

# 모델 예측 제어를 활용한 충돌 회피

최재웅\* · 서종상\* · 이경수\*

## Collision Avoidance using Model Predictive Control

Jaewoong Choi\*, Jongsang Seo\*, Kyongsu Yi\*

Key Words : Collision Avoidance(충돌 회피), Model Predictive Control (모델 예측 제어)

### ABSTRACT

This paper presents collision avoidance using model predictive control algorithm. A model predictive control algorithm determines lateral tire force and yaw moment and steering angle input and differential braking input is determined from lateral tire force and yaw moment. A constraint for model predictive control is designed for obstacle avoidance. A objective function is designed to minimize lateral tire force and yaw moment input and to follow changed lane after collision avoidance. The performance of proposed algorithm has been investigated via computer simulation conducted to vehicle dynamic software CARSIM and Matlab/Simulink.o

### 1. 서론

지능형 자동차와 운전자 보조 시스템은 운전자와 보행자의 안전 확보를 위한 큰 이슈이다. 최근에 세계의 차량 제작 업체들은 수동 안전 시스템뿐만 아니라 능동 안전 시스템을 적극적으로 개발하고 있으며, 최근의 센서 시스템의 발전으로 차선 이탈 경고(LDWS), 전방 충돌 방지 시스템(FCWS)과 같은 많은 시스템이 개발/실용화 되고 있다[1-6].

많은 종류의 시스템 개발로 인하여 통합 제어에 대한 요구가 높아지고 있다. 통합 제어 시스템의 개발은 샤시 제어 분야에서 많은 연구가 이루어 졌으며[7], 운전자 보조, 능동 안전 시스템의 통합에 대하여도 연구가 시작단계에 있다.

충돌 방지 시스템과 관련하여 기존 연구는 전방 충돌 상황에서 자동 제동 시스템을 활용, 충돌을 방지하거나 충돌 속도를 감소시키는 것에서 큰 성과를 보이

고 있으며[3], 횡방향의 충돌을 방지하는 LDWS (Lane Departure Warning System) 및 BSD (Blind Spot Detection) 등의 시스템이 개발되어 있다[8, 9].

자동 제동을 통한 충돌 회피 제어 연구의 경우, 높은 수준의 연구가 상용화 단계에 있지만, 자동 조향을 통한 충돌 방지 시스템의 경우는 연구 수준에 있다.

자동 조향을 통한 충돌 방지 시스템 연구는 레이더, 라이다, 카메라 등을 활용한 환경 인지와 독립적으로 회피 영역이 인지된 상황 하에서 주행 경로 설계를 위하여 다수의 연구가 진행되었다. 초기 연구에서는 운전자의 차선 변경 주행을 모사하기 위하여, 원호, 사인 함수를 활용한 차선 변경 궤적 설계, 고차 다항식, 사다리꼴 가속 프로파일 설계 등이 활용되었다. [10] 이는 충돌 회피에 응용 가능하다. 이후에는 시그모이드, 클로소이드 함수 등을 활용한 충돌 회피 궤적이 설계되었다. [11, 12] 최근에는 모델 예측 제어를 활용한 최적 궤적 설계 등이 행해지고 있다. [13, 14]

본 논문에서는 모델 예측 제어 기법을 활용하여 자동 조향 및 차등 제동을 결정, 충돌 회피 제어를 수행하였다. 기존 연구에서 고려되지 않았던 차등 제동을

\* 서울대학교 기계항공공학부  
E-mail : loar00@snu.ac.kr

활용하여 제어 성능을 향상시켰으며, 충돌 회피 제어를 위한 제한 조건 연구를 수행하였다.

## 2. 차량 모델

충돌 회피 차량 제어 알고리즘 설계를 위하여 Fig.1 및 식 (1) 과 같이 자전거 모델 기반의 차량 모델을 구성하였다. 차량의 상태 변수는 차량의 횡슬립각과 요속도이며,  $x=[\beta, \dot{\psi}]$  이다.  $l_f, l_r$  은 차량의 무게 중심에서 전/후륜 중심까지의 거리이며,  $m$  은 차량 중량,  $I_z$  는 차량 요방향 회전 관성,  $a_{[f,r]}$  은 전/후륜 횡방향 미끄러짐각이다.  $F_{y[f,r]}$  은 전/후륜의 횡방향 힘을 뜻한다.

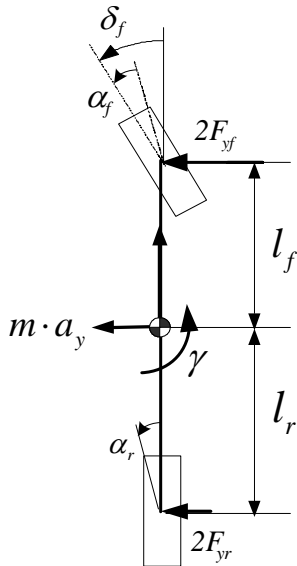


Fig. 1 Bicycle model

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2 \cdot F_{yf} + 2 \cdot F_{yr} - \gamma}{m \cdot v_x} \\ \frac{2 \cdot l_f \cdot F_{yf} - 2 \cdot l_r \cdot F_{yr}}{I_z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

타이어 모델의 비선형성을 반영하기 위하여 덕오프 타이어 모델을 활용하였다. 횡미끄러짐각은 식 (2), (3) 와 같이 표시하며, 타이어의 횡방향힘은 식 (4) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_f = \delta_f - \frac{v_y + l_f \cdot \dot{\psi}}{v_x} \quad (2)$$

$$\alpha_r = -\frac{v_y - l_r \cdot \dot{\psi}}{v_x} \quad (3)$$

$$F_y = C_\alpha \tan \alpha \cdot f(\lambda)$$

$$f(\lambda) = \begin{cases} (2-\lambda)\lambda & \text{if } \lambda < 1 \\ 1 & \text{if } \lambda \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\mu F_z}{2C_\alpha |\tan \alpha|}$$

$\mu$ 는 노면 마찰 계수,  $F_z$ 는 타이어에 가해지는 수직 방향 힘을 나타낸다.

모델 예측 제어 알고리즘의 적용을 위하여 주어진 후륜 미끄러짐각 근처에서 덕오프 타이어 모델을 선형화하여 식 (5) 와 같이 나타낸다[15].

$$F_{yr} = \hat{F}_{yr} - \hat{C}_r (\alpha_r - \hat{\alpha}_r) \quad (5)$$

식 (1),(5) 와 차량의 위치를 표시하는 상태 변수 식을 통합하여 식 (6) 과 같은 상태방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{P}_x &= v_x \\ \dot{P}_y &= v_x \cdot \psi + v_y \\ \dot{\psi} &= \gamma \\ \dot{v}_y &= \frac{1}{m} F_{yf} + \frac{1}{m} (\hat{F}_{yr} - \hat{C}_r (\alpha_r - \hat{\alpha}_r)) - \gamma v_x \\ \dot{\gamma} &= \frac{l_f}{I_z} F_{yf} - \frac{l_r}{I_z} (\hat{F}_{yr} - \hat{C}_r (\alpha_r - \hat{\alpha}_r)) + M_z \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $P_x, P_y, \psi$ 는 차량의 절대 좌표 위치 및 요각을 나타내며,  $v_x, v_y$  는 차량의 종/횡방향 속도이다.  $M_z$  는 차등 제동을 통한 요모멘트이다.

## 3. 충돌 회피 제한 조건

전방의 위험 영역이 검지되어 있다는 가정 하에서 그 위험 영역을 회피하기 위한 조건은 다음과 같다. 첫 번째 조건은 제어 입력의 크기와 그 변화율에 제한이 필요하다. 이는 식 (7), (8)와 같이 나타낼 수 있다.

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max} \quad (7)$$

$$\Delta u_{\min} \leq \Delta u \leq \Delta u_{\max} \quad (8)$$

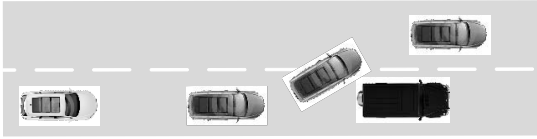


Fig. 2 Danger area for collision avoidance

두 번째 조건은 Fig.2 와 같이 차량이 위험 영역(붉은 영역)을 지나지 않아야 한다.

차량과 위험 영역간 거리는 비선형식으로, Fig.3 의  $D$  와 같다. 여기서  $x_l, y_l$  은 위험 영역의 모서리의 절대 좌표이다.

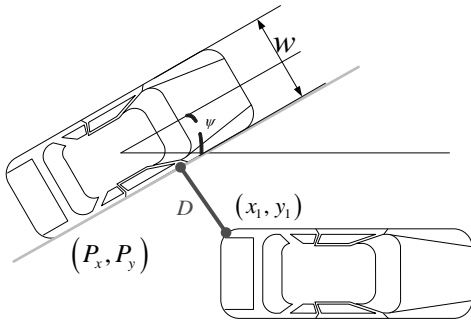


Fig. 3 Minimum vehicle-to-vehicle distance

하지만 차량과 위험 영역간 거리는 비선형식으로 이를 직접 모델 예측 제어의 제한 조건으로 활용하기 어렵다. 따라서 이전 연구들에서는 충돌 회피를 위한 조건을 장애물 위치에 도달하기 전에 충돌 회피 조향 완료 또는 마진을 가진 횡방향 이동 거리 확보 등으로 표시하였다. 장애물 위치에 충돌 회피 조향이 완료되는 경우는 식 (9) 또는 Fig. 4 와 같은 조건을 만족하도록 할 수 있다.

$$y(t_f) = y_{des}, \dot{y}(t_f) = 0, \psi(t_f) = 0, \gamma(t_f) = 0 \quad (9)$$

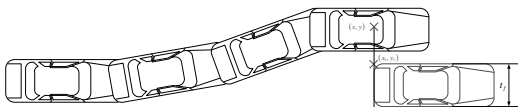


Fig. 4 Collision avoidance condition : finish avoidance before subject vehicle reaches preceding vehicle.

$t_f$ 는 최종 시간으로 여기서는 충돌 예상 시간 (TTC, time-to-collision) 과 동일하다.  $y_{des}$ 는 충돌

회피를 위하여 차량이 횡방향으로 이동하고자 하는 거리이며,  $\psi, \gamma$  는 절대 좌표에서 차량의 요각과 요속도를 뜻한다. 이 값이 모두 0 이라는 조건은 횡방향 이동 움직임이 이미 종료 되었음을 의미한다.

운전자의 일반적인 충돌 회피 움직임은 이와 유사한 경향을 보인다. 충분한 거리를 확보한 충돌 회피 주행은 장애물에 도달하기 이전에 회피 거동을 완료한다. 하지만, 운전자 보조 제어가 필요할 것으로 예상되는 위험한 주행의 경우는 운전자가 충돌 예상 시간 안에 충돌 회피를 완료하지 못하는 경향이 있으며, 이를 고려하면 식 (9) 와 같은 조건을 모든 충돌 회피 주행의 제한 조건으로 적용하기는 어렵다.

이를 대신하여 최근 모델 예측 제어에서는 이를 대신하여 절대 좌표 상에서 차량의 무게 중심의  $y$  위치가 일정 경계 내에 속하는 조건을 활용하였다. 이는 식 (10)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_L(P_x) < P_y(P_x) < B_U(P_x) \quad (10)$$

수식 (10) 에서  $P_x$ 에 관한 함수인  $B_U$  와  $B_L$  은 위험 영역에서 안전거리를 확보한 상태로 설계되어야 한다. 자차량의 요각에 관련없이 위험 영역을 회피하려면 안전거리는 위험 영역과 차량의 무게 중심에서 차량 모서리에 이르는 거리가 되어야 한다. 이 값은 식 (11) 과 같다.

$$L_{safe} = \sqrt{l_f^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad (11)$$

$L_{safe}$  는 안전거리를 의미한다. 안전거리를 식 (11) 과 같이 설정하면 요각에 관련없이 안전한 회피를 보장하지만 이는 승용차에서 1.5m 이상의 큰 값을 가지며, 실제 운전자의 주행은 이렇게 긴 거리를 확보하지 않는다.

안전거리는 자차량의 요각과 관련되어 있으며, 운전자의 위험 회피를 확인하면, 회피 중에 자차량의 요각이 위험 영역을 향하지 않는다. 이를 고려하면 안전거리를 식 (11) 과 같이 나타내는 대신에 좌측 차선으로 차선 변경 회피에서  $B_L(P_x)$  는 식 (12) 또는 Fig. 5 와 같은 조건을 만족해야 한다.

$$B_L(P_x) = \begin{cases} 0 & P_x < x_1 - L_{safe} \\ y_1 + w/2 & P_x \geq x_1 - L_{safe} \end{cases} \quad (12)$$

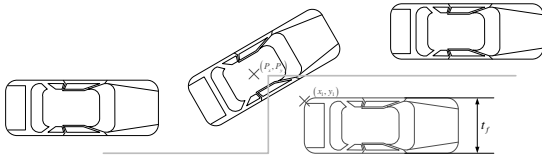


Fig. 5 Collision avoidance condition : Lower boundary for mass center.

이는 차량이 회피주행을 통해 위험 영역의 모서리를 통과할 때 차량의 요각이 0인 경우이다. 요각이 클수록 더 작은 y 방향 이동거리를 확보하면서 회피가 가능하므로, 차량이 위험 영역을 0 이상의 요각을 가진 채로 회피한다고 가정하면, 제한 조건을 식 (10) 에서 식 (12) 로 대체할 수 있다.

정확도를 높이기 위하여 회피 상황에서 필요한 최소 요각을 추정하기 위하여 식 (13) 와 같은 질점 모델 기반 차량 동역학을 가정한다.

$$\begin{aligned} \dot{P}_x &= v_x \\ \dot{P}_y &= v_x \psi \\ \dot{\psi} &= \gamma \end{aligned} \quad (13)$$

횡방향 속도가 아주 작다고 가정하면, 차량의 거동은 식 (13) 와 같은 형태로 이루어진다. 이때 차량의 우측 전방 모서리가 위험 영역의 모서리를 통과하기 위한 조건은 식 (14) 과 같다.

$$\begin{aligned} P_x(t) &= x_1 - l_f \cos \psi(t) - \frac{w}{2} \sin \psi(t) \\ P_y(t) &= y_1 - l_f \sin \psi(t) + \frac{w}{2} \cos \psi(t) \end{aligned} \quad (14)$$

요각이 작은 값으로 가정하면 식 (15) 와 같이 근사할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_x(t) &= x_1 - l_f - \frac{w}{2} \psi(t) \\ P_y(t) &= y_1 - l_f \psi(t) + \frac{w}{2} \end{aligned} \quad (15)$$

식 (13) 의 동역학식을 만족하면서 최소 요각으로 식 (15) 의 위치에 도달하기 위해서는 일정한 요속도로 차량이 진행해야 한다. 차량이 일정한 요속도로 식 (15) 를 만족하는 위치에 도달했을 때 차량의 요각은 식 (16) 과 같다.

$$\psi(t_f) = \frac{y_1 + \frac{w}{2}}{\frac{1}{2} v_x t_f^2 + l_f t_f} \quad (16)$$

$t_f$  는 차량이 위험 영역에 도달하기까지 걸리는 시간으로, 식 (17) 와 같다.

$$t_f = \frac{x_1 - L_{safe}}{v_x} \quad (17)$$

이를 활용하여 식 (12) 은 식 (18) 로 보다 정교화될 수 있으며, Fig. 6 과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_L(P_x) = \begin{cases} 0 & P_x < x_1 - L_{safe} \\ y_1 + w/2 - l_f \psi_f & P_x \geq x_1 - L_{safe} \end{cases} \quad (18)$$

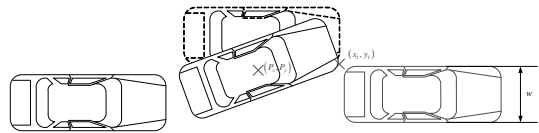


Fig. 6 Proposed collision avoidance condition

$\psi_f$  는 식 (16) 의  $\psi(t_f)$  와 동일하며, 현재 속도를 활용하여 계산 가능하다. 식 (13) 와 식 (15) 의 근사화 과정을 통하여 생긴 오차를 반영할 경우 식 (18) 보다 더 만족하기 쉬운 제한 조건을 얻을 수 있으므로, 식 (18) 을 만족할 경우, 비선형 차량 거동이 있어도 회피가 보장된다.

다만 횡방향 속도가 음의 방향으로 증가할 경우는 식 (18) 에서 반영하지 못하지만, 이전 연구에서 회피 중에 차량의 횡방향 속도를 제한하는 것이 회피 거리 확보에도 유리한 것으로 확인되었으므로, 식 (19) 과 같은 제한 조건을 추가할 수 있다.

$$|\beta| \leq \beta_{thr} \quad (19)$$

$\beta_{thr}$  은 횡방향 속도의 제한 값이다. 이는 경험적인 시뮬레이션으로 도출 할 수 있다.

#### 4. 모델 예측 제어 목적 함수

목적 함수는 회피 이후 주행하고자 하는 경로, 현재 조향 입력, 제어 입력 전체 양과 변화율을 고려하여

설계되었다. 목적 함수는 식 (20) 와 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} & \left\| F_{y,driver} - u_1(0) \right\| + R_1 \sum_{k=0}^{T-1} \left\| \Delta u_1(k) \right\|_2 \\ & + R_2 \sum_{k=0}^T \left\| u_2(k) \right\|_2 + Q \sum_{k=0}^{T-1} \left\| P_y(k) - y_{des}(k) \right\|_2 \end{aligned} \quad (20)$$

$u_1$ 은 차량의 전륜 횡방향 힘이며,  $u_2$  는 차량의 차등 제동을 통한 요모멘트이다. 식 (20) 의 4항은 차량이 회피 이후 주행하고자 하는 경로 추종을 위한 함수로,  $y_{des}$  는 이동할 차선의 중심까지의 횡방향 거리이다.

첫 항은 시스템의 초기 횡방향 힘 입력이 현재 횡방향 힘과 큰 차이를 가지지 않도록 하기 위한 항이며, 두번째 항은 횡방향 힘이 너무 빠른 주차수로 변화하지 않도록 하기 위한 항이다. 세번째 항은 차등 제동의 제어량을 최소화하기 위한 항이며, 네번째 항은 회피 주행 이후에 차량이 직진 주행을 하게 하기 위한 항이다.

### 5. 모델 예측 제어 문제 정의

모델 예측 제어 문제는 결과적으로 위의 목적 함수 식 (20), 차량 모델 식 (6), 제한 조건 식 (7), (8), (18), (19)으로 구성하였다.

결과적으로 문제는 식 (21)과 같이 정의된다.

$$\min \sum_{k=0}^{N-1} \left[ \begin{aligned} & \left\| F_{y,driver} - u_1(0) \right\| + R_1 \sum_{k=0}^{T-1} \left\| \Delta u_1(k) \right\|_2 \\ & + R_2 \sum_{k=0}^T \left\| u_2(k) \right\|_2 \\ & + Q \sum_{k=0}^{T-1} \left\| P_y(k) - y_{des}(k) \right\|_2 \end{aligned} \right] \quad (21.1)$$

$$s.t. \quad x_{k+1} = f(x_k, u_k) \quad (21.2)$$

$$u_{min} \leq u(t) \leq u_{max} \quad (21.3)$$

$$\Delta u_{min} \leq u(t+1) - u(t) \leq \Delta u_{max} \quad (21.4)$$

$$B_L(k) < P_y(k) < B_U(k) \quad (21.5)$$

총 3.1 초의 예측 시간을 가지며, 26 단계의 시간 단계로 계산되며, 초기 10 단계는 0.01 초, 후기 15 단계는 0.2 초에 한 단계씩 계산한다. 초기와 후기 사이

에 장애물까지의 시간 거리를 보정, 매 계산 단위마다 장애물까지의 시간 단위가 변화하는 것을 막기 위한 시간 단계를 포함하였다. [13]

차량 모델 식 (6) 에서 횡방향힘  $F_{yf}$  와  $M_z$  를 제어 입력  $u_1$  과  $u_2$  로 정의한다. 모델 예측 제어에서 이 두 개 값을 도출하면, 목표 횡방향힘을 발생 시키기 위한 조향각을 덕오프 타이어 모델맵을 기반으로 역산하여 목표 조향각을 계산하고, 목표 요모멘트를 발생시키기 위한 각 휠의 제동량을 계산하여 차량의 조향각과 차등 제동 입력을 결정한다. 이 전체 과정은 Fig.7 와 같다.

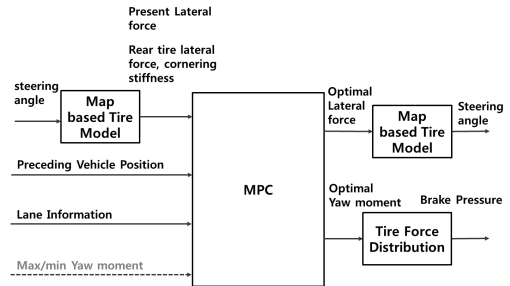


Fig. 7 Hierarchical architecture of collision avoidance control algorithm using model predictive control

### 6. 시뮬레이션

모델 예측 제어 알고리즘은 MATLAB/Simulink를 통하여 구현되었다. 최적화 알고리즘은 CVXGEN (2012, Boyd) 가 활용되었으며, 본 알고리즘은 MATLAB 의 툴박스 형태로 활용 가능하다. 차량 모델은 상용 비선형 차량 모델인 CARSIM 을 활용하였으며, 차량 파라미터는 CARSIM 에서 기본 제공하는 D-Class SUV 차량을 활용하였다.

Fig. 8에서 차량이 장애물을 회피하여 주행한 것을 확인할 수 있다. Fig.8-(a) 에서 조향각에 높은 주파수의 입력이 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 모델 기반 제어의 최적화 계산 주기 40ms 와 제어 주기 10ms 간의 차이로 인하여 발생한다. 하지만 이는 Fig.8-(b) 에서 확인 가능하듯이 차량 움직임에는 영향을 미치지 못한다. Fig.8 - (c) 에서 파란색 차량은 조향과 차등 제동을 동시 사용한 경우이고, 붉은 색 차량은 조향만 활용한 경우이다. 거시적인 거동은 큰 차이를 보이지 않지만, 그림 상 표기된 차량간 최소 거리와 최대 횡방향 이동 거리를 통하여 추가적인 안전거리를 확보와 차량의 횡방향 이동 거리도 축소를

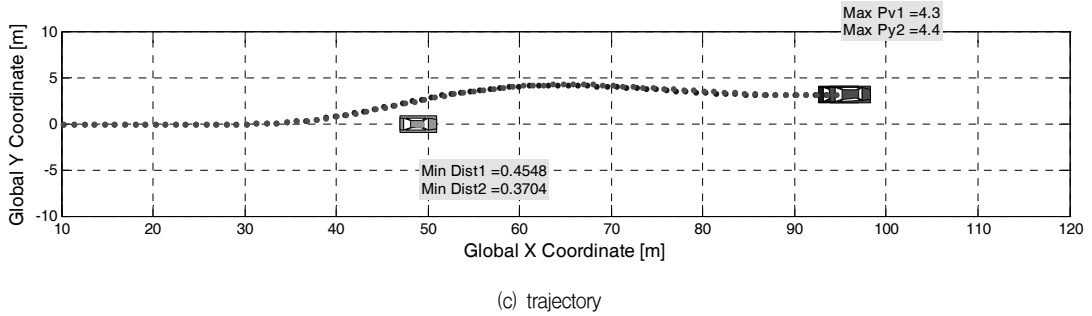
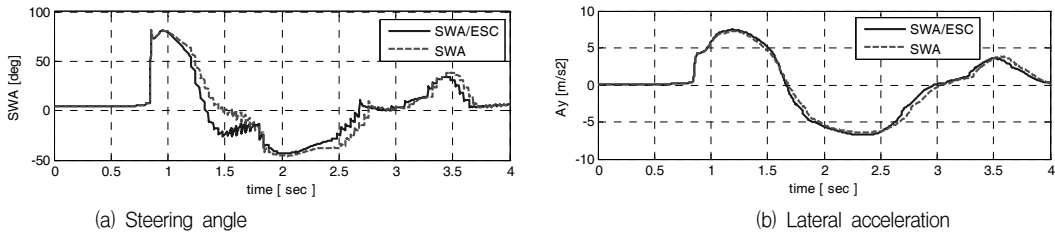


Fig. 8 Simulation result of collision avoidance using model predictive control : same direction preceding vehicle

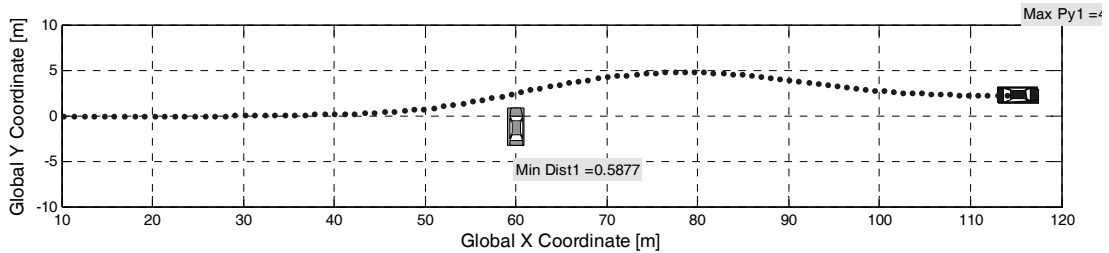


Fig. 9 Simulation result of collision avoidance using model predictive control : vertical direction preceding vehicle

확인할 수 있다.

이는 감지 성능이 확보된 어떤 전방 차량 모션에 대하여도 동일하게 적용 가능하며, Fig. 9 와 같은 수직 방향 진행 차량에 대하여도 회피 성능이 보장된다.

## 7. 결론

본 연구는 모델 기반 예측 제어를 통하여 충돌 회피 제어 알고리즘을 개발, 시뮬레이션을 통하여 성능을 확인하였다. 안전한 회피를 위한 조건을 분석하여 모델 기반 예측 제어를 위한 제한 조건을 유도하였으며, 자동 조향에 추가로 차등 제동을 활용하였다.

개발된 알고리즘은 차량 동역학 시뮬레이션 소프트웨어 CARSIM 과 MATLAB/Simulink, 그리고 공개된 최적화 툴박스인 CVXGEN 을 활용하여 시뮬레이션

되었으며, 성능을 확인하였다.

추후에는 다양한 상황에 대하여 알고리즘 성능을 확인하고 실차 시험을 수행할 계획이다.

## 후 기

이 논문은 BK21 프로그램, SNU-IAMD, 및 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임

## 참고문헌

- (1) S. Motoyama, T. Ohta, T. Watanabe, Y. Ito, "Development of Lane Departure Warning System", Proc. 7th ITS World Congress. No.

- 3270, Turin, Italy.
- (2) X. An, M. Wu, H. He, "A Novel Approach to Provide Lane Departure Warning Using Only One Forward-Looking Camera", Proc. Int. Symp. Collaborative Technologies and Systems, pp.356-362, 2006.
  - (3) S. Moon, I. Moon, and K. Yi, 2009, "Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance", Control Engineering Practice, Vol. 17, No. 4, pp.442-455.
  - (4) P. Seiler, B. Song, and J. K. Hedrick, 1998, "Development of a Collision Avoidance System", Proc. SAE Conference, pp. 97-103.
  - (5) A. Vahidi, and A. Eskandarian, 2003, "Research Advances in Intelligent Collision Avoidance and Adaptive Cruise Control", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 4, No. 3, pp.143-153.
  - (6) M. Rimini-Doering, T. Altmueller, 2005, "Effect of Lane Departure Warning on Drowsy Drivers' Performance and State in a Simulator", PROCEEDINGS of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training & Vehicle Design, pp. 88-95.
  - (7) J. Yoon, W. Cho, B. Koo, and K. Yi, 2009, "Unified chassis control for rollover prevention and lateral stability," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 58, no. 2, pp. 596-609, Feb.
  - (8) Yasuhisa Hayakawa, Kou Sato, and Masahiro Kobayashi, "Development of Blind Spot Assistance System based on Lane-marker Detection and Blind Spot Vehicle Detection", Fast-zero 2011, Tokyo, Japan, September, 2011
  - (9) JunHyung Song and WoonSung Lee, 2008, "Lane Departure Warning Based On Driver Monitoring", Proceedings of 2008 KSAE Meeting.
  - (10) W. Chee, and M. Tomizuka, 1994, "Vehicle Lane Change Maneuver In Automated Highway Systems," PATH Research Report, Department of Mechanical Engineering University of California, Berkeley, CA.
  - (11) K. Kasuya, and M. Suzuki, 2011, "Effects of Support Level of Direct Yaw Moment Control Systems on Driver's Obstacle Avoidance Behavior," FAST 2011, Tokyo, Japan.
  - (12) M. Suzuki, Y. Furukawa, 2011, "Steering Avoidance Support System by DYC Combined with Collision Mitigation Brake System," FAST 2011, Tokyo, Japan.
  - (13) S. M. Erlien, S. Fujita, J. C. Gerdes, 2013, "Safe Driving Envelopes for Shared Control of Ground Vehicles," IFAC 2013, Tokyo, Japan.
  - (14) A. Gray, Y. Gao, J. K. Hedrick, F. Borrelli, 2013, "Robust Predictive Control for Semi-Autonomous Vehicles with an Uncertain Driver Model", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Gold coast, Australia.
  - (15) J. C. Dixon, 1996, "Tires, Suspension and Handling", SAE, Inc.