

# 노면의 마찰을 고려한 자율주행차량의 조향시스템을 위한 적응 제어 방법

## Adaptive Control Method Considering Road Friction for Autonomous Ground Vehicle's Steering System

\*최문석<sup>1</sup>, #박장현<sup>2</sup>

\*M. S. Choi<sup>1</sup>, #J. H. Park(jpark@hanyang.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 지능형로봇학과, <sup>2</sup>한양대학교 미래자동차공학과

Key words : Road Friction, Electric Power Steering, Steering Control

### 1. 서 론

자율주행차량의 제어시스템은 횡방향 제어장치와 종방향 제어장치로 분류할 수 있으며 차량의 안정적인 제어를 위해서는 노면의 상태를 알 수 있어야 한다. 현재까지 노면 마찰계수를 추정하기 위한 많은 연구가 수행되어왔다. Slip-Slope 추정방법을 이용한 노면 상태 판단방법, 타이어 모델을 이용한 판단방법, 타이어 힘 추정방법을 이용한 확률론적 판단방법, 노면 인식이 가능한 센서 기반의 방법 등이 있다. 그러나 이러한 방법들을 사용하기 위해서는 구동력이나 수직력 등의 동적 특성을 실시간으로 정확하게 계산 할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 자율주행차량의 안정적인 조향 제어시스템을 위해 동적 특성의 계산 없이도 차량에 장착되어 있는 전기식 동력조향(EPS : Electric Power Steering)시스템의 보조토크와 조향 휠(Steering Wheel)의 각속도 정보를 이용하여 노면 마찰의 변화에 따라 적응이 가능한 제어 방법에 관한 연구를 수행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 이론적 배경

R. S. Sharp의 연구 결과에 의하면 조향 토크와 노면 마찰계수는 식 (1)과 같은 관계가 있고, 랙은 변위에 따라 부하가 변하게 된다[1].

$$T = \int_0^{2\pi} \int_0^R \mu p r^2 dr d\varphi \quad (1)$$

$T$  : steering torque

$R$  : radius of tire of ground contact patch

$\mu$  : coefficient of friction between tire and road

$p$  : tire inflation pressure

$r$  : radius for area element in contact patch

$\varphi$  : angle for area element in contact patch

차량이 정지 상태에서 타이어와 노면과의 접촉 면적과 압력의 변화가 거의 없다고 가정하면, 식 (2)와 같이 각속도는 조향 토크에 비례하고 마찰계수에 반비례한다는 것을 알 수 있다.

$$\dot{\varphi} \propto T, \dot{\varphi} \propto 1/\mu \quad (2)$$

#### 2.2 접근 방법

Epoxy Road와 Asphalt Road에서 각각 정지 상태에서 조향 토크의 변화를 주면서 동일한 랙의 변위 구간에서의 각속도를 측정하였다.

측정한 데이터를 다항식 회귀(Polynomial Regression Analysis)방법을 이용하여 2차 함수로 Curve-Fitting하였다. 그 결과 Fig. 1에서와 같이 동일한 토크를 가했을 경우 Epoxy Road에서 최대 25%까지 빠른 각속도가 발생하였다.

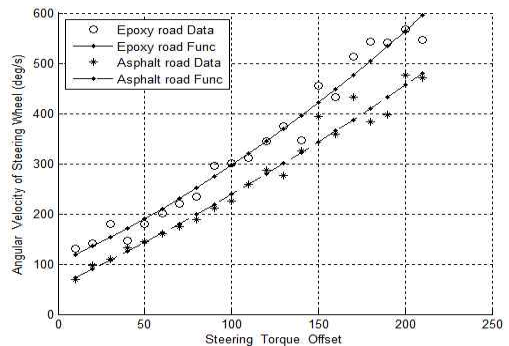


Fig. 1 Relationship between Torque and Angular Velocity Curve-Fitting하여 구한 2차 함수를 이용하여 필요한 각속도를 출력하기 위한 토크를 계산하였다. Fig. 2의 Torque Calculator에 해당한다.

동작 중 노면의 변화에 적응할 수 있도록

Curve-Fitting을 실시간으로 하기위해 식 (3)과 같이 누적된 계수행렬  $A$ 와 정수벡터  $b$ 에 가중치를 곱하고 현재 상태의 값을 반영하여 함수를 업데이트 하였으며, Over-Fitting을 방지하기 위해 Rule을 만들어서 몇 가지 조건을 충족할 때만 업데이트에 반영하였다. Fig. 2의 Calculator Update에 해당한다.

$$\sum_{i=1}^{n-1} A_i = \begin{bmatrix} n-1 & \sum_{i=1}^{n-1} T_i & \sum_{i=1}^{n-1} T_i^2 \\ \sum_{i=1}^{n-1} T_i & \sum_{i=1}^{n-1} T_i^2 & \sum_{i=1}^{n-1} T_i^3 \\ \sum_{i=1}^{n-1} T_i^2 & \sum_{i=1}^{n-1} T_i^3 & \sum_{i=1}^{n-1} T_i^4 \end{bmatrix}, \quad \sum_{i=1}^{n-1} b_i = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n-1} \phi_i \\ \sum_{i=1}^{n-1} T_i \phi_i \\ \sum_{i=1}^{n-1} T_i^2 \phi_i \end{bmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^n A_i = \sum_{i=1}^{n-1} A_i \times weight + \begin{bmatrix} 1 & T_n & T_n^2 \\ T_n & T_n^2 & T_n^3 \\ T_n^2 & T_n^3 & T_n^4 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^n b_i = \sum_{i=1}^{n-1} b_i \times weight + \begin{bmatrix} \phi_n \\ T_n \phi_n \\ T_n^2 \phi_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.3 제어 방법

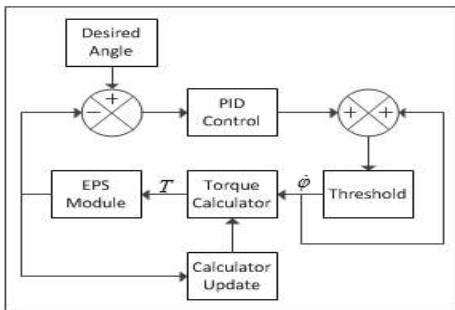


Fig. 2 Control Logic

전체적인 제어 구조는 Fig. 2와 같다.

제어기는 PID 제어를 사용하였으며, 식 (4)와 같이 속도 제어형태로 설계하였다.

$$u_{n-1} = K_p e_{n-1} + K_I \sum_{i=0}^{n-1} e_i + K_D (e_{n-1} - e_{n-2}) + u_0 \quad (4)$$

$$u_n = u_{n-1} + K_p (e_n - e_{n-1}) + K_I e_n + K_D (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})$$

PID 제어기에서 목표로 하는 조향 휠의 각속도가 출력되어 Threshold를 거쳐서 2차 함수의 역함수를 이용하여 필요로 하는 조향 토크를 계산하게 되고 EPS Module에 전압 형태로 전달된다. EPS Module에서는 조향 휠의 각도와 각속도가 출력되어 제어기로 Feedback된다.

### 3. 실험

적응력을 확인하기 위해 Epoxy Road와 Asphalt Road에서 구한 함수를 각각 반대의 노면에서 초기 값으로 설정하고, 50deg/s의 속도로 100°에서 -100°를 10초마다 반복하여 실험하였다. 그 결과 Fig. 3과 같이 초반에는 Overshoot으로 인해 불안정 하였으나 시간이 지날수록 점차 안정화 되었다.

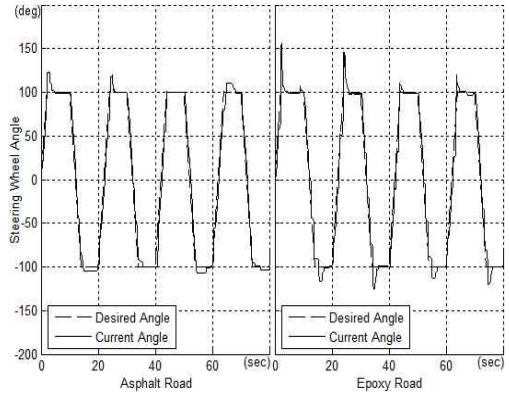


Fig. 3 Result

### 4. 결론

본 논문에서는 정지 상태의 차량에서 조향 토크와 조향 휠의 각속도 정보를 이용하여 노면의 마찰에 실시간으로 적응이 가능한 방법을 제시하였다. 적응 초기에는 과도한 Overshoot이 발생하였지만 시간이 지날수록 안정화되는 결과를 볼 수가 있었다. 추후에는 이를 더 안정화시키기 위한 방법과 차량이 주행 중인 상태에서도 사용이 가능한 방법에 관한 연구가 진행될 것이다.

### 후 기

본 논문은 지식경제부 우수 제조 기술 연구센터(ATC) 사업(과제번호 201000000002171 - 차세대 협업 생산 로봇을 위한 다자유도 Robot ARM 및 응용기술 개발)의 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. R. S. Sharp, R Granger, "On car steering torques at parking speeds", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Feb. 1, 2003, Vol. 217, No. 2, pp. 87-96.
2. Z. Xue-Ping, L. Xin, C. Jie, M. Jin-Lai, "Parametric design and application of steering characteristic curve in control for electric power steering", Mechatronics, 2009, Vol. 19, No. 6, pp. 905-911.