

## 자율 주행 차량을 위한 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘 개발

### Development of Dead Reckoning Algorithm Considering Wheel Slip Ratio for Autonomous Vehicle

권재준\*    유원근\*\*    이훈희\*\*\*    신동령\*\*\*    박경택\*\*\*    박기홍\*\*\*\*  
(Jaewoon Kwon)    (Wongyun Yoo)    (Hoonhee Lee)    (Dong Ryoung Shin)    (Kyungtaek Park)    (Kihong Park)

#### 요약

최근 들어, 차량 제어 기술의 집약체라 할 수 있는 자율 주행 차량에 관한 관심이 증대되고 있다. 특히, 자율 주행 차량의 안정적인 주행과 직결되는 자기 위치 인식 기술에 관한 연구가 꾸준히 진행되어져 왔으며, GPS가 갖는 한계점을 보완하기 위한 다양한 예측항법 기술이 소개되어져왔다. 하지만 기존의 예측항법들은 추가적으로 센서를 장착해야하는 단점과 차량 거동의 급격한 변화로 인하여 자기 위치 인식 정확도가 떨어진다는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 기존의 예측항법의 단점을 보완하기 위하여 대부분의 차량에 장착되어 있는 휠속 센서(Wheel Speed Sensor)를 활용하고, 휠속 센서에서 측정된 값을 토대로 타이어 슬립율(Slip ratio)을 추정하여 차량의 급격한 거동 변화에 대응하기 위한 새로운 개념의 슬립율 기반의 예측항법 알고리즘을 개발하였다. 기존의 예측항법 알고리즘과의 성능을 비교 평가하기 위해서 차량의 거동이 급격하게 변화하는 상황이 포함된 시뮬레이션 환경을 구성하여 그 결과를 비교하였다.

핵심어 : 자율 주행 차량, 예측 항법, 위성항법 시스템, 휠속 센서, 슬립율

#### ABSTRACT

Recently, the interest in autonomous vehicle which is an aggregate of the automotive control technology is increasing. In particular, researches on the self-localization technology that is directly connected with stable driving of autonomous vehicle have been performed. Various dead reckoning technologies which are solutions for resolving the limitation of GPS have been introduced. However, the conventional dead reckoning technologies have two disadvantages to apply on the autonomous vehicle. First one is that the expensive sensors must be equipped additionally. The other one is that the accuracy of self-localization decreases caused by wheel slip when the vehicle's motion changed rapidly. Based on this background, in this paper, the wheel speed sensor which is equipped on most of vehicles was used and the dead reckoning algorithm considering wheel slip ratio was developed for autonomous vehicle. Finally, in order to evaluate the performance of developed algorithm, the various simulation were conducted and the results were compared with the conventional algorithm.

**Key words** : Autonomous vehicle, Dead reckoning, GPS, Wheel speed sensor, Slip ratio

- 
- \* 주저자 : 국민대학교 자동차공학전대학원 박사과정
  - \*\* 공저자 : 국민대학교 자동차공학전대학원 석사과정
  - \*\*\* 공저자 : 국민대학교 자동차공학전대학원 박사과정
  - \*\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 국민대학교 자동차공학과 교수
  - † 논문접수일 : 2013년 12월 30일
  - † 논문심사일 : 2014년 01월 14일
  - † 게재확정일 : 2014년 01월 15일

## I. 서 론

최근 들어 차량 전자 제어 기술의 집약체라 할 수 있는 자율 주행 차량(Autonomous Vehicle)에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 소비자들의 자율 주행 차량에 대한 관심 역시 증대되고 있다[1]. 특히, 미국, 유럽, 일본과 같은 자동차 선진국의 경우에는 2020년을 목표로 자율 주행 차량의 양산화 계획을 잇달아 발표하고 있다[2].

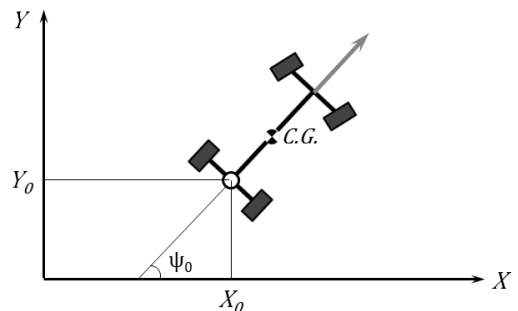
자율 주행 차량이란, 정해진 경로 정보와 현재 차량의 위치 정보를 토대로 가속, 감속, 조향 제어를 함으로써 자율 주행이 가능하도록 차량을 전자 제어하는 최첨단 기술이 접목된 차량으로 정의할 수 있다. 이러한 정의에서 알 수 있듯이 자율 주행 차량을 개발하기 위해서는 센서, 제어기, 액추에이터 등의 다양한 기술의 접목이 필요하다. 특히, 자율 주행 차량의 안정적인 주행과 직결되는 현재 차량의 위치 정보를 정확하게 인식하기 위한 자기위치인식(Self-localization) 기술이 중요하다. 자율 주행 차량의 자기위치인식 기술은 현재 차량의 위도, 경도에 해당하는 좌표 정보와 차량의 진행 방향에 대한 정보를 정확하게 측정 및 추정하는 기술을 의미하며, 위성 항법 시스템(GPS, Global Positioning System)과 관성 측정 장치(IMU, Inertia Measurement Unit) 등의 다중 센서를 사용하는 센서 융합 기술이 접목된다[3]. 이러한 자기위치인식 기술에 대한 연구는 해외의 완성차 업체를 중심으로 1990년도부터 이미 시작되었으며, 최근에는 센서 기술의 발전에 따라 자기위치인식의 정확도를 높이는 방법에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다[4]. 특히, 유럽의 완성차 업체들은 다양한 정보를 포함하고 있는 정밀 지도와 GPS, 차량 내부 센서를 융합한 기술을 제안하고 있다[5, 6]. 하지만 GPS 만을 이용한 자기위치인식 기술의 경우에는 GPS 수신율이 떨어지는 지역이나 수신이 불가능한 지역에서는 위치 정보 오차가 커지기 때문에 자율 주행 차량의 안정적인 주행을 위한 제어 입력 변수로 사용하기에 적합하지 않다. 이러한 GPS가 갖는 한계점을 보완하기 위해서 IMU 센서나 엔코더를 이용하는 다양한 추측항법

(DR, Dead Reckoning) 기술이 개발되고 있지만, 고가의 센서를 추가적으로 장착해야 한다는 단점이 있다. 또한, 이러한 추측항법 기술의 경우에는 차량의 거동이 급격하게 변화하는 상황에서 상대적으로 위치 인식 정확도가 떨어지게 되어 위치 정보 오차가 발생하고, 누적된 위치 정보 오차는 자율 주행 차량의 안정적인 주행을 불가능하게 만드는 원인이 된다[6, 7].

이러한 배경을 바탕으로 본 논문에서는 기존의 추측항법 기술에서 고가의 센서를 추가적으로 장착하던 것과는 달리 대부분의 일반 차량에 장착되어 있는 ABS에 적용된 휠속 센서(Wheel Speed Sensor)를 활용하고, 휠속 센서에서 계측된 값을 토대로 타이어 슬립률(Slip ratio)을 추정하여 차량의 급격한 거동 변화에 대응하기 위한 새로운 개념의 슬립률 기반의 추측항법 알고리즘을 개발하였다. 기존의 추측항법 알고리즘과의 성능을 비교 평가하기 위해서 차량의 거동이 급격하게 변화하는 상황이 포함된 시뮬레이션 환경을 구성하여 그 결과를 비교하였다.

## II. 차량 위치 정의

차량의 위치는 평면 좌표계에 대해 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 1> 차량 좌표계

(Fig. 1) Coordinate system of the vehicle

일반적으로 차량의 위치 정보는 차량의 무게 중심(C.G.)을 기준으로 정의하지만, 본 논문에서는 좌/우 바퀴 회전수의 차이를 이용한 추측항법 알고리즘을 적용시키기 위해서 전륜구동 차량의 피동륜에

해당하는 후륜축 중심을 기준으로 정의하였다. <그림 1>에 나타난 것과 같이 X-Y축은 지구 고정좌표계이며 차량의 초기 위치를  $X_0, Y_0$ 라 하고, 초기 방향각을  $\psi_0$ , 차량 속도 벡터를  $V$ 라 하면,  $t$ 초 일 때 차량의 좌표 정보와 진행 방향에 대한 정보는 아래의 식 (1), (2), (3)과 같이 추정할 수 있다.

$$X(t) = X_0 + \int_{t_0}^t V(\tau) \cos \psi(\tau) d\tau \quad (1)$$

$$Y(t) = Y_0 + \int_{t_0}^t V(\tau) \sin \psi(\tau) d\tau \quad (2)$$

$$\psi(t) = \psi_0 + \int_{t_0}^t \dot{\psi}(\tau) d\tau \quad (3)$$

위의 식에서 볼 수 있듯이, 차량의 위치 정보를 추정하기 위해서는 초기 좌표 정보와 방향각 정보를 기반으로 차량 속도 벡터의 일정 시간 동안의 변위량을 추정해야 한다.

### III. 기존의 엔코더 기반 추측항법

기존의 엔코더 기반 추측항법 기술은 이동 로봇 분야에서 실내 로봇의 위치를 추정하는 방법으로 많이 이용되었으며, 자율 주행 차량의 자기위치인식에 적용되면서 다양한 형태의 추측항법 기술이 소개되고 있다. 엔코더는 <그림 2>에 나타난 것과 같이 전륜구동 차량의 피동륜에 해당하는 후륜 휠 안쪽에 장착이 되며, 발생한 펄스 신호를 휠속으로 변환하여 사용하게 된다.



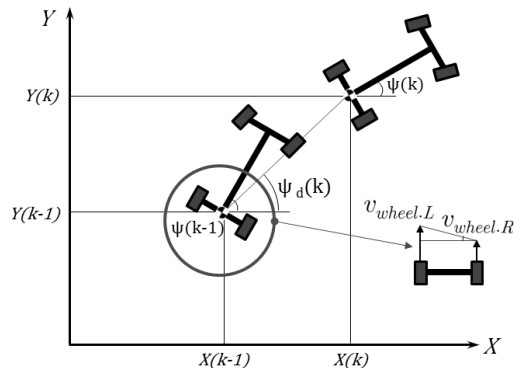
<그림 2> 후륜 휠에 장착된 엔코더  
<Fig. 2> Encoder mounted on the rear wheel

### 1. 엔코더 기반 추측항법 모델

엔코더는 기본적으로 펄스 형태의 신호를 출력해 주기 때문에 펄스를 카운트하여 휠속으로 변환해주는 과정이 필요하다. 카운트된 엔코더의 펄스 수를  $\Delta p(k)$ 라 하면, 추정된 바퀴의 회전수  $\Delta c(k)$ 는 아래의 식 (4)와 같다.

$$\Delta c(k) = \frac{1}{N} \Delta p(k) \quad (4)$$

엔코더의 펄스수와 추정된 바퀴의 회전수를 이용하여 자율 주행 차량의 위치 정보를 추정하기 위한 추측항법 모델은 <그림 3>에 나타난 것과 같으며, 기본적으로 후륜 좌/우 바퀴의 회전수 차이를 이용한다[7].



<그림 3> 엔코더 기반 추측항법 모델  
<Fig. 3> Dead reckoning model based encoder

차량의 초기 위치 정보는 초기 좌표의 경우에는 (0, 0)으로, 초기 진행 방향의 경우에는  $0^\circ$ 로 가정하였으며, 후륜 휠 좌측/우측에 장착된 엔코더의 펄스 수의 차이를 이용하여 차량 방향각의 단위 변화량을 구해보면 아래의 식 (5)와 같다.

$$\Delta \psi(k) = \frac{2\pi R_{eff}}{N} \frac{\Delta p_l(k) - \Delta p_r(k)}{T} \quad (5)$$

또한, 식 (5)에서 구한 차량 방향각의 단위 변화량과 이전 단계의 방향각을 더해주는 방식으로 현재 차량의 방향각을 식 (6)과 같이 추정한다.

$$\psi(k) = \psi(k-1) + \Delta\psi(k) \quad (6)$$

차량의 종/횡방향 단위 이동량의 경우에는 차량의 현재 방향각과 이전 단계의 방향각의 평균을 통하여 구한 속도 벡터의 방향  $\psi_d(k)$ 를 이용하여 식 (7), (8)과 같이 구한다.

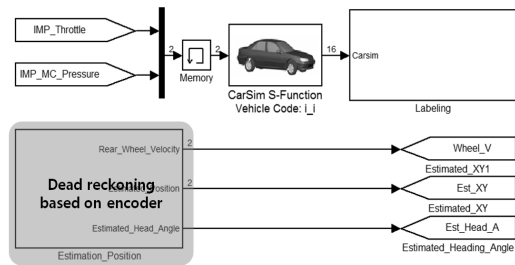
$$\Delta X(k) = \frac{(\Delta c_r(k) + \Delta c_l(k))}{2} \cos(\psi_d(k)) \quad (7)$$

$$\Delta Y(k) = \frac{(\Delta c_r(k) + \Delta c_l(k))}{2} \sin(\psi_d(k)) \quad (8)$$

여기서,  $\psi_d(k)$ 는 아래의 식 (9)와 같다.

$$\psi_d(k) = \frac{\psi(k) + \psi(k-1)}{2} \quad (9)$$

위에서 추정한 차량의 진행 방향 및 종/횡방향 이동에 대한 단위 변화량을 초기 위치 정보를 이용하여 적분하게 되면 현재 차량의 위치를 얻을 수 있다. 엔코더 기반 추측항법 모델은 <그림 4>에 나타난 것과 같이 Mathworks 사의 MATLAB/ Simulink를 이용하여 구성하였다.



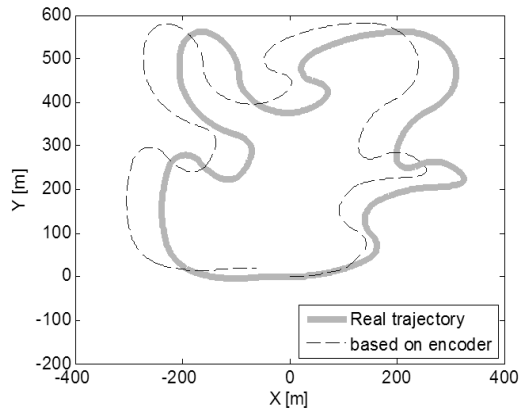
<그림 4> 엔코더 기반 추측항법 알고리즘 구현  
<Fig. 4> Development of the dead reckoning algorithm based encoder

## 2. 엔코더 기반 추측항법의 한계점

기존의 엔코더 기반 추측항법 모델의 수식을 살펴보면, 기본적으로 노면과 타이어 사이의 휠 슬립률이 0이라는 가정이 필요함을 알 수 있다. 다시 말해서, 차량 동역학적인 측면에서 노면과 타이어

사이의 휠 슬립 특성을 전혀 반영하지 않고 있으며, 이러한 특성은 험로나 저마찰 노면에서의 주행이나 급격한 가속, 감속, 선회 등이 포함된 주행의 경우에 추정한 차량의 진행 방향 및 종/횡방향 이동에 대한 단위 변화량이 실제값과 차이가 나는 주된 원인이 된다. 이러한 단위 변화량과 실제값의 차이에 의해서 발생하는 오차는 절대적으로 값이 크지 않지만, 자율 주행 차량의 자기위치인식 과정에서 이러한 단위 변화량을 적분하는 단계가 포함되기 때문에 오차가 누적되어 최종적으로 자율 주행 차량의 위치 정보는 실제값과 상당히 다를 수 있다.

이는 <그림 5>에 나타난 시뮬레이션 결과를 통해서 알 수 있다. 급격한 선회 구간이 존재하는 도로에서 40km/h의 설정 속도로 가속과 감속을 반복하여 주행시킨 결과, 기존의 엔코더를 이용한 추측항법 모델은 코너 직전에서 감속을 하고 코너 탈출 직후 가속을 하는 지점에서의 위치 오차가 크게 발생함을 알 수 있으며, 주행 종료 지점에 도달할수록 오차가 누적되어 실제 경로에서 크게 벗어남을 알 수 있다.



<그림 5> 엔코더 기반 추측항법 결과  
<Fig. 5> Result of dead reckoning algorithm based encoder

## IV. 슬립률 기반의 추측항법

기존의 엔코더를 이용한 추측항법 기술의 경우에는 추가적으로 엔코더를 장착해야 한다는 단점이 있었으며, 앞 장에서 서술한 바와 같이 노면과 타이어

어 사이에 발생하는 슬립율을 고려하지 않아 자기 위치인식 오차가 크게 발생한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 추측항법에서 고가의 센서를 추가적으로 장착하던 것과는 달리 대부분의 일반 차량에 장착되어 있는 ABS에 적용된 휠속 센서를 활용하였다. 또한, 휠속 센서에서 계속된 값을 토대로 휠 슬립율을 추정하여 차량의 급격한 거동 변화에 대응하기 위하여 슬립률 기반의 추측항법 알고리즘을 개발하였다. 본 장에서는 휠속 센서를 이용하여 위도, 경도에 해당하는 좌표 정보와 차량의 진행 방향에 대한 정보를 추정하는 과정과 슬립률 기반의 추측항법 모델 개발에 대하여 소개하고자 한다.

### 1. 휠속 센서 기반 추측항법 모델

휠속 센서 기반의 추측항법 모델의 경우에는 엔코더의 펄스 신호 대신에 휠속 신호를 직접 이용함으로써, 펄스를 카운트하여 휠속으로 변환해주는 과정이 필요 없다. 차량의 피동륜인 후륜 좌/우 휠의 속도 차이로부터 차량 방향각의 단위 변화량을 아래의 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\psi(k) = 2\pi R_{eff} \frac{\omega_l(k) - \omega_r(k)}{T} t_s \quad (10)$$

또한, 식 (10)에서 구한 차량 방향각의 단위 변화량과 이전 단계의 방향각을 더해주는 방식으로 현재 차량의 방향각을 식 (11)과 같이 추정한다.

$$\psi(k) = \psi(k-1) + \Delta\psi(k) \quad (11)$$

차량의 종/횡방향 단위 이동량의 경우에는 차량의 현재 방향각과 이전 단계의 방향각의 평균을 통하여 구한 식 (9)에 나타난 속도 벡터의 방향을 이용하여 식 (12), (13)와 같이 구한다.

$$\Delta X(k) = \frac{V_{w,l}(k) + V_{w,r}(k)}{2} \cos(\psi_d(k)) \quad (12)$$

$$\Delta Y(k) = \frac{V_{w,l}(k) + V_{w,r}(k)}{2} \sin(\psi_d(k)) \quad (13)$$

위에서 추정된 차량의 방향각 및 종/횡방향 이동에 대한 단위 변화량을 초기 위치 정보를 이용하여 적분하게 되면 현재 차량의 위치를 얻을 수 있으며, 앞 장에서 소개한 엔코더 기반 추측항법 모델에 사용된 수식과 비교했을 때, 펄스를 카운트하여 휠속으로 변환해주는 부분 이외에는 동일한 수식이다.

### 2. 슬립률 기반의 추측항법 모델

기본적으로 휠의 회전수나 속도를 이용하여 자기위치인식을 하는 경우에 있어 노면과 타이어 사이에 발생하는 슬립은 매우 중요한 인자이다. 이는 슬립율에 따라 추정되는 좌측과 우측 휠의 실제 변위가 다르기 때문이다. 차량의 가속속 시 노면과 타이어 사이에는 휠의 회전 속도와 실제 차량 속도 차이에 의해서 휠 슬립이 발생하며, 가속 상황과 감속 상황에 따라 다르게 수식이 적용되며, 각각에 대한 휠 슬립율 추정식은 아래의 식 (14), (15)와 같다.

$$\lambda_{Acc.} = \frac{\omega R_{eff} - V_x}{\omega R_{eff}} \quad (14)$$

$$\lambda_{Dec.} = \frac{V_x - \omega R_{eff}}{V_x} \quad (15)$$

위에서 추정된 휠 슬립율을 토대로 노면과 타이어 사이에 슬립이 발생한 경우에 대해서 실제 유효한 휠속  $V_w^*$ 는 아래의 식 (16), (17)에 나타난 것과 같이 휠속 센서로부터 측정된 초기 휠속과 슬립율, 그리고 차량 속도에 따른 가중치 부여를 위한 함수  $f_{Acc.}$ ,  $f_{Dec.}$ 로 구할 수 있다.

$$V_{w-Acc.}^*(k) = \frac{V_{w-Acc.}(k)}{1 - \lambda_{Acc.}(k)} \times f_{Acc.} \quad (16)$$

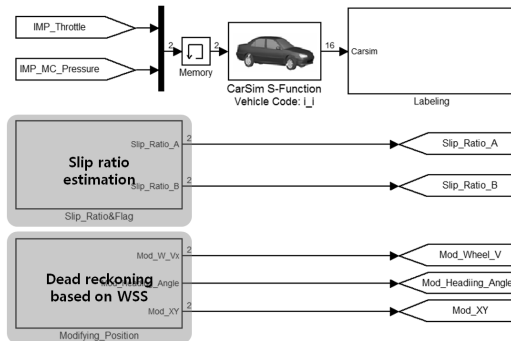
$$V_{w-Dec.}^*(k) = V_{w-Dec.}(k) \times [1 - \lambda_{Dec.}(k)] \times f_{Dec.} \quad (17)$$

여기서  $f_{Acc.}$ ,  $f_{Dec.}$ 는 아래의 식 (18)에 나타난 것과 같이 차량 속도에 반비례하며, 실험적으로 구한 look-up table에 의해서 0과 1사이의 값을 출력하는

함수이다.

$$f_{Acc.} = f_{Dec.} \propto \frac{1}{V_x} \quad (18)$$

위의 식으로 구성된 슬립율 기반의 추측항법 모델은 <그림 6>에 나타낸 것과 같이 Mathworks 사의 MATLAB/Simulink를 이용하여 휠 슬립율을 추정하는 블록과 슬립율을 고려한 자기위치인식 부분으로 구성하였다.



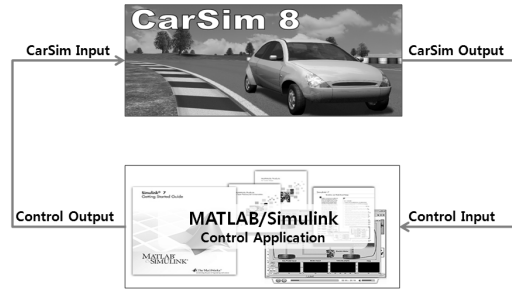
<그림 6> 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘 구현  
<Fig. 6> Development of dead reckoning based on wheel slip ratio

## V. 알고리즘 성능 평가

기존의 엔코더 기반 추측항법 알고리즘과 본 논문에서 개발한 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘의 성능 비교·평가를 위하여 차량의 거동이 급격하게 변화하는 상황이 포함된 시뮬레이션 환경을 구성하여 시뮬레이션을 진행하였다.

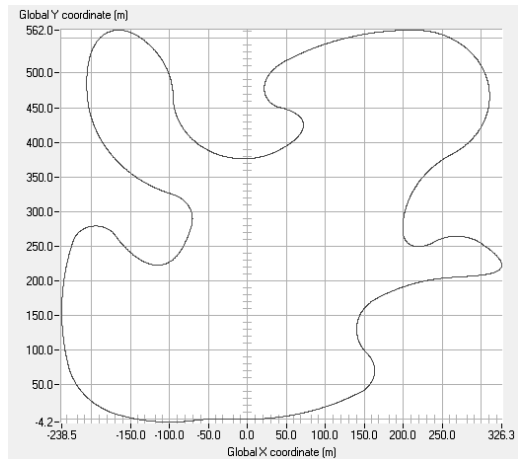
### 1. 시뮬레이션 환경 구성

개발한 알고리즘의 성능 평가를 위해서는 정확한 차량 모델의 확보와 다양한 노면 조건 및 주행 상황을 구현해줄 수 있는 차량동역학 시뮬레이션 툴이 필요하다. 본 연구에서는 27 자유도의 전차량 모델을 제공하는 MSC 사의 CarSim을 이용하였으며, <그림 7>에 나타낸 것과 같이 자기위치인식 알고리즘이 구현된 MATLAB/Simulink와 연동하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다.



<그림 7> CarSim과 MATLAB/Simulink를 이용한 시뮬레이션 환경 구성  
<Fig. 7> Simulation environment b/w CarSim and MATLAB/Simulink

차량의 거동이 급격하게 변화하는 상황이 포함된 도로를 <그림 8>에 나타낸 것과 같이 구성하였으며, 40, 50km/h의 설정 속도에 맞추어 감속 및 가속을 반복하도록 2가지 시뮬레이션을 수행하였다.

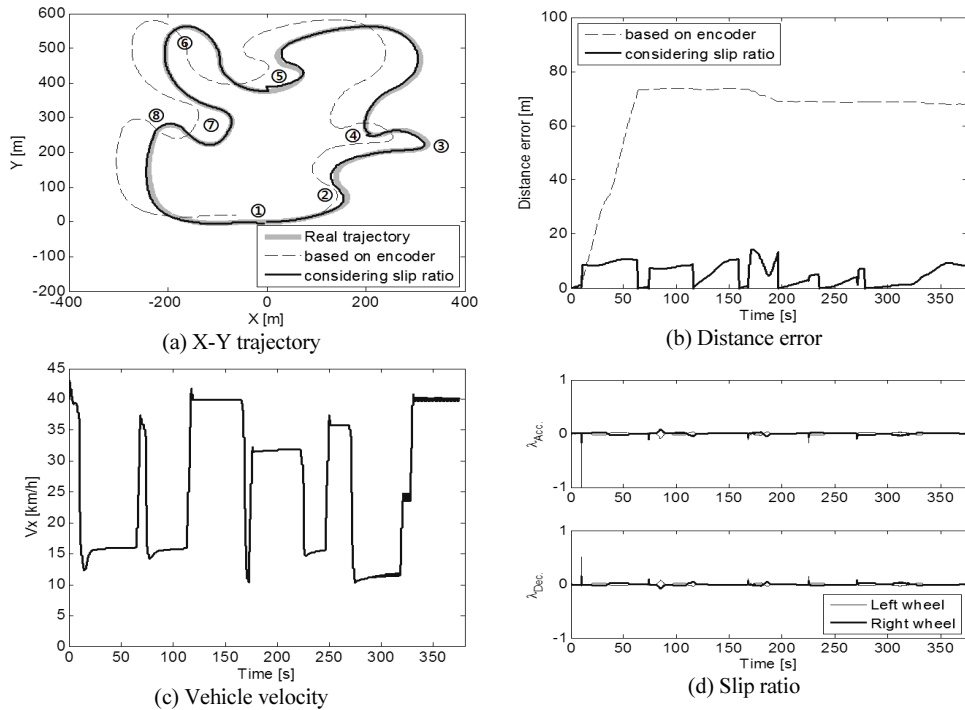


<그림 8> 시뮬레이션 도로 구성  
<Fig. 8> Configuration of the simulation road environment

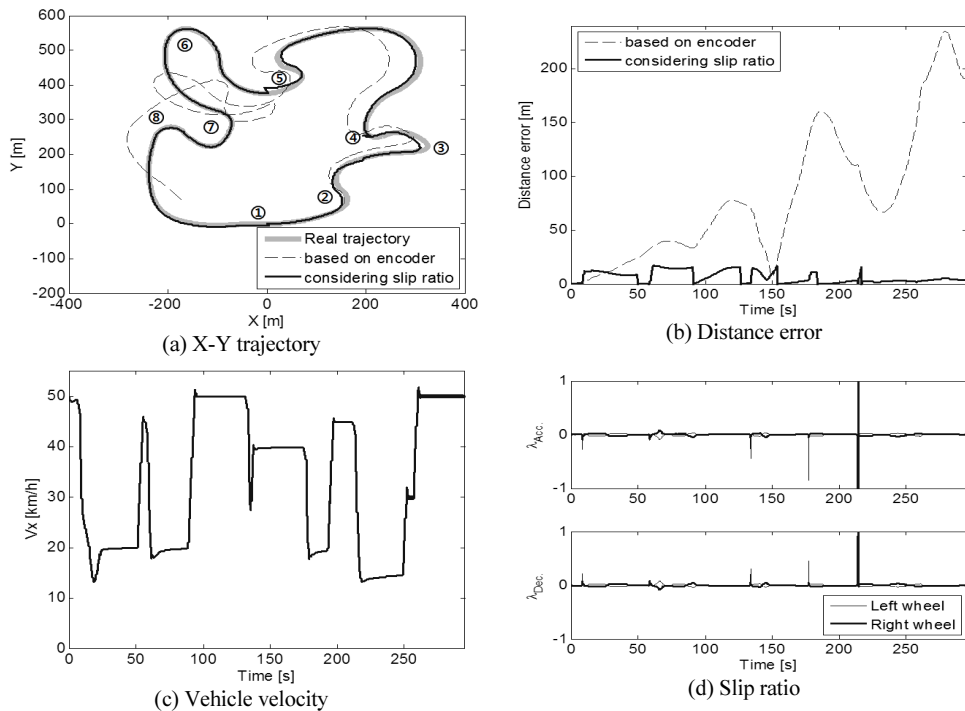
### 2. 시뮬레이션 결과

#### 1) 40km/h 주행 결과 분석

앞 절에서 구성한 도로 환경에서 40km/h의 설정 속도로 주행하며, 안정적인 선회를 위하여 감속 및 가속을 반복하도록 시뮬레이션을 수행한 결과는 <그림 9>와 같다.



〈그림 9〉 시뮬레이션 결과 - 엔코더 기반 및 슬립율 기반의 추측항법 (40km/h)  
 〈Fig. 9〉 Results of dead reckoning based on encoder and slip ratio (40km/h)



〈그림 10〉 시뮬레이션 결과 - 엔코더 기반 및 슬립율 기반의 추측항법 (50km/h)  
 〈Fig. 10〉 Results of dead reckoning based on encoder and slip ratio (50km/h)

<그림 9>(a)에 나타난 차량의 궤적 추정 결과를 살펴보면, ②번 코너 진입 직전에 차량 속도를 40km/h에서 15km/h로 줄이기 위하여 감속을 하게 되고, 이에 따라 <그림 9>(d)에 나타난 것과 같이 약 0.5 정도의 슬립율이 발생하게 된다. <그림 9>(a)에 점선으로 표시된 엔코더 기반 추측항법 알고리즘의 궤적 추정 결과를 보면, 슬립율을 고려하지 않아 매우 큰 궤적 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다. ②번 코너 이후의 경우에는 상대적으로 급격한 감속이 없음에도 불구하고, ②번 코너에서 발생한 위치 오차가 누적되어 전체적으로 오차가 크게 나타남을 확인할 수 있다. 반면에 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘의 궤적 추정 결과를 살펴보면, 몇몇 코너에서 약간의 위치 오차가 발생하고 있지만 궤적의 경향을 따라가고 있음을 알 수 있다. 또한, <그림 9>(b)에 나타난 거리 오차 결과를 보면 전체적으로 약 10m 이하의 오차를 발생시키고 있음을 확인할 수 있다.

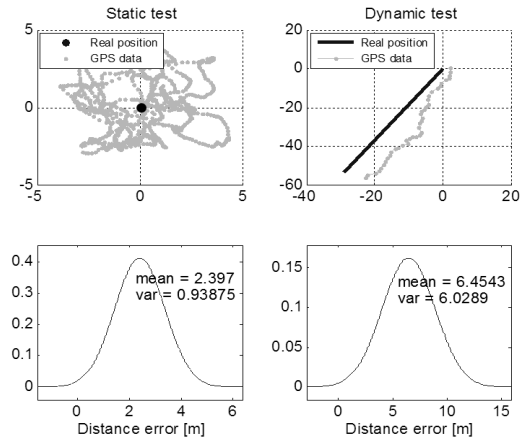
### 2) 50km/h 주행 결과 분석

설정 속도 50km/h의 시뮬레이션을 수행한 결과는 <그림 10>과 같다. <그림 10>(d)에 나타난 휠 슬립율을 살펴보면, 설정 속도 40km/h의 시뮬레이션 결과에 비해서 슬립율이 큰 것을 알 수 있으며, 이는 급격한 가속 및 감속이 반복되고 있음을 의미한다. 이에 따라 <그림 10>(a)에 나타난 차량의 궤적 추정 결과를 살펴보면, 엔코더 기반 추측항법 알고리즘의 경우 급격한 감속에 의한 슬립율로 인하여 거리 오차가 전체적으로 크게 발생한다. 반면에 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘의 궤적 추정 결과를 살펴보면, 실제 차량의 이동 궤적에서 조금씩 벗어난 하지만 전체적인 궤적의 형태는 유지하고 있으며, <그림 10>(b)에 나타난 것과 같이 전체적으로 약 10m 이하의 거리 오차를 발생시키고 있음을 확인할 수 있다.

### 3) 거리 오차 통계적 분석

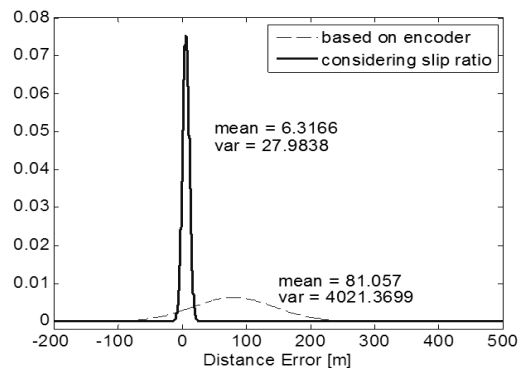
휠속 센서를 이용한 슬립율 기반의 추측항법 알

고리즘에 의해 추정된 위치 정보가 자율 주행 차량의 제어 입력 변수로 사용하기에 적합한지 여부를 판단하기 위해서 일반적인 GPS 모듈에 대한 정적, 동적 응답 특성 분석을 수행하였다. 그 결과는 <그림 11>에 나타난 것과 같이, 일반적인 GPS 모듈의 정적 응답 특성의 경우 약 2.4m, 동적 응답 특성의 경우 약 6.5m의 평균 거리 오차를 나타내었다.



<그림 11> GPS 응답 특성의 정규분포표  
(Fig. 11) Normal distribution curve of GPS characteristic

본 논문에서 개발한 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘에 의해 추정된 궤적의 거리 오차에 대한 결과 중, 거리 오차 평균이 제일 큰 설정 속도 50km/h의 시뮬레이션 결과에 대한 정규분포곡선은 <그림 12>와 같다.



<그림 12> 추측 항법 거리 오차의 정규분포표  
(Fig. 12) Normal distribution curve of distance error (50km/h)



결과를 보면 알 수 있듯이, 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘에 의해 추정된 궤적의 거리 오차 평균이 약 6.5m로써, 일반적인 GPS 모듈에서 발생하는 동적 응답 특성에 따른 거리 오차 평균과 유사하다. 따라서 본 논문에서 개발한 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘과 자율 주행 차량에 일반적으로 사용되는 DGPS 기술을 접목한다면, GPS 수신에 불안정하거나 불능인 상황에서도 정확한 위치 정보 추정을 통하여 자율 주행 차량의 안정적인 제어가 가능할 것으로 판단된다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 엔코더 기반 추측항법 알고리즘의 한계점을 보완하고, 급격한 차량 거동의 변화에 강인한 추측항법 알고리즘을 개발하기 위하여 노면과 타이어 사이의 슬립율을 고려하였다. 개발된 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘과 기존의 추측항법 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위해서 다양한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 급격한 감속 및 가속이 포함되지 않은 주행 환경에서는 노면과 타이어 사이의 슬립이 상대적으로 작기 때문에 추측항법 결과에 큰 영향을 미치지 않는다.

2) 급격한 감속 및 가속이 포함되는 주행 환경에서는 노면과 타이어 사이의 슬립이 상대적으로 크기 때문에 추측항법 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 슬립율이 약 0.5 이상 발생하는 경우에는 기존의 엔코더 기반 추측항법 알고리즘의 궤적 추정 결과에 상당한 오차가 포함되어 있는 것으로 나타났다.

3) 본 논문에서 개발한 슬립율 기반의 추측항법 알고리즘과 자율 주행 차량에 일반적으로 사용되는 DGPS 기술을 접목한다면, GPS 수신에 불안정하거나 불능인 상황에서도 정확한 위치 정보 추정을 통하여 자율 주행 차량의 안정적인 제어가 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. H. Sunwoo, "Future Prospects of Smart Car", *Auto Journal*, vol. 8, pp.75-76, 2013.
- [2] K. H. An, S. W. Lee, W. Y. Han and J. C. Son, "Technology Trends of Self-Driving Vehicles", *2013 Electronics and Telecommunications Trends* vol. 24, no.4, Aug, pp.35-44.
- [3] K. Y. Chu, J. H. Han, M. C. Lee, D. C. Kim, K. C. Jo, D. E. Oh, E. N. Yoon, M. G. Gwak, K. J. Han, D. H. Lee, B. D. Choe, Y. S. Kim, K. Y. Lee, K. S. Huh and M. H. Sunwoo, "Development of an Autonomous Vehicle : A1", *Transactions of KSAE*, vol. 19, no. 4, pp.146-154. 2011.
- [4] T. Hongo, H. Arakawa, G. Sugimoto, K. Tange and Y. Yamamoto, "An Automatic Guidance System of a Self-Controlled Vehicle", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. IE-34, no. 1, Feb, 1987.
- [5] D. Andersson and J. Fjellstrom, "Vehicle Positioning with Map Matching Using Integration of a Dead Reckoning System and GPS", *Student, Linkopings University*, Linkoping, 2004.
- [6] M. Gwak, K. Jo and M. Sunwoo, "NEURAL-NETWORK MULTIPLE MODELS FILTER (NMM)-BASED POSITION ESTIMATION SYSTEM FOR AUTONOMOUS VEHICLES", *Int. J. Automotive Technology*, vol. 14, no. 2, pp.265-274. 2013.
- [7] H. S. Kim, Y. M. Jeong and S. Y. Yang, "Study on Cornering Characteristics of In-wheel Motor EV using Vehicle Kinematics", *KSAE Fall Conference Proceedings*, pp.83-87, 2011.

저자소개



권 재 준 (Kwon, Jae-Joon)

2012년 3월 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

e-mail : alexkwon@kookmin.ac.kr

연락처 : 02) 943-7630



유 원 근 (Yoo, Won-Geun)

2013년 3월 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사과정

e-mail : buffallo66@naver.com

연락처 : 02) 943-7630



이 훈 회 (Lee, Hoon-Hee)

2011년 3월 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

e-mail : dr\_automobile@hanmail.net

연락처 : 02) 943-7630



신 동 령 (Shin, Dong-Ryoung)

2011년 8월 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

e-mail : chafari@naver.com

연락처 : 02) 943-7630



박 경 택 (Park, Kyung-Taek)

2011년 8월 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

e-mail : 7575pkt@naver.com

연락처 : 02) 943-7630



박 기 홍 (Park, Ki-Hong)

1995년 ~ 현 재 : 국민대학교 자동차공학과 교수

1994년 : Cornell University 기계공학과 박사

1990년 : Cornell University 기계공학과 석사

1986년 : 서울대학교 기계설계학과 학사

e-mail : kpark@kookmin.ac.kr

연락처 : 02) 910-4689