

실차 데이터 기반 차량 파라미터 추정을 위한 기법 연구

홍태욱*(국민대 자동차전문대학원), 박기홍(국민대), 허승진(국민대)

박인혜, 이강원, 조영진(국민대 자동차전문대학원)

Research for parameter estimation method by basis of Real vehicle data

T. W. Hong(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU), K. Park(School of Mech., & Auto. Eng., KMU),

S. J. Heo(School of M&A. Eng., KMU), L. H. Park(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU),

K. W. Lee(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU), Y. J. Cho(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU)

ABSTRACT

This paper formulates the parameter estimation of cornering behavior of a vehicle. Especially some vehicle parameter is very important on stability control of chassis by ECU, but some parameter is so hard to get by sensor which parameter is included the nonlinear characteristic of tire cornering force. So we need to deduce that parameter from used signal and numerical method. In this study, we propose a estimation method and present the simulation by parameter estimation technique.

Key Words : Vehicle Parameter Estimation(차량 파라미터 추정)

1. 서론

최근 자동차 산업의 급속한 발전과 운전자의 요구에 따라 현재의 차량보다 안전한 고성능 차량에 대한 요구가 높아지고 있다. 반면 자동차업체 사이의 경쟁은 더욱 치열해 지면서, 신차의 개발기간은 갈수록 단축되고 있다. 이에 따라 샤시제어시스템의 경우 설계부터 검증에 이르는 기준의 많은 절차를 시뮬레이션이나 HILS로 대체하지 않으면 안 되게 되었다. 시뮬레이션과 HILS 기법에 있어서 신뢰성 있는 차량모델 파라미터를 얻는 것은 매우 중요한 일이며, 동시에 쉽지 않은 일이기도 하다.

현재 실제 차량의 파라미터는 직접적으로 측정하는 것이 가능한 물리량이 있는 반면, 센서를 이용한 측정이 어렵거나 비경제적인 이유로 직접적인 측정이 불가능한 경우 제한된 센서 출력과 차량의 동력학을 이용한 추정만이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 실제 차량의 실험을 통해 직접적으로 측정이 불가능한 파라미터 중에서, 차량의 운동 중에 횡력학 모델에 의한 해석에 있어서 차량에 차축의 선회강성계수는 조향에 의해 차량을 선회 할 경우, 차량의 운동 역학적 특성 및 안정성에 있어서 매우 중요한 파라미터인 차축의 선회강성계

수를 구하고자 한다.

이를 위해 차량의 실차 시험데이터로부터 차량의 파라미터를 찾기 위한 기법을 제시하고, 가장 간단한 저자유도 차량모델인 선형 2자유도 모델을 적용하여 실차 실험결과와 비교를 통하여 신뢰성을 검증하고자 한다. 현재 여건상 실차 실험을 할 수 없으므로 실차 실험은 MSC사의 27자유도의 Carsim모델을 사용하였다. Carsim은 고자유도의 전차량 모델로 실제 차량과 거의 유사한 차량거동특성을 보인다고 할 수 있다.

2. 차량모델을 위한 파라미터

2.1 선형 2자유도모델

선형 2자유도 모델(자전거 모델)은 4륜의 차량을 좌.우륜을 하나의 등가적인 차량으로 보고 전.후륜의 2륜의 차량으로 취급하는 것이다. 선형 2자유도 모델의 특징은 상 질량과 하 질량을 하나로 취급하여 운동방정식을 유도한 것으로서, 차량의 종 방향에 대한 자유도가 없기 때문에 속도가 일정한 차량운동만 모사할 수 있다.

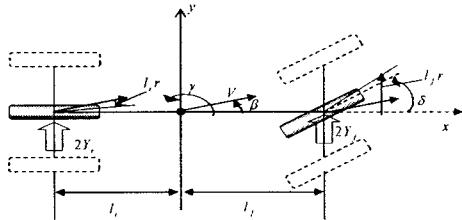


Fig. 1 Linear 2-degree of freedom vehicle model

Fig.1 은 선형 2자유도 모델로, 차량의 횡방향의 운동과 요 운동에 대한 운동방정식이 식(1)~(3)과 같이 표현된다.

$$\text{Lateral motion} \quad mV(\dot{\beta} + \gamma) = 2Y_f + 2Y_r \quad (1)$$

$$\text{Yaw motion} \quad \dot{F}_y = 2l_f Y_f - 2l_r Y_r \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Tire models} \quad Y_f &= -K_f(\beta + l_f\gamma/V - \delta) \\ Y_r &= -K_r(\beta - l_r\gamma/V) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 시뮬레이션을 위한 파라미터

파라미터 추정을 위해 선형 2자유도 모델의 시뮬레이션을 통해 실차 결과와 비교하여 그 신뢰성을 검증하기 위해, 시뮬레이션에 필요한 파라미터들을 정리하면 Table 1 과 같다.

Table 1 The demand vehicle parameter for a simulation

Symbol & unit	Definition	Measurement
$\delta [rad]$	front wheel steer angle	○
$v [m/s]$	vehicle velocity	○
$l_f [m]$	distance from front axle to CG	○
$l_r [m]$	distance from rear axle to CG	○
$l [m]$	wheelbase	○
$m [kg]$	vehicle mass	○
$m_s [kg]$	sprung mass	○
$I [kgm^2]$	yaw moment of inertia	○
$k_f [N/rad]$	cornering stiffness per front one tire	○
$k_r [N/rad]$	cornering stiffness per rear one tire	○

앞서 이야기 한 바와 같이 차량의 차축 선회강성 계수 k_f, k_r 은 실제 차량의 센서에서 직접적으로 측정할 수 없는 파라미터이다. 만일 조향 및 현가 시스템의 탄성특성이 고려되지 않은 경우에는 차량의 바퀴 옆미끄럼각 α 만이 고려되어 진다면 횡력에 대한

차축의 선회강성계수 k_f, k_r 은 간단히 식(4)와 같이 타이어의 횡력에 대한 선회강성계수 C_f, C_r 에 의해 구해진다. C_f, C_r 는 차축의 선회강성계수 k_f, k_r 에 2 배된 값으로 타이어 좌우륜을 합친 2개의 타이어에 대한 선회강성계수이다.

$$\text{cornering stiffness} \quad C_f = \frac{F_{yf}}{\alpha_f}, \quad C_r = \frac{F_{yr}}{\alpha_r} \quad (4)$$

$$(C_f = 2k_f, C_r = 2k_r)$$

하지만 실제 차량 테이터에서는 조향 및 현가 시스템의 특성을 배제 할 수 없으므로, 차량의 고유 조향 특성 및 과도상태 주행 해석을 통해 선회강성계수를 구한다.

3. 파라미터 추정방법

3.1 차량의 고유조향 특성

차량의 정상상태 커브주행시, 즉 일정한 속도 v 로 반지름 R 의 커브를 주행하는 경우 차체 미끄럼각 β 역시 일정한 값을 갖게 된다. 따라서 정상상태에서의 각도 및 속도에 관한 값들을 전륜조향시스템으로 가정하여 전·후륜의 미끄럼각 차이 $\Delta\alpha$ 를 구하면 다음 식(5)~(6)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \frac{m}{l} \left(\frac{l_r}{2k_f} - \frac{l_f}{2k_r} \right) a_y \\ &= \left(\frac{m_f}{2k_f} - \frac{m_r}{2k_r} \right) a_y \\ &= K_{us} a_y \end{aligned} \quad (5)$$

$$K_{us} = \left(\frac{m_f}{2k_f} - \frac{m_r}{2k_r} \right) \quad (6)$$

여기서 식(6)에서 K_{us} 가 차량의 고유 조향 특성인 Understeer gradient 이다. K_{us} 는 전·후륜의 선회강성계수로 구성되지만, K_{us} 만을 이용하여 k_f, k_r 값을 구할 수는 없다. 선회강성계수를 구하기 위해선 과도상태 주행해석을 통해 차량의 동적 조향특성 중에서 계단함수형 조향입력의 전달 함수를 이용한다.

3.2 과도상태 주행해석

차량이 일정한 속도 v 로 직진 주행하다가 반지름 R 인 커브주행으로 궤도를 변경하는 경우 일정 반지름의 원형주행상태, 즉 정상상태에 도달될 때까지 차량은 이른바 과도상태의 주행특성을 갖게 된다. 본 논문에서는 과도상태의 주행특성을 이용하여 차량의 코너링 선회강성계수 k_f, k_r 을 추정해 낸다.

3.3 계단함수형 조향 입력의 전달함수

직진 주행 차량에 갑작스럽게 계단함수의 조향입력이 가해질 때 일정한 원형주행궤도에 진입하게 된다. 이러한 과정상태에서의 차량의 응답특성을 시간영역(Time domain)에서 선형 2자유도 모델에 대하여 라플라스 변환에 의해 차량의 요레이트를 전달함수로 구하면 식(7)과 같다.

$$\frac{\dot{\psi}}{\delta}(s) = \left(\frac{\dot{\psi}}{\delta}\right)_{s,s} \frac{1 + T_z s}{1 + \frac{2\zeta}{w_n} s + \frac{1}{w_n^2} s^2} \quad (7)$$

여기서 정상상태에서의 요증폭률은 식(8)과 같다.

$$\left(\frac{\dot{\psi}}{\delta}\right)_{s,s} = \frac{v}{l + K_{us} v} \quad (8)$$

시간 상수에 대한 수식은 식(9)와 같다.

$$T_z = \frac{mv l_f}{2k_r l_r} \quad (9)$$

감쇠 고유진동수 식은 식(10)과 같다.

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (10)$$

위와 같이 계단함수형 조향 입력에 대한 전달함수와 관계식들을 구할 수 있다.

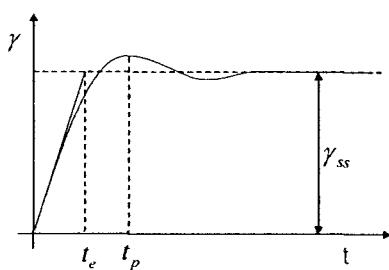


Fig. 2 Characteristic response of yaw rate

Fig. 2는 차량의 조향 응답특성을 나타낸다. 차량의 요속도의 시간에 대한 그래프로, 차량의 요속도 응답곡선을 시간 함수로 표시하기 위해서는 전달함수를 다음과 같이 역 라플라스 변환을 시킴으로써 식(11)~(12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \left(\frac{\dot{\psi}}{\delta}\right)_{s,s} \delta_0 [1 + A \cdot B]$$

$$A = \frac{T_z}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sqrt{(1/T_z - \zeta w_n)^2 + (1 - \zeta^2) w_n^2}$$

$$B = e^{-\zeta w_n t} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} w_n t + \Psi_r) \quad (11)$$

$$\Psi_r = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \zeta^2} w_n}{1/T_z - \zeta w_n} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{-\zeta} \right) \quad \text{단, } \zeta > 0$$

(12)

Fig. 2에서 t_e 는 $t = 0$ 초 일 때, 요각속도 응답의 기울기로써 정상상태에 이르는 시간을 말한다. 또한 t_p 는 진동적인 응답의 첫 번째 응답 시간을 뜻한다. 이를 식으로 나타내면 식(13)~(14)와 같다.

$$t_e = \frac{1}{w_n^2 T_z} \quad (13)$$

$$t_p = \frac{1}{w_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \zeta^2} w_n T_z}{-1 + \zeta w_n T_z} \right) \quad (14)$$

요각속도 응답곡선을 통해 도출된 위 식들을 이용해 차량의 차축 선회강성계수 k_f , k_r 를 구할 수 있게 된다.

3.2 Carsim 모델

Carsim은 고자유도의 전차량 모델로 실제 차량과 거의 유사한 차량거동을 보인다. 따라서 실차 실험데이터는 예전상 실차 실험을 할 수 없으므로, MSC사의 27자유도의 Carsim모델을 사용하였다. Carsim 차량 모델은 Big sedan 차량이다.

K_{us} 는 일정한 속도 60km/h에서 110km/h의 속도로 반지름 100m인 커브를 주행시켜 구했다. Table 2은 K_{us} 값을 구하기 위해, 정상 원 선회 실험을 통해 얻은 횡가속도와 조향 각에 대한 데이터이다. K_{us} 는 횡가속도 대 조향 각의 그래프의 기울기이다. Fig. 3는 횡가속도 대 조향 각을 나타내는 그래프이다.

Table 2 Lateral acceleration and steering angle data

Steering angle [deg]	Wheel steer angle [deg]	Lateral acceleration [m/s ²]
60	47	0.282
70	51.364	0.386
80	60.877	0.404
90	72.135	0.677
100	94.071	0.787

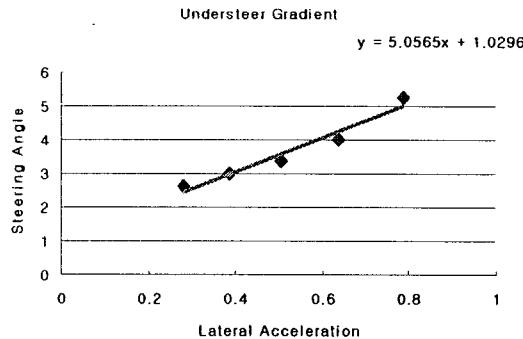


Fig. 3 The understeer gradient

4. 결론

본 연구는 차량의 실차 시험데이터로부터 차량의 파라미터를 찾기 위한 기법을 제시하고, 가장 간단한 저자유도 차량모델인 선형 2자유도 모델을 적용하여 실차 실험결과와 비교를 통하여 신뢰성을 검증하고자 하였다.

Table 2는 실차를 대신한 Carsim 차량 모델을 이용해 차량의 과도상태 주행해석을 통해 얻어진 차량의 선회강성계수이다. 검증을 위해 앞서 구해진 실차 테이터를 대신한 Carsim 차량 모델에서 직접적으로 얻어진 파라미터들과 Table 2에 구해진 선회강성 계수의 신뢰성 검증을 위해 선형 2자유도 모델에 적용하여 Carsim 모델과 차량거동 특성을 비교하여 검증하였다.

Fig. 4는 100kph 스템 조향을 기준으로 Wheel steer angle이 40deg 일때 선형 2자유도 모델과 Carsim 차량의 거동특성을 보여준다.

Table 2 The carsim parameter for a simulation

Symbol & unit	Definition	Value
$k_f [N/rad]$	cornering stiffness per front one tire	34186
$k_r [N/rad]$	cornering stiffness per rear one tire	48334

Fig. 4에서 나타나듯이 실제차량에서 직접적으로 얻을 수 있는 파라미터 이 외에, 과도상태 주행 해석을 통해 얻어진 차량의 파라미터 선회강성계수에 대해 선형 2자유도 결과와 실차를 대신한 Carsim 모델의 차량거동 특성의 경향이 거의 유사함을 알 수 있다. 선형 2자유도 모델은 조향 및 현가 시스템의 탄성특성 및 실차의 비선형적 요소들을 모두 포함되어

고려된 차량이 아니기 때문에 실차를 대신한 Carsim 모델과는 일정한 차이가 있는 것을 볼 수 있다.

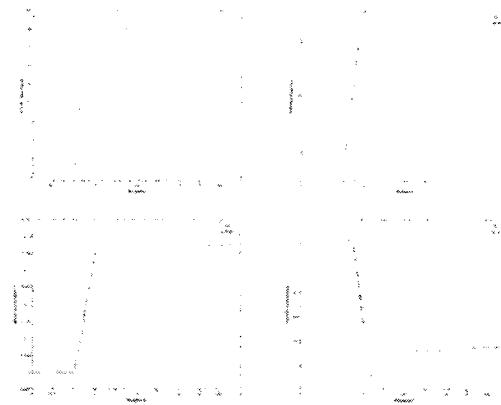


Fig. 4 Evaluating dynamic models using experiment vehicle velocity 100km/h, wheel steer input 40deg

본 연구를 통해 차량의 파라미터 도출을 위해 차량의 고유조향 특성과 과도상태 주행 해석방법을 제시하였으며, 이를 저자유도 모델을 통해 실차의 거동특성 비교를 통해 실차 데이터를 기반 차량의 차축 선회강성계수를 추정 할 수 있었다.

참고문헌

- Shuichi Takano, Masahiro Suzuki, Masao Nagai, Tetsuo Taniguchi and Tadashi Hatano, Analysis OF Large Vehicle Dynamics for Improving Roll Stability? Vehicle System Dynamics Supplement 41, p. 73-82, 2004
- 차량 모델의 복잡성이 차량 동역학 해석에 미치는 영향 : 모델의 비교 검증? 배상우, 윤중락, 이장무, 탁태오, 한국자동차공학회논문집 제8권 6호, (SAE 2000, p267-278)
- "차량의 안정성 제어 시스템의 안정성 판단 기준", 꽈병학, 이신애, 한국자동차공학회논문집 (SAE 2003.1061~1066)
- Vehicle dynamics and control, 安靜直行。著
- Fundamentals of vehicle dynamics, Thomas D. Gillseppe
- 차량 동역학, 박보용, 허승진 공저