

ACC/AEBS 시스템용 센서퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘

이동우* · 이경수* · 이재완**

Development of the Driving path Estimation Algorithm for Adaptive Cruise Control System and Advanced Emergency Braking System Using Multi-sensor Fusion

Dongwoo Lee*, Kyongsu Yi*, Jaewan Lee**

Key Words : Driving path estimation(주행경로추정), Sensor fusion(센서융합), Adaptive cruise control system(자동순항제어장치), Advanced emergency braking system(자동비상제동장치), Vision sensor(카메라 센서)

ABSTRACT

This paper presents driving path estimation algorithm for adaptive cruise control system and advanced emergency braking system using multi-sensor fusion. Through data collection, yaw rate filtering based road curvature and vision sensor road curvature characteristics are analyzed. Yaw rate filtering based road curvature and vision sensor road curvature are fused into the one curvature by weighting factor which are considering characteristics of each curvature data. The proposed driving path estimation algorithm has been investigated via simulation performed on a vehicle package Carsim and Matlab/Simulink. It has been shown via simulation that the proposed driving path estimation algorithm improves primary target detection rate.

1. 서론

최근 첨단 안전 차량(Advanced Safety Vehicle) 및 고급 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance System)의 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있으며, 자동순항제어장치(Advanced Cruise Control System) 및 자동비상제동장치(Advanced emergency)도 이러한 시스템들 중 하나이다.

자동순항제어장치(Advanced Cruise Control System) 및 자동비상제동장치(Advanced Emergency Braking System)이 작동을 하기 위해서는 우선적으로 주변차량 및 주행도로환경에 대한 정보를 센서시스템을 통해

입력 받아야 한다. 현재 주로 사용되고 있는 센서는 레이더 센서이며, 여기에 추가로 카메라 센서(Vision sensor) 및 초음파센서(Ultra sonic sensor) 등 다양한 센서를 융합함으로써 각각의 센서가 보유한 단점들을 보완하도록 하고 있는 추세다.¹⁾²⁾

또한 ACC 및 AEBS 알고리즘에서는 전방 차량의 유무를 판단하기 위하여 자차량의 주행곡률을 추정하여야 한다. 차선의 곡률을 추정하는 방법 중 대표적인 방법으로 차량센서에서 수신되는 차량의 요속도(Yaw rate)를 필터링 한 값과 차량속도를 이용하여 차선의 곡률을 계산하는 방법이 있다. 이 방법은 조향의 변화가 적은 주행상황에서는 우수한 추정성능을 보이지만, 조향이 급격하게 변하는 경우 추정성능이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 카

* 서울대학교 기계항공공학부

** 자동차성능연구소

E-mail : virgingu@snu.ac.kr

메라 센서에서 수신되는 차선의 곡률정보와 차량의 요속도 및 속도를 통해 계산한 곡률정보를 융합하여 차선의 곡률정보를 추정함으로써, 각 정보들의 단점을 보완할 수 있는 곡률추정 알고리즘을 제안한다. 또한 ACC상황의 시나리오를 구성하고 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능향상을 검증한다.

2. 주행경로 추정 특성 분석

2.1 요속도 필터링 기반 곡률 추정

차량의 요속도를 이용하여 도로의 곡률을 추정하는 방법은 식 (1)과 같이 요속도를 종방향 속도로 나누어 계산한다.

$$\rho = \frac{v_s}{\hat{\gamma}_k} \quad (1)$$

$$\hat{\gamma}_k = \hat{\gamma}_{k-1} + K \cdot (z_k - \hat{\gamma}_{k-1}) \quad (2)$$

$$K = f(v_s, \delta, \dot{\delta}) \quad (3)$$

이때 요속도는 식 (2)와 같이 필터링을 통하여 예측하며, 이때의 필터의 민감도는 식 (3)과 같이 차량속도, 조향각속도, 조향각을 고려하도록 계산한다.

2.2 곡률 추정 데이터 특성 분석

차량의 요속도를 이용하여 추정한 도로곡률과 카메



Fig. 1 Construction of experiment vehicle for road curvature data collection

라센서에서 계산된 도로곡률을 퓨전하여 사용하기 위해서 먼저, 각 방법으로 추정된 도로곡률의 특성을 분석하였다.

2.1.1 곡률 추정 데이터 수집

도로곡률 추정 데이터를 수집하기 위하여 실험차량을 구성하였다. 실험차량은 Fig. 1과 같이 요속도를 측정하기 위한 6 DOF 센서, 영상정보를 통해 도로곡률을 추정하는 카메라 비전 센서, 주행상황을 녹화할 수 있는 카메라, 그리고 데이터의 정확성을 비교하기 위하여 GPS 기반의 RT3002장비를 장착하였다. RT3002 장비는 차량 내부 신호와는 독립적으로 GPS 모듈과 내부센서를 이용하여 도로곡률을 추정한다.

2.1.2 곡률 추정 데이터 특성 비교

실험차량 주행을 통하여 수집된 곡률 추정데이터 분석을 통하여 각 곡률추정 데이터의 특성을 비교해 보았다.

우선, 차선 유지상황에서 각 곡률추정 데이터와 RT3002에서 출력된 곡률값을 비교해 보았다. Fig. 2는 곡선로에서 차선유지 주행시의 각각의 곡률추정값이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 차선유지 주행시에는 요속도 필터링 기반 곡률 추정데이터가 카메라 센서의 곡률 데이터보다 RT3002의 곡률 추정값과 유사하므로 추정 성능이 우수하다고 할 수 있다. 이는 Fig. 3의 그래프에서도 확인할 수 있다. Fig. 3은 각각의 곡률 추정값과 RT3002 곡률 추정값의 차이 분포를 나타낸 것이다.

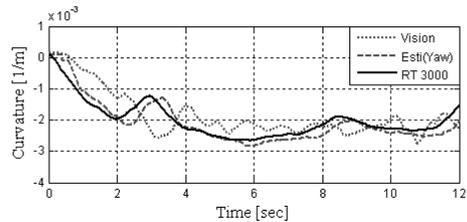


Fig. 2 Curvature estimation data at lane keeping drive

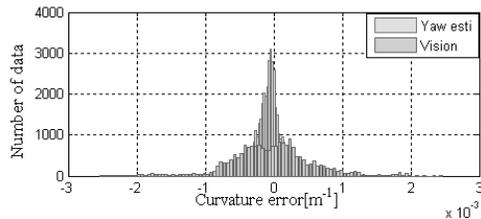


Fig. 3 Curvature error distribution

Fig. 3 에서 볼 수 있듯이 곡률추정 오차의 표준편차가 작은 쪽이 고속도 필터링 기반 곡률 추정 데이터임을 알 수 있다. 따라서 차선 유지 주행시에는 고속도 필터링 기반 곡률 추정값을 사용하는 것이 보다 신뢰성이 있다고 할 수 있다.

한편, Fig. 4와 같은 차선변경상황에서의 곡률추정 데이터를 분석해보면 또 다른 유용한 결과를 얻을 수 있다. Fig. 5는 차선변경주행시의 도로곡률 추정 데이터를 비교한 그래프이다. 그래프를 보면 고속도 필터링 기반 도로곡률값은 차량 조향각 변화의 영향을 받는 특성 때문에 좌우로 진동하는 사인파형의 값을 보이는데 직선로를 추정 함을 알 수 있다. 반면에 카메라 센서는 도로의 차선정보를 기반으로 도로곡률을 추정하는 특성 때문에 차선변경상황에서도 직선도로에 가까운 곡률데이터를 출력함을 알 수 있다.

이러한 곡률 추정 데이터의 특성은 다음과 같은 상황에 적용해 볼 수 있다. Fig. 4와 같이 ACC 및 AEBS가 장착된 차량이 주행하는 상황에서 전방차선 및 옆차선에 선행차량이 주행하고 있는 상황을 가정해 보자. ACC 및 AEBS 알고리즘은 입력된 곡률 추정값을 이용하여 진행차선을 추정하므로 차선변경시에 어떤 곡률 추정값을 이용하는냐에 따라서 제어성능이 달라 질 수 있을 것이다. 만약 차선변경시에 고속도 필터링 기반 도로곡률 추정 데이터를 이용한다면, 주행차선을 좌우로 흔들리게 추정할 것이며 이로 인하여 전방 차량을 인식하지 못하거나 늦게 인식 할 것이다. 반면에 카메라 센서에서 차선을 기반으로 추정된 도로곡률 데이터를 이용한다면, 차선변경시에도 안정된 곡률 추정값을 얻을 수 있으며, 전방차량 인식성능도 향상 될 수 있다.

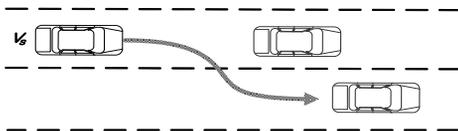


Fig. 4 Lane change drive situation at straight road

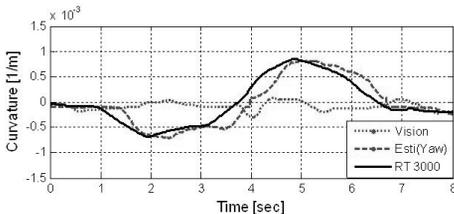


Fig. 5 Curvature estimation data at lane change drive situation

따라서 결론적으로 차선유지 주행시에는 고속도 필터링 기반 도로곡률 추정값을 사용하고, 차선변경 주행시에는 카메라 센서의 도로곡률 추정값을 사용하도록 곡률 추정알고리즘을 구성하는 것이 바람직하다 할 수 있다.

3. 센서 퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘

3.1 곡률 추정 데이터 퓨전

곡률 추정 데이터 특성 분석내용을 바탕으로 고속도 필터링 기반 도로곡률 추정값과 카메라 센서 도로곡률 추정값을 퓨전하여 도로곡률을 추정하는 알고리즘을 구성하였다. 알고리즘의 구성도는 Fig. 6과 같다. 필터링한 고속도 및 속도 정보로 추정된 도로곡률 추정값과 비전카메라에서 차선정보를 기반으로 추정된 도로곡률 값을 식 (4)와 같이 가중치를 곱하여 최종 곡률 값을 계산한다. 이때, 곱해지는 가중치는 식 (5)와 같이 조향각속도에 따른 함수값으로 정의하였다. 그 이유는 조향각의 변화가 큰 경우에는 고속도 필터링 기반 곡률추정값의 변화가 크므로 이 경우에는 카메라 센서의 도로곡률 값의 가중치를 높여 주도록 하고, 조향각의 변화가 작을 경우에는 고속도 필터링 기반 곡률추정값의 가중치를 높여주도록 하기 위해서이다. 그런데, 조향각의 변화가 큰 상황이 모두 차선변경 상황이라고 할 수는 없기 때문에 이를 구별할 방법이 필요하다.

$$\rho_{yaw\ esti} \cdot (1 - w(\delta)) + \rho_{vision} \cdot w(\delta) = \rho_{fusion} \quad (4)$$

$$w = g(\delta) \quad (5)$$

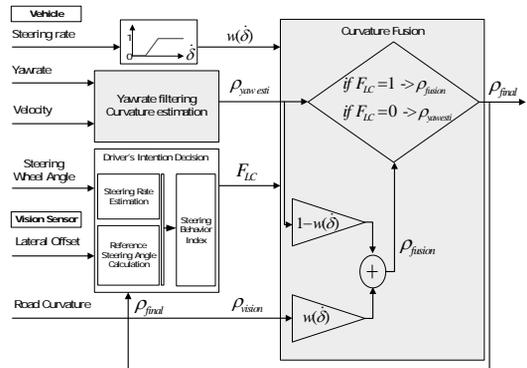


Fig. 6 Scheme of curvature fusion algorithm

3.2 차선변경 의도를 고려한 곡률추정

조향각이 빠르게 변화하는 상황에는 Fig. 7과 같이 차선변경 상황도 있지만 곡선로 진입상황도 존재한다. 차선을 유지하면서 곡선로를 진입하는 경우에는 비전 카메라의 곡률추정값보다 속도도 필터링 기반 곡률추정값을 사용하는 것이 바람직하기 때문에 차선변경상황을 정의 해줄 인덱스가 필요하다. 따라서 본 알고리즘에서는 다음과 같은 차선변경 인덱스를 사용하였다.³⁴⁾

$$I_{LC}(k+1) = \rho_{final} \cdot I_{LC}(k) + (\delta_k - \delta_{ss}) \cdot \dot{\delta}(k) \cdot T \quad (6)$$

$$I_{LC}(k) = T \cdot \sum_{p=1}^{p=k} \rho_{final}^{k-p} \cdot (\delta_p - \delta_{ss}) \cdot \dot{\delta}_p \quad (7)$$

$$\delta_{ss} = \left(l_f + l_r + \frac{mV_x^2 (l_r C_{ar} - l_f C_{af})}{2C_{af} C_{ar} \cdot (l_f + l_r)} \right) \cdot V_x \cdot \kappa \quad (8)$$

식(7)과 같이 기준조향각, 차량조향각, 차량조향각속도, 최종 도로곡률 추정값으로 운전자의 차선변경의도 인덱스를 정의하며, 식 (6)과 같이 업데이트 한다. 기준조향각의 차량의 파라미터와 속도를 기반으로 계산된 조향각이다. 이 기준조향각과 현재 조향각이 많이 벗어날수록 운전자의 차선변경의도가 크다고 할 수 있다. 이렇게 정의한 차선변경의도 인덱스가 식 (9)와 같이 경계값을 넘을 경우 차선변경상황 신호를 발생시키도록 하였다. 또한 식 (10)과 같이 차선변경상황 신호가 들어오면 이 경우에는 식 (4)의 퓨전한 곡률추정값

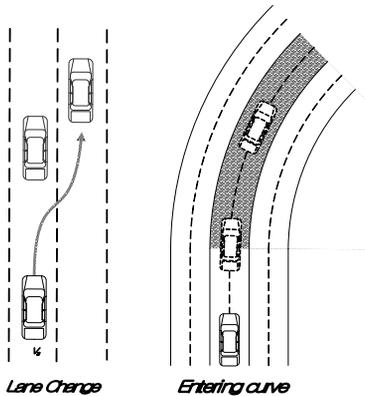


Fig. 7 Lane change driving situation and Entering curve situation

을 사용하도록 하고 차선변경신호가 없을 경우에는 속도도 필터링 기반 도로곡률 추정값을 최종 도로곡률값으로 추정하도록 하였다.

$$if I_{LC}(k) > Threshold \rightarrow F_{LC} = 1 \quad (9)$$

$$\begin{cases} if F_{LC} = 1 \rightarrow \rho_{final} = \rho_{fusion} \\ if F_{LC} = 0 \rightarrow \rho_{final} = \rho_{yawesti} \end{cases} \quad (10)$$

4. 주행경로 추정 알고리즘 평가 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 센서퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여, 시뮬레이션을 통한 제어 성능을 살펴 본다. 이를 위하여 시뮬레이션 소프트웨어인 Carsim 과 MATLAB/SIMULINK 를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구축하고, 알고리즘의 성능을 확인할 수 있는 적절한 시나리오를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘이 장착된 경우와 속도도 필터링 기반 주행경로 추정알고리즘이 장착된 경우를 동일한 상황에 대하여 비교한다.

4.1 시뮬레이션 환경 구축

시뮬레이션 환경은 Fig. 8과 같이 구성하였다. Carsim 소프트웨어의 Multi-traffic 모듈을 사용하여 2대의 선행차량을 구성하였고, 주변차량정보 및 곡률정보를 이용하여 대표타겟을 결정하여 ACC 컨트롤러로 신호를 보내주도록 하였다. 수신된 대표타겟 정보를 토대로 ACC 컨트롤러는 3차원 차량모델을 제어하도록 한다. 조향제어는 운전자모델을 사용하여 차선변경을 할 수 있도록 하였다. 성능평가실험의 대조군으로서 곡률데이터의 퓨전 알고리즘이 없는 경우를 설정하였으므로 Fig. 8 에서 주행경로 퓨전 알고리즘을 장착한 경우와 장착하지 않은 경우에 대해서 시뮬레이션을 할 수 있도록 하였다.

4.2 평가 시나리오

센서퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 9와 같은 차선변경 시나리오를 설정하였다.

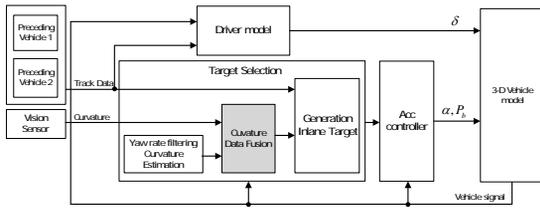


Fig. 8 Scheme of curvature fusion algorithm simulation system

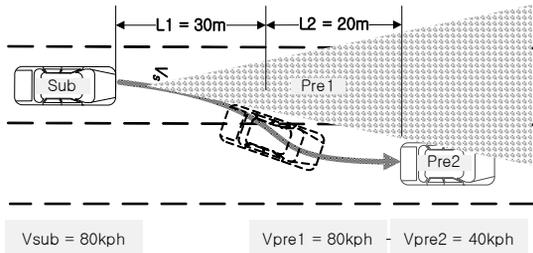


Fig. 9 Lane change situation in multi-vehicle

자차량의 주행속도는 80kph이며, 전방에 80kph로 주행하는 선행차량과 30m의 차간거리를 둔 상태에서 차선변경을 한다. 차선변경을 하려는 차선에는 40kph의 저속차량이 주행하고 있으며 ACC System이 장착된 자차량은 저속차량을 인식하고 감속제어를 수행하게 된다.

본 논문에서는 위와 같은 시나리오 상황에서 센서퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘의 유무에 따른 ACC System의 차량제어성능 차이를 확인한다.

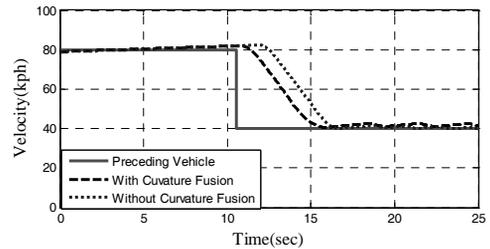
4.3 시뮬레이션 결과

동일한 주행상황에 대하여 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘이 장착되지 않은 경우, 차선변경상황에서 Fig. 10의 (d)와 같이 전방선행차량을 타겟으로 인식하지 않는 구간이 발생하게 된다. 이는 Fig.10의 (f)를 보면 알 수 있듯이 요속도 필터링 기반 곡률 추정값은 조향각 변화의 영향으로 곡률이 크게 증가하기 때문이다. 반면에 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘이 장착된 경우, 조향각 변화의 영향이 적은 비전 카메라의 곡률 데이터가 퓨전되어 전방선행차량을 타겟에서 놓치는 구간없이 추종하였다.

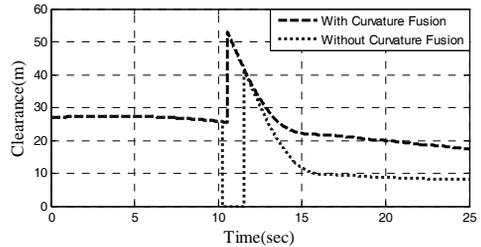
한편, 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘에 의한 ACC system의 안전도 향상효과도 확인할 수 있다. 충돌경보지수와 역충돌시간의 비율을 통하여, 식 (11)

과 같이 주행상태의 위험도를 나타내는 종방향 안전도 지수를 도입하였다.⁵⁾⁶⁾ Fig. 10의 (e)과 같이 종방향 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘이 장착된 경우 향상된 안전도를 보임을 알 수 있다.

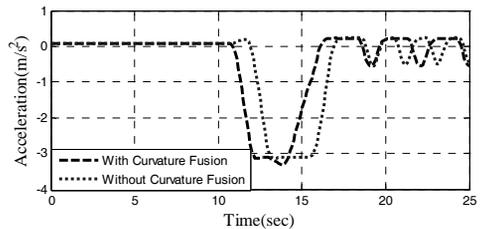
$$I_{Longitudinal} = \max \left(\frac{|x_{max} - x|}{|x_{max} - x_{th}|}, \frac{|TTC^{-1}|}{|TTC_{th}^{-1}|} \right) \quad (11)$$



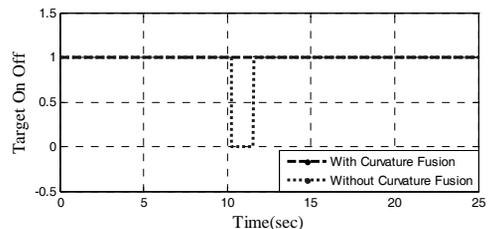
(a) Velocity



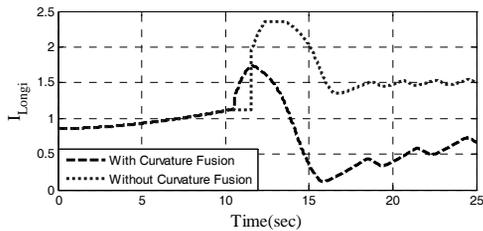
(b) Clearance



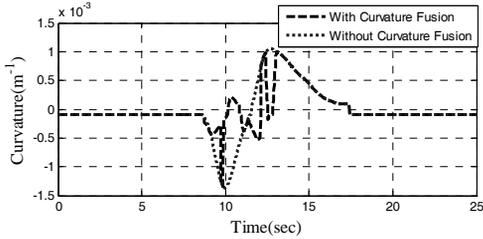
(c) Acceleration



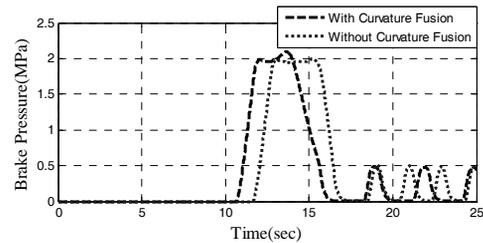
(d) Target On Off



(e) Longitudinal Index



(f) Curvature



(g) Brake pressure

Fig. 10 Simulation result in lane change situation

5. 결론

본 연구에서는 ACC/AEBS용 센서 퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

본 연구에서는 요속도 필터링 기반 곡률추정 알고리즘의 성능향상을 위하여, 카메라 센서의 도로곡률값을 융합된 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘을 제시하였다.

이를 위하여, 데이터 수집을 통해 카메라 센서의 도로곡률 추정값과 요속도 필터링 기반 곡률추정값의 특성을 분석하였고, 이를 기반으로 센서퓨전을 통한 주행경로 추정 알고리즘을 설계하였다.

제시한 주행경로 추정 알고리즘의 성능 향상 효과를 평가하기 위하여 ACC System이 장착된 차량의 차

선변경주행 시나리오를 구성하고 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과 센서퓨전을 통한 주행경로 추정알고리즘이 장착된 경우 전방차량의 인식성능이 향상되었음을 확인하였으며, 안전도 측면에서도 종방향 안전도 지수가 낮게 유지되는 제어성능을 보였다. 이를 통하여 본 연구에서 제시한 알고리즘이 포함된 ACC System의 성능향상을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토해양부(09PTSI-C054119-01-000000), SNU-IAMD, the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MEST) (KRF-2009-200-D00003), National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (2009-0083495)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- (1) Alberto Broggi, Stefano Cattani, Pier Paolo Porta and Paolo Zani, 2006, "A Laserscanner-Vision Fusion System Implemented on the TerraMax Autonomous Vehicle", IEEE/RSJ, International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, Vol. 8, No. 6, pp. 657~664.
- (2) Labayrade, R., Royere, C., Aubert, D., 2005, "A collision mitigation system using laser scanner and stereovision fusion and its assessment", IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, pp. 441~446
- (3) Rajech Rajamani, 2005, Vehicle Dynamics and Control, Springer-Verlag, New York.
- (4) 이준영, 이경수, 2011, "차선 이탈 방지를 위한 조향 보조 토크 및 차동제동의 분배 제어 전략 개발," 대한기계학회 동역학 및 제어부분 춘계학술대회, pp. 39~45.
- (5) Wanki Cho, Seungwuk Moon, Sihyoung Lee, and Kyongsu Yi, "Intelligent Vehicle Safety Control Based on Index plane", AVEC 2010, August 22-26, 2010, Loughborough, UK.
- (6) Seungwuk Moon, "Design and Vehicle Test of a Vehicle Control Algorithm for Integrated ACC/CA System", KSAE, No. 2, pp. 670~675, 2007.