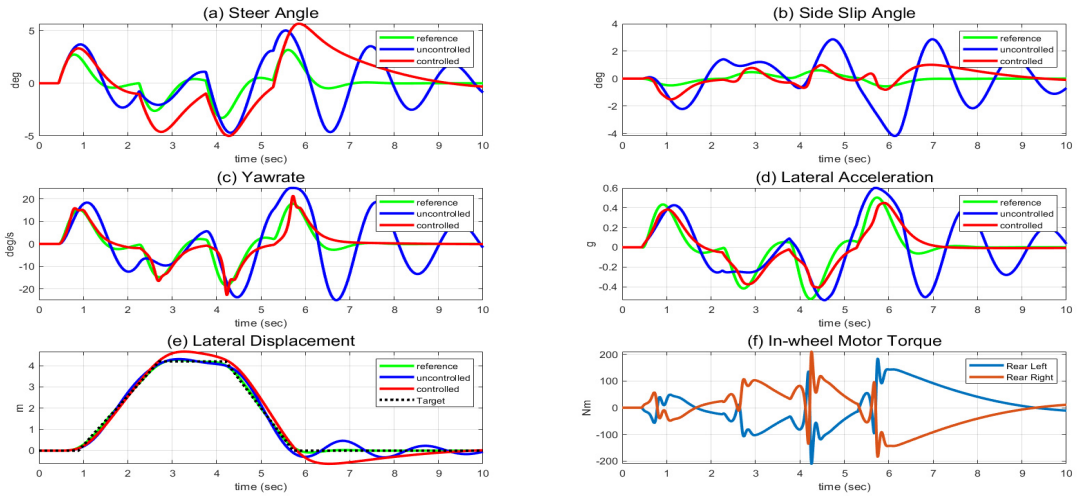


Fig. 5. Simulation Results of Double Lane Change at $V=60$ KPH, $\mu=0.6$ [$Q=[1 \ 0 ; 0 \ 100]$, $\gamma = 3.0 \times 10^9$]

파 조향입력을 가한다. 정현파의 주기는 2초이고 진폭은 $1/20$ rad 이다. 시뮬레이션 결과로서 차량응답인, 횡슬립각, 요-레이트 및 횡방향 변위를 Fig. 4의 (b), (c), (d)에 나타내었다. 또한 제어차량의 경우 능동요모멘트 M_z 와 이것을 발생하기 위해 필요한 인휠모터의 토크를 Fig. 4의 (e), (f)에 나타내었다. Fig. 4에서 제어차량은 젖은 노면에서도 기준모델의 응답을 잘 추적하는 것을 알 수 있다. 특히 Fig. 4(d)에서 제어차량의 횡방향 변위가 비제어차량에 비해 크게 발생하여 장애물 회피성능이 우수함을 알 수 있다.

4.3 이중차선변경

이 시뮬레이션의 목적은 운전자-차량계의 페루프 제어성능에 대한 평가를 위한 것으로 페루프계는 전방주시 운전자 모델[11]을 포함하고 있으며 목표차선은 ISO 3888-1의 차선경로를 사용하였다. 시뮬레이션 조건은 차속 60 KPH, 젖은 노면 ($\mu = 0.6$)이다. 시뮬레이션 결과로서 Fig. 5(a)에 운전자 조향입력을, Fig. 5의 (b), (c), (d), (e)에 차량응답인 횡슬립각, 요-레이트, 횡가속도 및 횡방향 변위를 나타내었다. 또한 제어차량의 경우 능동요모멘트를 발생하기 위해 필요한 인휠모터의 토크를 Fig. 5(f)에 나타내었다. Fig. 5(e)에서 모든 차량은 목표차선을 잘 추적하고 있음을 알 수 있다. 하지만 차량의 거동을 나타내는 Fig. 5(b), (c), (d)에서 비제어차량은 대체로 거동이 크고 차선의 변경 후에도 계속 요동하

는 불안정성을 보이고 있으나 제어차량은 모든 응답이 영으로 수렴하는 안정성을 보이고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

1. 시뮬레이션 결과 제안된 MRAC가 적용된 제어차량의 응답이 기준모델의 목표치를 잘 추적하는 것을 보였으며 차량의 조종안정성도 향상되는 것을 확인하였다.
2. 제어입력인 능동요모멘트의 발생을 위하여 좌우 인휠모터의 토크를 간단하게 역상으로 제어할 수 있음을 보여 주었다.
3. 본 논문에서 제안된 MRAC는 마찰계수 이외의 다중 차량 파라미터의 변동에 적응 가능하므로 운전자가 인식을 못하는 다양한 주행환경의 변화에도 강건성을 지니므로 향후 자율 주행차량의 제어에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.
4. 향후 차량모델에 모터모델을 포함하여 모터 파라미터의 변동에 대한 모터제어의 강건성을 파악하기 위한 MRAC 제어의 연구를 수행하고자 한다.

References

[1] G. Zhang , H. Zhang , and H. Li "The Driving Control

of Pure Electric Vehicle”, *2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, Procedia Environmental Sciences*, pp.433-438, 10, 2011

- [2] M. S. Jneid, P. Harth, P. Ficzer , “In-wheel-motor electric vehicles and their associated drivetrains”, *International Journal for Traffic and Transport Engineering 2*, Vol.10, NO.4, pp.415-431, 2020 DOI: [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2020.10\(4\).01](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2020.10(4).01)
- [3] K. J. Astrom and B. Wittenmark, *Adaptive Control 2nd Edition*, p.590, Dover Publications Inc., 2008, pp.185~214
- [4] X. Zhao and G. Guo “Model Reference Adaptive Control of Vehicle Slip Ratio Based on Speed Tracking”, *Applied Science*, 3549, pp.1-15, Oct, 2020
- [5] A. Khosravi, Z. Lachini, and P. Sarhadi, “Predictor-based model reference adaptive control for a vehicle lateral dynamics considering uncertainties”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part I Journal of Systems and Control Engineering*, pp.1-10, Oct. 2015
- [6] M. R. Sapiee, S. Sudin, “Road Vehicle Following System With Adaptive Controller Gain Using Model Reference Adaptive Control Method”, *IJSSST*, Vol. 11, No. 5, Feb. 2015
- [7] K. Lee, “Estimation of tire-road friction coefficient for Vehicle active safety control system”, *Transactions of KSAE*, Vol.20, No.6, pp.31-37, Dec. 1998
- [8] E. F. Kececi and G. Tao, “Adaptive vehicle skid control”, *Mechatronics*, Vol.16, No.5, pp.291-301, Jun. 2006
- [9] S. Pankaj, J. S. Kunar, and R. K. Nema, “Comparative Analysis of MIT Rule and Lyapunov Rule in Model Reference Adaptive Control Scheme”, *Innovative Systems Design and Engineering*, Vol.2, No.4, pp.154-162, Oct. 2011.
- [10] M. Doumiati, O. Sename, L. Dugard et al. “Integrated vehicle dynamics control via coordination of active front steering and rear braking”, *European Journal of Control*, pp.121-1431, Sep. 2013
- [11] K. Yosimoto, “Simulation of Vehicle/Driver System including Preview Control”, *Transaction of JSAE*, Vol.71, 1968

조 일 범(Yi-Fan Zhao)

[정회원]



- 2013년 6월 : 화북공대 기계설계 제조자동화전공 (공학사)
- 2016년 6월 : 화북공대 기계설계 제조자동화전공 (공학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 화북공대 차량공학과 강사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 우석대학교 대학원 자동차공학과 박사과정

<관심분야>

차량동역학 모델링 시뮬레이션, 차량새시 성능최적화

이 창 노(Chang-Ro Lee)

[정회원]



- 1993년 8월 : 연세대학교 공학대 학원 기계공학전공 (공학석사)
- 2000년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1983년 3월 ~ 1988년 9월 : 현대 자동차 기술연구소
- 1989년 10월 ~ 2000년 12월 : 쌍용자동차 기술연구소
- 2001년 3월 ~ 현재 : 우석대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

차량동역학, 차량제어, 기구동역학시뮬레이션

김 영 렬(Young-Ryul Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 일반대 학원 기계공학전공 (공학석사)
- 2011년 8월 : 아주대학교 대학원 시스템공학전공 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2009년 12월 : 현대기아자동차 기술연구소
- 2016년 3월 ~ 현재 : 진우에스엠 씨 기술연구소 이사

<관심분야>

차량동역학 및 운동제어, 전기차/연료전지차 동력제어