

<학술논문>

DOI <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2017.41.3.205>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

주행하는 대형 트럭의 요관성모멘트 실시간 추정[§]

이승용^{*†} · 나카노키미히코^{**} · 김세광^{*}

* 서정대학교 자동차과, ** The University of Tokyo

Real-Time Estimation of Yaw Moment of Inertia of a Travelling Heavy Duty Truck

Seung-Yong Lee^{*†}, Kimihiko Nakano^{**} and Se-Kwang Kim^{*}

* Seojeong College, ** The University of Tokyo

(Received September 11, 2016 ; Revised November 24, 2016 ; Accepted November 29, 2016)

Key Words: Vehicle Dynamics(차량동역학), Parameter Identification(파라미터추정), Simulation(시뮬레이션), ITS(지능형교통시스템)

초록: 차량제어의 고도화에 의해, 자동 대열 주행 제어와 같은 정밀한 제어의 필요성이 더욱 높아지고 있다. 정밀 제어를 수행하기 위해서는 차량제어에 필요한 차량 파라미터를 항상 파악하는 것이 중요하다. 특히 화물 운송용 트럭의 경우, 화물 적재 상태에 따라 차량 질량과 차량 관성모멘트 등의 차량 파라미터가 크게 변화한다. 따라서 미지의 파라미터가 있을 경우, 실시간으로 파라미터 추정하여 제어시스템에 반영이 요구된다. 본 연구에서는 차량이 곡선 주행할 때에 차량의 조향제어에 중요한 차량 파라미터 중 하나인 요관성모멘트에 대하여 Dual Kalman filter 알고리즘과 GPS 센서를 이용하여 차량이 주행 중에 미지의 요관성모멘트 값을 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제안하고, 차량동역학 상용 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 추정방법의 타당성을 검토한다.

Abstract: To achieve an advanced control of automobiles, it is necessary to acquire the values of the parameters of a vehicle in real time to conduct precise vehicle control practices such as automatic platooning control. Vehicle control is especially required in controlling trucks, as the mass and inertia change widely according to the loading conditions. Thereafter, we propose to estimate the yaw moment of inertia of the truck in real-time during travelling, by applying the dual Kalman filter algorithm, which estimates the state variables and values of the parameters simultaneously in real-time. The simulation results show that the proposed method is effective for the estimation, which uses commercial software for simulating and analyzing the vehicle dynamics.

- 기호설명 -

ITS : 지능형교통시스템(Intelligent Transportation System)
 M : 차량질량
 V : 절대속도
 δ : 타이어조향각도
 γ : 요각속도
 β : 슬립각

J : 요관성모멘트
 KF : 칼만필터(Kalman filter)
 DKF : 듀얼칼만필터(Dual Kalman filter)
 C.G : 무게중심(Center of Gravity)
 l_f, l_{r1}, l_{r2} : 축간거리(전축 및 후 1, 2축)
 F_f, F_{r1}, F_{r2} : 횡력(전축 및 후 1, 2축)
 K_f, K_{r1}, K_{r2} : 횡강성(전축 및 후 1, 2축)

1. 서론

자동차 대수의 급증에 따라 자동차에 의한 환경 오염문제와 교통 문제가 전세계적인 문제가 되고

[§] 이 논문은 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 2016년도 춘계학술대회(2016. 4. 7.-9., 제주해비치호텔) 발표논문임.
[†] Corresponding Author, systepano@gmail.com
 © 2017 The Korean Society of Mechanical Engineers

있다. 특히 운송 트럭의 경우는 운송 시간 지연으로 인한 물류 효율의 저하와 연비의 악화가 문제가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ITS 분야에서 자동 대열 주행 연구는 환경오염 문제와 교통 문제의 개선 방안으로 주목 받고 KONVOI, SARTRE, PROMOTE-CHAUFFEUR, PATH와 같은 프로젝트를 통해 연구가 진행되고 있다.^(1~4) 자동 대열 주행이란 여러 대의 차량이 차간 거리 제어 및 차선 인식 제어 등의 정밀한 제어를 통해 일정한 차간 거리를 유지하면서 자동 운전할 수 있는 주행을 말한다. 차간 거리를 좁혀 자동 주행할 수 있기 때문에 대열 주행 중인 후속 차량은 공기 저항 감소에 의한 연비 향상과 도로에 차량 밀도를 높일 수 있어 교통 효율 향상이 기대된다. 특히 운송 트럭의 경우는 물류 효율성 향상과 연비 향상 등의 효과를 기대할 수 있기 때문에 자동 운전 대열 주行的 개발이 전세계적으로 진행되고 있다.^(5~7) 이와 같이 자동 대열 주행은 여러 경제적 장점이 많지만,⁽⁸⁾ 차간 거리를 좁혀 주행하므로 주행 안전성을 높이기 위한 정밀한 제어가 요구된다.⁽⁹⁾ 일반 운송 트럭은 화물 적재 상태에 따라 차량 상태량이 수시로 달라진다. 자동 대열 주행하는 트럭의 경우, 정확한 자동 대열 주행 제어를 하기 위하여 사전에 적재 상태에 따른 차량 질량, 차체 중심 위치, 요관성모멘트 등의 차량 제어용 파라미터를 항상 파악하고 최적의 주행 제어를 할 필요가 있다. 따라서 주행 제어에 사용되는 차량 파라미터 중, 미지의 파라미터에 대해 이를 추정하는 여러 연구가 수행되고 있다.^(10~13) 저자는 대형 트럭을 이용하여 가중 실험을 통해 에어 서스펜션의 벨로우즈 압력과 리프 서스펜션의 변위량으로 차체 질량과 차체 중심 위치의 추정연구를 하였다.⁽¹⁴⁾ 또한 평가함수를 이용한 파라미터 추정안에 대해 실차 실험을 통해 타당성을 확인하였다.⁽¹⁵⁾

이 논문에서는 차량의 조향 제어에 중요한 차량 파라미터 중 요관성모멘트에 대하여 실시간으로 추정하는 방법을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 추정안의 유효성을 검토한다.

2. 파라미터 추정

2.1 파라미터 추정안

차량이 곡선 주행할 때, 차량의 조향제어에 중요한 차량 파라미터인 요관성모멘트에 대하여, DKF 알고리즘과 절대속도를 계측 가능한 GPS 계측기를 이용하여 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제안한다. DKF 알고리즘에 대해서는 2.3절에서 기

Table 1 Accuracy of GPS sensor

Absolute Velocity	0.1 km/h
Slip angle	0.1 deg.
Yaw rate	0.75 rad/s

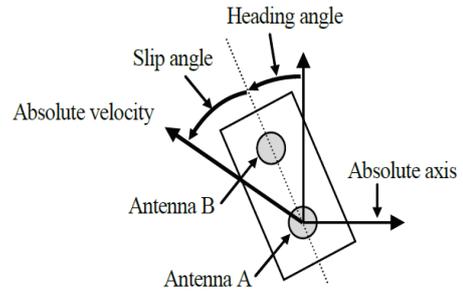


Fig. 1 GPS sensor

술하였다. 파라미터 추정에 사용되는 차량 운동 데이터는 Racelogic사 VB20SL 모델의 GPS 계측기를 이용하는 것을 전제로 한다. 이 계측기는 위성으로부터 GPS 신호를 이용하여 주행하는 차량의 절대속도 V 및 슬립각 β , 요각속도 γ 등을 높은 정밀도로 측정할 수 있는 계측기이다. 차량의 절대속도 V 는 GPS 반송파의 도플러 효과를 이용하여 0.1km/h의 정밀도로 계측된다. 안테나의 위치 정보는 위성으로부터의 반송파의 주파수와 위상차를 이용하여 위치정보가 계측된다. 슬립각 β 은 Fig. 1과 같이 2개의 안테나의 위치 정보로부터 구해진 차량의 회전각과 절대 속도의 방향각의 차를 0.1deg의 정밀도로 계측된다. 요각속도 γ 는 차량의 회전각의 변화율을 0.75deg/s의 정밀도로 계측된다. 이 GPS 계측기는 선행 연구에서도 유용성이 확인되었다.⁽¹⁶⁾

2.2 차량모델

파라미터 추정안을 검토하기 위하여, Fig. 2와 같이 3축 대형 트럭을 베이스로 하는 등가 이륜 모델을 사용하였다.⁽¹⁷⁾ 그리고 등가 이륜 모델을 이용한 차량의 운동 방정식은 식 (1)-(2)로 나타낼 수 있다.⁽¹⁸⁾

$$MV(\dot{\beta} + \gamma) = 2K_f(\delta - \beta - \frac{l_f}{V}\gamma) + 2K_{r1}(-\beta + \frac{l_{r1}}{V}\gamma) + 2K_{r2}(-\beta + \frac{l_{r2}}{V}\gamma) \quad (1)$$

$$J\dot{\gamma} = 2K_f(\delta - \beta - \frac{l_f}{V}\gamma)l_f - 2K_{r1}(-\beta + \frac{l_{r1}}{V}\gamma)l_{r1} - 2K_{r2}(-\beta + \frac{l_{r2}}{V}\gamma)l_{r2} \quad (2)$$

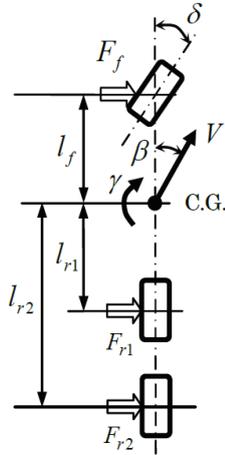


Fig. 2 Single-track model

위 식 (1)-(2)로부터, 식 (3)-(5)와 같이 요 각속도 γ 와 슬립각 β 를 상태 벡터로 하는 상태방정식을 구할 수 있다. 타이어 조향각 δ 은 입력, y 는 출력을 나타낸다.

$$\dot{x} = Ax + B\delta \tag{3}$$

$$y = Cx \tag{4}$$

$$x = [\gamma \ \beta]^T \tag{5}$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = -\frac{2}{JV}(K_f l_f^2 + K_{r1} l_{r1}^2 + K_{r2} l_{r2}^2)$$

$$A_{12} = -\frac{2}{J}(K_f l_f - K_{r1} l_1 - K_{r2} l_2)$$

$$A_{21} = -\frac{2}{MV^2}(K_f l_f - K_{r1} l_1 - K_{r2} l_2) - 1$$

$$A_{22} = -\frac{2}{MV}(K_f + K_{r1} + K_{r2})$$

$$B_{11} = \frac{2}{J} K_f l_f$$

$$B_{21} = \frac{2K_f}{MV}$$

2.3 DKF알고리즘

파라미터 추정에 사용되는 DKF는 상태량을 추정하면서 파라미터 추정을 할 수 있는 재귀 알고리즘이다. DKF는 Fig. 3과 같이 상태 추정용 KF와 파라미터 추정용 KF으로 구성된다.⁽¹⁹⁻²²⁾ 상태 추정용 KF에서 어느 시간 스텝 k 에서 구해진 상태 추정값은 파라미터 추정용 KF에 입력되어 파라미터 추정에 사용된다. 파라미터 추정용 KF에서 구

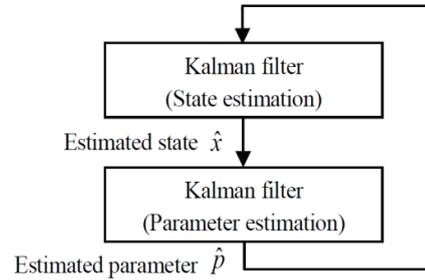


Fig. 3 Outline of Dual Kalman filter algorithm

해진 파라미터 추정값은 상태 추정용 KF 피드백되어, 다음 시간 스텝 $k+1$ 의 상태 추정에 사용된다. 이 과정을 매 시간 스텝 마다 반복하여, 상태 추정값과 파라미터 추정값을 구한다.

DKF는 식 (6)-(9)를 이용하여 상태 추정 및 파라미터 추정을 한다. 식 (6)-(7)은 식 (3)-(4)의 연속시간 상태방정식에서 변환된 이산시간 상태방정식으로 상태 추정에 사용된다. 식 (6)-(7)의 시스템 모델 행렬 A_d , B_d , C_d 는 식 (3)-(4) 시스템 모델 행렬 A , B , C 를 이산화한 시스템 모델이다. 첨자 k 는 매시간 스텝의 번호를 나타낸다. x_k 는 상태 벡터, δ_k 는 입력 벡터, y_k 는 출력 벡터를 나타낸다. w_k 와 v_k 는 상태 추정용 시스템 노이즈와 측정 노이즈를 나타낸다. 그리고 식 (8)-(9)는 파라미터 추정에 사용된다. D_d 는 파라미터의 출력 모델 행렬, z_k 는 파라미터의 출력 벡터를 나타낸다. m_k 과 n_k 는 파라미터 추정용 시스템 노이즈와 측정 노이즈를 나타낸다.

$$x_{k+1} = A_d x_k + B_d \delta_k + w_k \tag{6}$$

$$y_k = C_d x_k + v_k \tag{7}$$

$$p_{k+1} = p_k + m_k \tag{8}$$

$$z_k = D_d p_k + n_k \tag{9}$$

상태 추정용 KF는 식 (10)-(14)와 같이 구성된다. Q_s 와 R_s 는 상태 추정용 시스템 노이즈 공분산과 측정 노이즈 공분산을 나타낸다. 식 (10)의 \hat{x}_k 은 상태 추정의 예측값으로, 이전 시간 스텝 $k-1$ 에서 구한 상태 추정값과 시스템 모델로부터 구해져, 이전 시간 스텝 $k-1$ 에서의 추정값이 현재 시간 스텝 k 이 되었을 때의 값을 예측한다. 식 (11)의 P_k 은 상태 추정 오차 공분산의 예측값으로, 이전 시간 스텝 $k-1$ 의 오차 공분산이 현재 시간 스텝이 되었을 때의 오차 공분산을 예측한다. 식 (12)의

K_k 은 상태 추정의 칼만게인으로, 상태 추정값을 오차 공분산의 정규 분포에서 가장 확률이 높은 값에 접근시키는 값이다. 식 (13)의 \hat{x}_k 는 상태 추정값으로, 식 (10)의 상태 추정 예측값 \hat{x}_k^- 에 상태 측정값 s_k 과 상태 추정값의 오차와 식 (12)의 K_k 을 곱한 값을 더하여 오차 공분산의 정규 분포에서 가장 확률이 높은 상태 추정값이 구해진다. 식 (14)의 P_k 는 식 (13)에서 구한 상태 추정값이 어느 정도 정확한지를 오차 공분산으로 나타낸다. 이 상태 추정용 KF으로 구해진 상태 추정값은 다음의 파라미터 추정용 KF의 식 (18)에 입력되어 파라미터 추정값을 구할 때 사용된다.

$$\hat{x}_k^- = A_d \hat{x}_{k-1} + B_d u_k \quad (10)$$

$$P_k^- = A_d P_{k-1} A_d^T + Q_S \quad (11)$$

$$K_k = P_k^- C^T (C_d P_k^- C_d^T + R_S)^{-1} \quad (12)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (s_k - C_d \hat{x}_k^-) \quad (13)$$

$$P_k = (I - K_k C_d) P_k^- \quad (14)$$

파라미터 추정을 위한 KF는 식 (15)-(19)와 같이 구성된다. Q_p 와 R_p 는 파라미터 추정용 시스템 노이즈 공분산과 측정 노이즈 공분산을 나타낸다. 식 (15)의 \hat{p}_k^- 은 파라미터 추정의 예측값으로 이전 시간 스텝 $k-1$ 에서 구한 파라미터 추정값이 입력된다. 식 (16)의 U_k^- 는 파라미터 추정 오차 공분산의 예측값으로, 이전 시간 스텝 $k-1$ 의 오차 공분산과 시스템 노이즈 공분산 Q_p 를 더하여 현재 시간 스텝 k 의 오차 공분산을 예측한다. 식 (17)의 G_k 는 파라미터 추정용 칼만게인으로 파라미터 추정값을 정규 분포에서 가장 확률이 높은 값에 접근시키는 값이다. 식 (18)의 \hat{p}_k 는 파라미터 추정값으로, 식 (15)의 파라미터 추정 예측값에 상태 측정값과 상태 추정값의 오차와 식 (17)의 G_k 을 곱한 값을 더하여 오차 공분산의 정규 분포에서 확률이 가장 높은 값이 되는 파라미터 추정값을 구한다. 식 (19)의 U_k 는 식 (18)에서 구한 파라미터 추정값이 어느 정도 정확한지를 오차 공분산으로 나타낸다. 이 파라미터 추정용 KF에서 구해진 파라미터 추정값은 상태추정용 KF에 피드백되어, 다음 시간 스텝의 상태 추정을 한다. 이 과정을 반복함으로써 매 시간 스텝의 상태 추정값 및 파라미터 추정값을 구할 수 있다.

$$\hat{p}_k^- = \hat{p}_{k-1} \quad (15)$$

$$U_k^- = U_{k-1} + Q_p \quad (16)$$

$$G_k = U_k^- D_k^T (D_k U_k^- D_k^T + R_p)^{-1} \quad (17)$$

$$\hat{p}_k = \hat{p}_k^- + G_k (s_k - C_d \hat{x}_k^-) \quad (18)$$

$$U_k = (I - G_k D_k) U_k^- \quad (19)$$

본 연구의 요관성모멘트 추정 과정은, 상태 추정용 KF에서 추정값이 갱신되면서, 파라미터 추정용 KF에서 요관성모멘트 J 의 추정값 \hat{p}_k 가 상태 추정용 KF에 피드백 되는 과정을 통하여, 요관성모멘트 참값에 수렴되는 파라미터 추정값을 구할 수 있다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션용 프로그램

화물 운송용 트럭은 적재 상태에 따라 차량 파라미터가 수시로 변한다. 따라서 어느 적재상황에서 트럭의 요관성모멘트 참값을 파악하지 못하는 경우가 많다. 요관성모멘트의 추정안의 타당성을 검토하기 위해서는 요관성모멘트의 참값이 기준으로 필요하므로, 시뮬레이션을 이용하여 추정안의 타당성을 검토하였다. 트럭의 차량운동에 대한 시뮬레이션에는 상용 프로그램인 TruckSim을 사용하였다. Trucksim은 Mechanical Simulation사의 대형 차량의 동적 거동을 시뮬레이션으로 차량 운동의 분석 및 평가를 할 수 있는 프로그램이다.

3.2 시뮬레이션용 차량 사양 설정

시뮬레이션에 사용되는 차량 제어 파라미터 중, 차량 질량, 차량 중심 위치에서 각 바퀴 축까지의 거리, 차량의 요관성모멘트는 참고 문헌의 값을 참고하였다.⁽¹⁶⁾ 하중 변화에 따른 요관성모멘트의 추정을 검토하기 위하여, 공차 상태의 차량 질량은 12,400 kg, 만차 상태의 차량 질량은 공차 상태에서 10,000 kg의 화물을 얹은 22,400 kg의 두 조건의 차량 질량을 설정했다. 요관성모멘트의 설정값은 공차 상태의 경우 136,000 kgm², 만차 상태의 경우 268,100 kgm²로 설정했다. 식 (3)의 파라미터 중, 요각속도 γ 및 슬립각 β , 절대 속도 V 는 GPS 계측기를 사용하는 것을 전제로 측정할 수 있다고 가정한다. 또한 미지의 요관성모멘트 J 이외의 파라미터는 Table 2의 파라미터값을 사용한다. 타이어의 횡강성(Cornering stiffness)는 Fig. 4와 같이

Table 2 Specification of the vehicle

Vehicle mass	Unloaded	12,400 kg	
	Full loaded	22,400 kg	
Yaw moment of inertia	Unloaded	136,000 kgm ²	
	Full loaded	268,100 kgm ²	
Distance of front axle to C.G.		3.59 m	
Distance of rear axle 1 to C.G.		1.95 m	
Distance of rear axle 2 to C.G.		3.26 m	
Cornering stiffness	Unloaded	Front tire	171,293 N/rad
		Rear 1 tire	142,528 N/rad
		Rear 2 tire	142,528 N/rad
	Full loaded	Front tire	292,939 N/rad
		Rear 1 tire	233,257 N/rad
		Rear 2 tire	233,257 N/rad

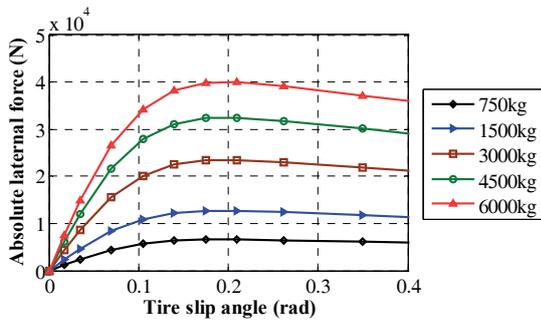


Fig. 4 Tire characteristics for lateral tire force

Trucksim에서 제공되는 타이어 접지하중에 따른 타이어의 횡력과 실제 타이어 조향각의 특성데이터를 이용하여 공차상태와 만차상태의 접지하중에 맞는 횡강성 값을 설정하였다.

3.3 시나리오

Trucksim을 이용한 차량 운전 시나리오는 Fig. 5와 같이 주행 중인 차량이 차선 변경을 반복하는 주행하는 것으로 설정하였다. 차선 변경의 거리는 30m, 차량 속도는 60km/h와 80km/h로 설정하였고 차량 상태는 공차상태와 만차상태 두 경우로 설정하였다.

3.4 설정치

파라미터 추정안에 의한 요관성모멘트 추정값이 참값에 수렴여부를 검토하기 위해, 요관성모멘트의 초기값은 차량이 공차 상태의 경우, 참값($J_{Se} = 136,000\text{kgm}^2$)보다 낮은 초기값($J_{Le} = 13,000\text{kgm}^2$)과 참값보다 높은 초기값($J_{He} = 170,000\text{kgm}^2$)으로 설정했다. 또한 차량이 만차 상태의 경우, 참값($J_{Sf} = 268,100\text{kgm}^2$)보다 낮은 초기값($J_{Lf} = 25,000\text{kgm}^2$)과

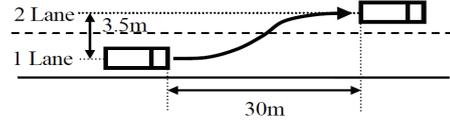


Fig. 5 Scenario of simulation

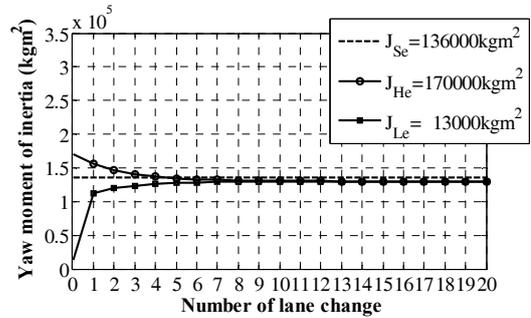


Fig. 6 Estimated yaw moment of inertia in unloaded condition with velocity 60km/h

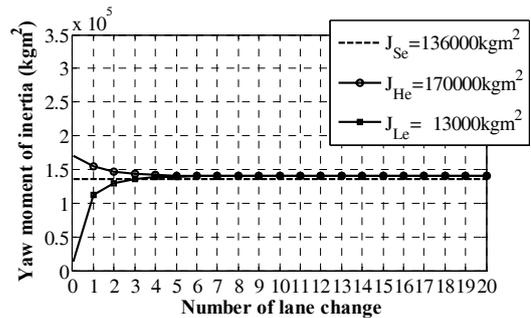


Fig. 7 Estimated yaw moment of inertia in unloaded condition with velocity 80km/h

참값보다 높은 초기값($J_{Hf} = 330,000\text{kgm}^2$)으로 설정했다. DKF 파라미터의 출력 모델 행렬 D_d 과 상태 추정용 노이즈 공분산 Q_s 와 R_s 파라미터 추정에 대한 노이즈 공분산 Q_p 와 R_p 는 다음과 같이 설정했다.

$$D_d = 1 \times 10^{-5} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_s = \begin{bmatrix} 100^2 & 0 \\ 0 & 100^2 \end{bmatrix}$$

$$Q_p = \begin{bmatrix} 2000^2 & 0 \\ 0 & 200^2 \end{bmatrix} \quad R_p = \begin{bmatrix} 0.01^2 & 0 \\ 0 & 0.01^2 \end{bmatrix}$$

4. 추정결과

Fig. 6은 공차 상태에서 차량 속도가 60km/h 경우의 요관성모멘트 추정 결과로, 요관성모멘트 추정값이 초기값 J_{Le} 와 J_{He} 로부터 $130,100\text{kgm}^2$ 으로

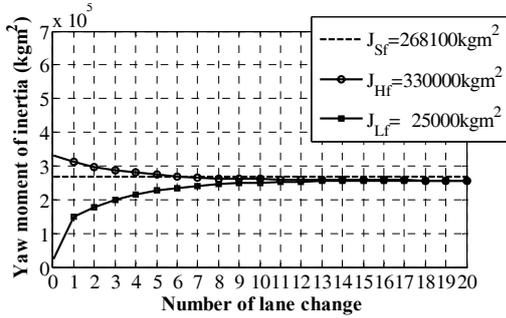


Fig. 8 Estimated yaw moment of inertia in full loaded condition with velocity 60km/h

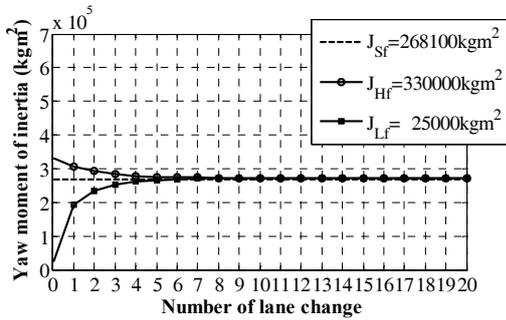


Fig. 9 Estimated yaw moment of inertia in full loaded condition with velocity 80km/h

수렴되어, 추정값과 참값 J_{Se} 사이에 4.3%의 오차가 있는 것을 확인하였다. Fig. 7은 공차 상태에서 차량 속도가 80km/h 경우의 요관성모멘트의 추정 결과로, 요관성모멘트 추정값이 초기값 J_{Le} 과 J_{He} 로부터 140,400kgm²으로 수렴되어, 추정값과 참값 J_{Se} 사이에 3.2%의 오차가 있는 것을 확인하였다.

Fig. 8은 만차 상태에서 차량 속도가 60km/h 경우의 추정 결과로, 요관성모멘트 추정값이 초기값 J_{Lf} 과 J_{Hf} 로부터 257,000kgm²로 수렴되어, 추정값과 참값 J_{Sf} 사이에 4.1%의 오차가 있는 것을 확인하였다. Fig. 9는 만차 상태에서 차량 속도가 80km/h 경우의 추정 결과로, 요관성모멘트 추정값이 초기값 J_{Lf} 과 J_{Hf} 로부터 272,300kgm²로 수렴되어, 추정값과 참값 J_{Sf} 사이에 1.6%의 오차가 있는 것을 확인하였다.

요관성모멘트 추정결과의 오차는 실차 모델과 본 논문에 이용한 등가 이륜 모델의 차이가 원인이라고 판단된다. 실차 모델이 차선 변경 시에 차량의 롤(Roll) 운동에 의한 좌우 바퀴의 접지 하중 이동하기 때문에 좌우 바퀴의 횡력(Lateral force)이 달라진다. 그러나 등가 이륜 모델은 롤운동을 고려하지 않은 모델로 접지 하중의 이동이 없고 실제 횡력과 부하의 관계는 비선형이기 때문에, 등가 이륜 모델에서 발생하는 횡력과 실제 차량에서

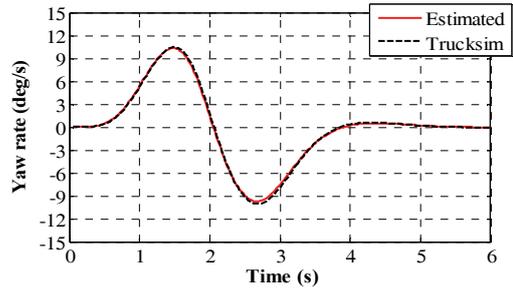


Fig. 10 Estimated yaw rate in unloaded condition with velocity 80km/h

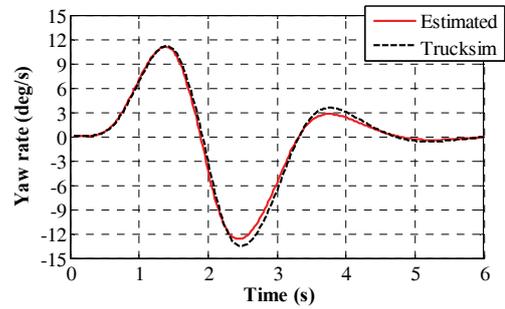


Fig. 11 Estimated yaw rate in full loaded condition with velocity 80km/h

발생하는 횡력이 같지 않아 오차가 발생한다고 판단된다.

Fig. 10은 차량이 공차 상태에서 차량 속도가 80km/h 경우 요각속도의 상태 추정 결과를 나타낸다. 실선은 Fig. 7에서 구해진 요관성모멘트 추정값이 적용된 요각속도의 추정 결과이고 점선은 Trucksim의 요각속도 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Fig. 11은 차량이 만차 상태에서 차량 속도가 80km/h 경우 요각속도의 상태 추정 결과를 나타낸다. 실선은 Fig. 9에서 구해진 요관성모멘트 추정값이 적용된 요각속도의 추정 결과에서 점선은 Trucksim의 요각속도 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Fig. 10-11의 요각속도의 추정결과와 Trucksim의 시뮬레이션 결과는 거의 일치하는 것을 확인하였다.

5. 결론

미지의 요관성모멘트를 실시간으로 추정하기 위하여, DKF 알고리즘과 GPS 계측기를 사용한 요관성모멘트의 추정방법을 제안하고, 차량동역학 프로그램인 Trucksim을 이용하여 운전 조건에 따른 시뮬레이션을 통해, 추정안에 의한 요관성모멘트 추정결과를 구하였다. 요관성모멘트 참값에 대한

추정값의 오차 원인은, 본 연구에 사용된 등가 이론 모델과 실차 모델의 차이가 원인으로 판단된다. 이 연구를 통해, 수용 가능한 오차 범위의 추정값을 얻을 수 있었고 추정안의 타당성 및 실용 가능성을 확인하였다. 다음 연구는 실제 차량을 대상으로 제안한 파라미터 추정 방법의 유효성에 대해서 검토할 예정이다.

후 기

본 연구에서는 신 에너지·산업 기술 종합 개발 기구(NEDO)의 에너지 ITS 추진 사업 「자동 운전·대열 주행 연구 개발」의 일환으로 실시되었다. 관계자 여러분들께 감사 드린다.

참고문헌

(References)

- (1) Harker, B., 2001, "Promote-Chauffeur II & 5.8GHz Vehicle to Vehicle Communications System," *In Advanced Driver Assistance Systems*, pp. 81~85.
- (2) Ramakers, R., Henning, H., Gies, S., Abel, D. and Haberstroh, M., 2011, "Electronically Coupled Truck Platoons on German Highways," *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2009/2010*, Springer, pp. 441~451.
- (3) Bergenhem, C., Huang, Q., Benmimoun, A. and Robinson, T., 2010, "Challenges of Platooning On Public Motorways," *17th World Congress on Intelligent Transport Systems*, pp. 1~12.
- (4) Shladover, S., 2007, "PATH at 20 — History and Major Milestones," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 4, pp. 584~592.
- (5) Sheikholeslam, S. and Charles, A., 1992, "Combined Longitudinal and Lateral Control of a Platoon of Vehicles," *American Control Conference*, pp. 1763~1767.
- (6) Ioannou, P. and Chien, C., 1993, "Autonomous Intelligent Cruise Control," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 4, pp. 657~672.
- (7) Aoki, K. and Morita, Y., 2009, "Development of Automated Platooning System based on Heavy Duty Trucks. (First Report)," *JSAE Annual Congress (Autumn)*, No. 94-09, pp. 1~4.
- (8) Yamazaki, H., Okamoto, K., Aoki, K. and Ito, Y., 2009, "Fuel Saving Effect of Single File Platooning Trucks on Expressway," *JSAE Annual Congress (Autumn)*, No. 95-09, pp. 1~4.
- (9) Lee, S., Nakano, K., Yamabe, S., Zheng, R., Aki, M. and Suda, Y., 2011, "Realization of Automatic Platooning Simulation by Driving Simulator," *JSME Annual Congress*, CD-ROM.
- (10) Solmaz, S., Akar, M., Shorten, R. and Kalkkuhl, J., 2008, "Real-time Multiple-model Estimation of Centre of Gravity Position in Automotive Vehicles," *Vehicle System Dynamics*, Vol. 46, No. 9, pp. 763~788.
- (11) Best, M. and Gordon, T., 2000, "Combined State and Parameter Estimation of Vehicle Handling Dynamics," *Proceedings of the 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC)*, pp. 429~436.
- (12) Bae, H., Ryu, J. and Gerdes, J., 2001, "Road Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control using GPS," *IEEE Conference on Intelligent transportation system*, pp. 25~29.
- (13) Hong, D. G., Huh, K. S., Yoon, P. J. and Hwang, I. Y., 2004, "Estimation of Tire Braking Force and Road Friction Coefficient Between Tire and Road Surface for Wheel Slip Control," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 28, No. 5, pp. 123~180.
- (14) Lee, S., Aki, M., Ohori, M., Nakano, K., Yamabe, S., Suda, Y., Ishizaka, H. and Suzuki, Y., 2012, "Estimation of Weight and Center of Gravity of a Truck for Automatic Platooning Control," *JSAE Annual Congress (spring)*, No. 19-12, pp. 21~24.
- (15) Lee, S., Ohori, M., Nakano, K., Aki, M. and Suda, Y., 2012, "Identification of Yaw Moment and Estimation of State Variables of a Travelling Vehicle," *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C*, Vol. 79, Issue 806, pp. 3347~3357.
- (16) Katzourakis, D. I., Velenis, E., Abbink, D., Happee, R. and Holweg, E., 2012, "Race-Car Instrumentation for Driving Behavior Studies," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 61, No. 2, pp. 462~474.
- (17) Kaneko, T., Kuriyagawa, Y., Momiyama, F. and Kageyama, I., 2011, "Development of an Algorithm for the Real-time Trajectory Generation of a Control Target in a Driver Model and Vehicle Dynamics for an Autonomous Vehicle," *JSAE Annual Congress (spring)*, No. 72-11, pp. 7~12.
- (18) Abe, M., 2009, "Vehicle Handling Dynamics: Theory and Application," Butterworth-Heinemann.
- (19) Adachi, S., 2012, "Fundamentals of Kalman Filter," Tokyo Denki University Press.
- (20) Kalman, R., 1960, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *Journal of basic Engineering*, Vol. 82, No. 1, pp. 35~45.
- (21) Venhovens, P. and Naab, K., 1999, "Vehicle Dynamics Estimation using Kalman Filters," *Vehicle System Dynamics*, Vol. 32, No. 2-3, pp. 171~184.
- (22) Cheng, C. and Cebon, D., 2011, "Parameter and State Estimation for Articulated Heavy Vehicles, Vehicle System Dynamics," Vol. 49, No. 1-2, pp. 399~418.