

장애물 회피상황에서 모형차의 조향 서보모터 제어입력 설계

윤 병 길 · 민 승 재*

한양대학교 미래자동차공학과

Control Design of Steering Servo Motor in Model Car for Obstacle Avoidance

Byunggul Yun · Seungjae Min*

Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 133-791, Korea

Abstract : In the obstacle avoidance, the steering control of the model car has been tuned through trial and error. In order to solve the above problem, an analysis model for the vehicle steering that reflects the specifications of real model car is developed. The validity of the analytical model was verified through comparison with experimental results. After generating the ideal driving path in the obstacle avoidance situation, the control input that follows the target path can be derived while changing the servo motor control amount and control timing of the analytical model. Then apply the designed control input to the actual model car.

Key words : Obstacle avoidance(장애물 회피), Model car(모형차), Model-based simulation(모델 기반 시뮬레이션), Servo motor(서보모터), Control design(제어 설계)

1. 서론

미래 자율주행 기술이 집약된 지능형 모형차 개발에서 장애물 회피기능은 필수적이다. 현재 장애물회피 기능은 2차선 도로에서 주행로 장애물과의 거리를 인지하고 차선을 변경하여 회피하는 알고리즘을 통해 구현된다.¹⁾ 그러나 조향 서보모터의 반응속도 한계와 제어 불연속성으로 제어 입력값을 시행착오를 통해 조정하고 있다. 이를 개선하기 위해 본 논문은 모델 기반 시뮬레이션을 통해 차량 거동을 분석하고 주행경로를 예측하여 장애물회피 알고리즘 설계에 반영하는 해석 모델 개발 방법을 제안한다.²⁾ 위와 같이 모델 기반 시뮬레이션을 활용한다면 디버깅 노력을 최소화하며 알고리즘 설계를 검증할 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모형차 제원을 반영한 차량 조향 해석 모델에 대해 다루고, 3장에서는 장애물 회피 목표경로를 추종하는 조향서보모터 제어 프로파일을 도출하고 실제 모

형차에 적용한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 모형차 조향해석 모델

모형차를 제원을 고려한 3차원 해석 모델을 사용함으로써 차체의 전후좌우로 작용하는 중력의 영향과 타이어 슬립을 고려하였다. 또한 조향해석 효율성을 위해 차량을 5개의 질량을 갖는 강체로 가정하고 상호작용을 스프링과 댐퍼로 한정하여³⁾ 단순화된 조향해석 모델을 구성하였다.

2.1 모형차 제원 반영한 모델링

실제 모형차는 조향 서보모터와 조향 링크가 서보혼으로 연결되어 서보모터 회전각에 따라 좌/우 바퀴의 조향각 달라지며 구동력은 DC모터로 얻는 구조이다. 따라서 해석 모델 제어 입력은 좌/우 휠 조향각과 차량 직진속도로 결정하였다. Photo. 1은 실제 모형차의 조향 링크구조를 보여준다.

*초록색 글씨 부분은 그대로 두시면 됩니다.



Photo. 1 Steering structure of model car

2.1.1 해석 모델 선정

3차원 해석모델을 만들기 위해 상용 해석 소프트웨어인 Maplesim⁴⁾을 이용하여 4륜 독립 현가 장치 차량 모델을 구성하였다. 차량제원과 제어입력값을 바탕으로 해석한 결과값은 소프트웨어 내부 센서를 사용하여 차량의 변위와 yaw_angle, roll_angle 등을 확인 할 수 있었다. Fig. 1은 개발한 해석모델이고 Fig.2는 해석모델 내부 구성이다.

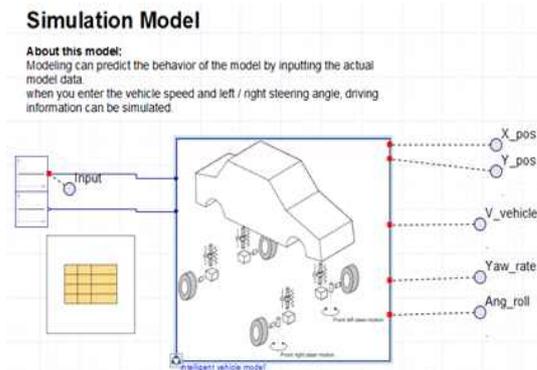


Fig. 1 Simulation model of vehicle

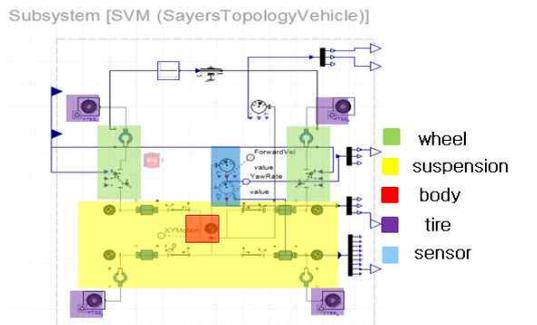


Fig. 2 Subsystem of analysis model

2.1.2 설계 변수 입력

설계변수는 실제 모형차 제원을 측정함으로써 구할 수 있었다. Fig. 3은 측정된 차량 제원이다. 실측이 어려운 코일스프링 강성은 서스펜션 제원을 바탕으로 식(1)과 같이 구하였다.

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} \quad (1)$$

여기서 k는 코일스프링 강성, d는 스프링 와이어의 지름, G는 전단탄성계수, D는 코일스프링의 평균 직경, N은 코일 개수이다.

변수명	상대변수	Value	단위	component	value	unit
Input Signal	V_in	0.6	m/s			
	req_right Wheel	0.4528	radian			
	req_left Wheel	0.9278	radian	d	0.001	m
Body	w	0.215	m	D	0.18	m
	L	0.29	m	N	6	
	L.CG	0.19	m	G	80	Gpa
	H.CG	0.085	m	k	285.799	N/m
suspension	Weight	15	kg			
	K_susp	296	N/m			
tire	C_susp	10	Ns/m			
	R_wire	0.09	m			
	W_wire	0.0275	m			

Fig. 3 Parameter in model car

2.2 해석모델 타당성 검증

동일한 휠 조향각과 차량 직진속도를 입력하였을 때 해석모델의 시뮬레이션 값과 실제 모형차 실험값의 회전반경을 비교하여 해석모델의 타당성을 검증하였다.

2.2.1 모형차 선회 시험

주행속도를 0.6m/s로 한정하고 실제 모형차의 조향 서보모터의 Duty를 6단계로 바꿔가면서 휠 양쪽의 조향각과 회전반경을 5회이상의 실험으로 측정하였다. Fig. 4는 측정 결과이다.

서보모터 Duty(%)	휠 조향각(degree)		회전반경 (m)
	좌륜 선회각	우륜 선회각	
5.68	-20.5	-26.2	0.695
6.4	-14.8	-17.2	1.07
6.88	-9.5	-10.4	1.735
8.48	11.3	10.1	1.565
8.96	17.3	14.9	1.05
9.68	24.8	19.6	0.82

Fig. 4 Result of wheel angels measurement

2.2.2 회전반경 결과 비교

해석모델에 실제 모형차 실험과 같은 휠 조향각을 입력하고 결과값으로 나온 회전반경을 구하였다. Fig. 5의 회전반경 비교 결과를 보면 실험과 시뮬레이션 사이 회전반경 오차는 3.5%~9.3%로 나타났고 해석 모델의 타당성을 확인하였다.

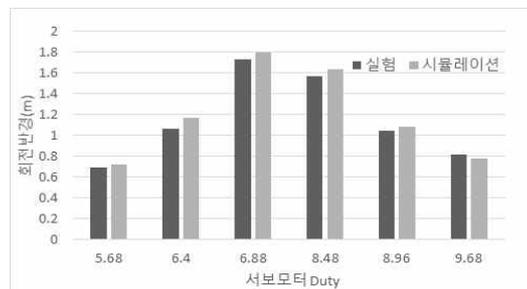


Fig. 5 Comparison result of turning radius

3. 장애물 회피 실험

주행트랙정보를 활용하여 장애물회피상황에서 이상적인 주행경로를 생성하였다. 이후 해석모델의 서보모터 제어 프로파일을 변화시키면서 목표 주행경로를 추종하는 제어입력 값을 도출할 수 있었다.

3.1 장애물 회피상황 주행경로 생성

장애물과 차량 무게중심 사이 거리가 1m로 감지될 때 회피 알고리즘을 시작하며 주행차선에서 추월차선으로 회피 후 장애물 통과 시 Fig. 6과 같이 차량 무게중심이 추월차선 중앙에 위치하며 차선과 평행하다고 가정하였다.

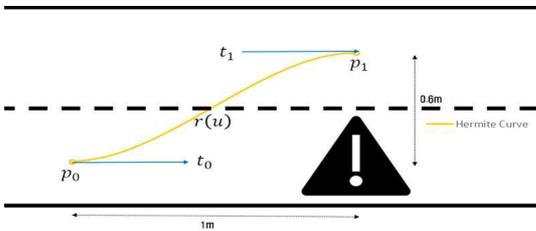


Fig. 6 Driving conditions of obstacle avoidance

회피경로는 곡선 양단에서의 끝점(p_0, p_1)과 접선벡터(t_0, t_1)를 hermite 곡선에 대입하여 아래와 같이 다항식으로 구할 수 있었다. (2)과 (3)는 hermite 다항식이며 (4)은 주행상황을 대입한 결과값이다.

$$r(u) = a_0 + a_1u + a_2u^2 + a_3u^3 \quad (0 \leq u \leq 1) \quad (2)$$

$$r'(u) = a_1 + 2a_2u + 3a_3u^2 \quad (0 \leq u \leq 1) \quad (3)$$

$$y = 1.8x^2 - 1.2x^3 \quad (0 \leq x \leq 1) \quad (4)$$

여기서 u 는 x 축 변위, $r(u)$ 는 y 축 변위, $r'(u)$ 는 곡선의 기울기를 의미한다.

3.2 서보모터 제어입력 설계

해석모델 제어입력은 Fig. 7과 같다. 이때 서보모터의 반응속도($60^\circ/0.16\text{sec}$)를 구현하기 위해 Maplesim first order 함수를 사용하여 회전각이 변할 때 발생하는 시간지연을 생성하였다. 이후 제어입력의 선회량과 선회시기를 변화시키면서 시뮬레이션 결과값을 확인하여 target주행경로를 추종하는 프로파일을 도출할 수 있었다.

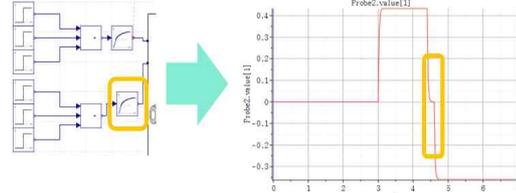


Fig. 7 Control input with first order function

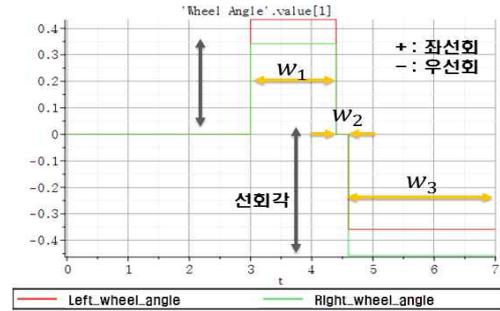


Fig. 8 Steering angle input in simulation model

Fig. 8과 같이 제어량(선회각)과 제어시기(w_i)를 변화시키면서 target 주행경로를 추종하는 제어 프로파일을 만들 수 있었다. Fig. 9는 선정한 제어입력 프로파일과 그때의 시뮬레이션과 target주행경로를 비교한 결과이며 이를 통해 목표 주행경로를 적절히 추종하는 것을 확인할 수 있다.

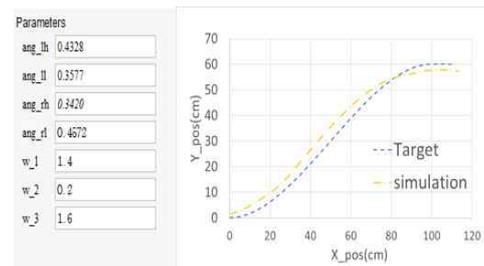


Fig. 9 Input parameter values and comparison result of driving path

3.3 모형차 장애물 회피실험

선정한 제어입력을 토대로 실제 모형차의 조향 서보모터 Duty값을 대입하여 장애물회피경로를 확인하였다. Photo. 2는 모형차 실험 사진이다.

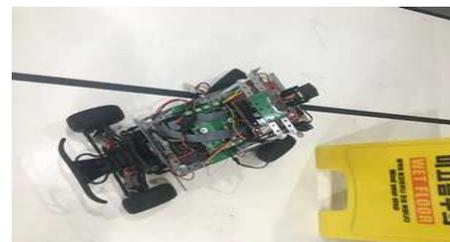


Photo. 2 Obstacle avoidance test

*초록색 글씨 부분은 그대로 두시면 됩니다.

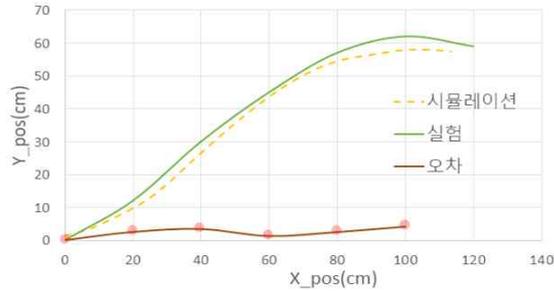


Fig. 10 Comparison result between simulation and test

이후 장애물과 수평거리 20cm 마다 선회한 y 축의 변위를 측정하고 이를 바탕으로 시뮬레이션 주행경로와의 차이를 Fig. 10과 같이 비교하였다. Table. 1은 x축 구간에서 y축 변위의 실험값과 시뮬레이션값의 오차를 보여준다.

Table. 1 Error of test and simulation

구간(cm)	20	40	60	80	100	평균
오차(cm)	2.5	3.1	1.2	2.5	4.1	2.7

4. 결론

- 1) 모형차 제원을 반영한 3차원 해석 모델을 개발하고 주행경로 및 차량거동을 분석하였다.
- 2) 해석모델과 실제 모형차에 동일한 휠 조향각을 주었을 때 회전반경의 차이가 평균 4.6%로 나타났으며 이를 통해 해석모델 타당성을 확인하였다.
- 3) 가정한 장애물회피상황에서 이상적인 주행경로를 수식화하고 해석모델의 조향 서보모터 제어입력을 변화시키면서 목표 주행경로를 추종하는 제어 프로파일을 생성하였다.
- 4) 실제 모형차에 생성한 서보모터 제어 프로파일을 입력하여 장애물회피상황에서 안정적인 주행경로를 구현하였다.
- 5) 모델 기반 시뮬레이션을 활용하여 자동차의 거동을 분석하는 과정은 개발시간을 단축하고 개발신뢰성을 향상시킬 수 있다는 점에서 앞으로도 많은 활용이 예상되는 분야이다. 본 논문과 같은 해석모델은 롤오버, 빗속 주행 등 실제 실험이 어려운 곳에 높은 활용도를 보일 것으로 예상된다.

후 기

본 연구를 수행하면서 학부에서 학습한 CAE분야에 대해서 되돌아 볼 수 있었고 나아가 동적해석 분야에 흥미를 갖게 되었습니다. 또한 모형차에 한정되었지만 실제 제원을 측정하면서 개발단계에 해석 시뮬레이션을 활용할 수 있었던 값진 경험이었습니다. 졸업 논문이라는 대학 생활에서 의미있는 프로젝트를 할 수 있는 기회를 주신 민승재 교수님께 감사의 말씀을 전합니다.

References

- 1) T. W. Hong, "A Study on Control Strategy of Steer Avoidance for Improving Performance to Emergency Steer Assist System," Ph. D. Dissertation, Kookmin University, Seoul, 2014.
- 2) K. D. Min and Y. C. Kim, "Three - Dimensional Dynamic Model of Full Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.63, No.1, pp.162-172, 2014.
- 3) R. S. Sharp and J. R. Goodall, "A Mathematical Model for the Simulation of Vehicle Motions," Journal of Engineering Mathematics, Vol. 3, No. 3, July 1969.
- 4) <http://www.maplesoft.com>
- 5) Y. S. Park, "Efficient Obstacle Avoidance Algorithm for B-spline Path Smoothing of Mobile Robots," Master. Dissertation, Inha University, Incheon, 2017.