*Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 3, pp.113-118 (2012)*

Copyright ⓒ 2012 KSAE / 117-16
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
**DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2012.20.3.113**

# 레이저 스캐너를 이용한 전방 충돌 예측 알고리즘 개발

**이 동 휘[1] · 한 광 진[1] · 조 상 민[2] · 김 용 선[2] · 허 건 수[*3]**

한양대학교 자동차공학과[1] · 현대자동차 기술연구소[2] · 한양대학교 미래자동차공학과[3]

# Development of a Frontal Collision Detection Algorithm Using Laser Scanners

Donghwi Lee[1] • Kwangjin Han[1] • Sangmin Cho[2] • Yongsun Kim[2] • Kunsoo Huh[*3]

[1]*Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*
[2]*R&D Center, Hyundai-Kia Motor Company, 772-1 Jangduck-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea*
[3]*Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*
***(Received 2 August 2011 / Revised 16 October 2011 / Accepted 17 October 2011)***

**Abstract** : Collision detection plays a key role in collision mitigation system. The malfunction of the collision mitigation system can result in another dangerous situation or unexpected feeling to driver and passenger. To prevent this situation, the collision time, offset, and collision decision should be determined from the appropriate collision detection algorithm. This study focuses on a method to determine the time to collision (TTC) and frontal offset (FO) between the ego vehicle and the target object. The path prediction method using the ego vehicle information is proposed to improve the accuracy of TTC and FO. The path prediction method utilizes the ego vehicle motion data for better prediction performance. The proposed algorithm is developed based on laser scanner. The performance of the proposed detection algorithm is validated in simulations and experiments.

**Key words** : Collision detection(충돌 판단), Path prediction(궤적 예측), Time to collision(충돌 시간), Frontal offset (전방 충돌 옵셋량)

## 1. 서 론

최근 자동차 제어 관련 업체는 운전자와 보행자의 안전을 위한 능동 안전 시스템을 개발하고 있다. 차선 이탈 경고 시스템, 충돌 경감 시스템, 충돌 회피 시스템과 같은 능동 안전 시스템들은 불규칙한 사고를 대비해서 작동된다.

능동 안전 시스템을 위한 충돌 정보는 많은 연구자들에 의해 수행되어왔다. Po-Jen Tu 등은 확장된 Kalman 필터와 2-stage 선형 Kalman 필터를 사용하여, 충돌 회피를 위한 반경거리와 속도, 가속도 추정 기법을 제안하였다.[1] 2002년에 Volvo가 제안한 제동에 의한 충돌회피시스템은 운전자 조작과 측정 불확실성을 고려하여 충돌의 위험을 계산한 방법이다. 이 알고리즘에서 충돌 여부(decision making)는 자차량과 가장 위험한 물체간의 상대위치의 확률밀도함수에 기반한다.[2] 이러한 여러 충돌 회피 알고리즘은 측정된 신호를 이용하여 주변을 인식하는 방법에 대한 후속 연구를 이끌어냈다. 연구들의 결과물로 Bosch는 프리크래시(precrash) 센싱 기술을 발표하였다. 이것은 근거리 레이더 센서를 통하여 차량 근처의 주변 정보를 얻은 후, 이 정보를 이용하여 차량에서 가능한 모든 기능들을 통합하여 프리크래시에 이용한 기술이다.[3] Michael Skutek은 레이저 스캐너와 근거리 레이더를 사용하여 주변을 인식하는

[*]Corresponding author, E-mail: khuh2@hanyang.ac.kr

데이터 퓨전 방법론을 제시하였다. 이 알고리즘은 차량 전방에 가상 격자를 두어 센서에서 읽어 들이는 값을 격자 내에 투영하는 방법을 택하였다.[4] 또한, Sylvia Pietzsch는 레이저 스캐너와 두 개의 근거리 레이더를 사용하여 차량 안전 시스템에 실시간으로 적용하는 실험을 수행하였다.[5]

능동 안전 시스템 중 충돌 경감 시스템은 충돌을 피할 수 없는 영역에서 작동한다. 충돌을 피할 수 없는 영역이라 함은 운전자의 조작에도 불구하고 충돌이 반드시 일어나는 영역으로 정의된다. 대부분의 자동차 관련 업체는 이 영역을 프리크래시 영역으로 정의하고 이 영역 내에서 충돌 경감 시스템이 작동한다.

충돌의 정확한 시간을 계산하기 위한 논문들이 최근에 많은 연구가 진행되고 있다.[6] 충돌 경감 시스템에서 핵심 부분은 액츄에이터 전개시간이다. 충돌 여부를 판별하고 액츄에이터를 정확하게 전개시켜야 운전자의 안전을 확보하는 동시에 불편을 줄일 수 있다. 차량 사고에서 부정확한 전개 시간은 또 다른 사고를 유발 할 수 도 있다. 예를 들어 에어백의 경우, 반드시 충돌 전 미리 결정된 순간에 정확하게 전개되어야 운전자의 피해를 줄 일 수 있지만, 실제 충돌 상황이 아닐 때에는 절대 전개되어서는 안 된다.

충돌 경감 시스템은 레이더, 비젼, 초음파 센서 등의 정보를 이용하여 충돌 물체를 감지하고 충돌 상황에 대비해 충돌회피를 위해 조향 시스템을 작동하거나 브레이크 시스템을 제어 한다.[7]

본 논문에서는 레이져 스캐너 센서를 사용한 충돌 판단 시스템을 제안하고자 한다. 자차량과 충돌 물체간의 충돌 시간과 충돌 옵셋량을 정확하게 계산하기 위해 궤적 예측 방법을 이용하였다. 궤적 예측 방법은 자차량의 운동 정보와 레이져 스캐닝 센서로부터 나오는 정보를 바탕으로 상대적으로 충돌 물체의 궤적을 예측하여 충돌 시간(Time to Collision; TTC)과 전방 충돌 옵셋량(Frontal Offset; FO)을 계산한다. 이를 바탕으로 충돌 판단 시스템은 충돌 여부를 결정하게 된다.

## 2. Path Prediction Method

궤적 예측 방법은 미사일의 목표 폭파 지점을 추정하는 분야에서 많은 연구가 진행 되었다.[8] 미사일의 궤적 예측 방법은 미사일의 종횡방향 가속도 값 및 요 운동 값이 일정하다는 가정 하에 목표 폭파 지점의 궤도를 계산하는 것이다. 본 연구에서는 미사일 궤적을 예측하는 방법을 동일하게 적용하여 물체의 궤적을 예측한다.

일반적으로, TTC와 FO를 계산하기 위해서는 자차량과 충돌 물체 간의 상대 속도 및 상대 거리를 사용한다.[9] 그러나, 상대 속도 및 상대 거리 정보만으로는 정확한 TTC와 FO를 계산하기 어렵다. 자차량과 충돌 물체 간의 충돌이 일어나는 시점까지 자차량이 가속도 및 요 운동 성분을 가진다면 상대 속도와 상대 거리만으로 계산된 TTC와 FO는 오차를 수반하게 된다. 따라서, 궤적을 예측하는 목적은 자차량의 가속도 및 요 운동 정보를 통해서 TTC와 FO의 정확도를 향상 시키는데 있다.

본 논문에서 제시하는 궤적 예측 방법은 레이져 스캐너로부터 나오는 충돌 물체 정보와 자차량의 운동 정보를 융합하여 상대적인 충돌 물체의 움직임을 예측하는 것이다. 그 이유는 TTC와 FO는 상대적인 움직임으로 계산되기 때문이다. 레이져 스캐너로부터 나오는 정보는 자차량과 충돌 물체 간의 종횡방향 각각의 상대 속도와 상대 거리로 구성되어있다. 자차량의 운동 정보로부터 나오는 정보는 자차량의 종횡방향 가속도 및 요레이트 정보로 구성 되어 있다. 충돌 물체의 가속도와 요레이트 값은 레이져 스캐너 외의 추가적인 센서 혹은 차량간 통신 외에는 정확한 값을 측정하기 어려우므로 0으로 가정한다.

궤적 예측 방법은 물체의 궤적을 병진운동과 회전운동의 조합인 2차원 평면 운동으로 나타낸다. 병진 운동의 경우 물체의 예측된 속도 값에 영향을 받고, 회전운동의 경우 물체의 예측된 진행 방향각에 영향을 받는다. 종횡방향 각각의 예측 상대 속도는 종횡방향 가속도 정보와 요레이트 정보를 조합하여 예측 시간까지를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{V}_x(t) &= V_x(t_0) + a_x(t_0) \cdot (t - t_0) \\ \widehat{V}_y(t) &= V_y(t_0) + \left(a_y(t_0) - \widehat{V}_x(t) \cdot \dot{\psi}(t_0)\right) \cdot (t - t_0) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$\widehat{V}_x(t)$ : Predicted relative longitudinal velocity at $t$

$\hat{V}_y(t)$ : Predicted relative lateral velocity at $t$

$V_x(t_0)$ : Relative longitudinal velocity at $t_0$

$V_y(t_0)$ : Relative lateral velocity at $t_0$

$a_x(t_0)$ : Ego vehicle longitudinal acceleration at $t_0$

$a_y(t_0)$ : Ego vehicle lateral acceleration at $t_0$.

예측 진행 방향각은 요레이트 값을 예측 시간까지 적분하여 얻을 수 있다.

$$\hat{\Psi}(t) = \int_{t_0}^{t} \dot{\Psi}(t_0) d\tau \tag{2}$$

여기서, $\hat{\Psi}(t)$ : Predicted yaw angle at $t$

$\dot{\Psi}(t_0)$ : Yaw rate at $t_0$.

종횡방향 각각의 궤적 예측 값은 예측된 속도 벡터 값과 진행 방향각 값을 조합하여 적분함으로써 계산된다.

$$\hat{X}(t) = X(t_0) + \int_{t_0}^{t} \hat{V}_x(\tau) \cdot \cos\hat{\Psi}(\tau) - \hat{V}_y(\tau) \cdot \sin\hat{\Psi}(\tau) d\tau \tag{3}$$

$$\hat{Y}(t) = Y(t_0) + \int_{t_0}^{t} \hat{V}_x(\tau) \cdot \sin\hat{\Psi}(\tau) + \hat{V}_y(\tau) \cdot \cos\hat{\Psi}(\tau) d\tau$$

여기서,

$X(t_0)$ : Relative longitudinal position at $t_0$

$Y(t_0)$ : Relative lateral position at $t_0$

$\hat{X}(t)$ : Predicted longitudinal position at $t$

$\hat{Y}(t)$ : Predicted lateral position at $t$.

본 논문에서는 TTC와 FO를 계산하기 위해 식 (3)을 이용한다. 식 (3)은 자차량을 기준으로 상대적으로 물체가 움직이는 궤적을 예측하는 식이다. 기존의 TTC와 FO를 계산하는 방법은 현재 시점에서 레이저 스캐너 센서로부터 얻을 수 있는 충돌 물체의 외곽 형상 점들(contour points)만을 고려하기 때문에 차량의 운동을 고려하지 못한다. 그러나 제안한 알고리즘은 차량의 운동을 고려하여 충돌 물체의 외곽 형상 점들(contour points)의 궤적을 예측하기 때문에 TTC와 FO 오차를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 궤적 예측 간격을 80ms 간격으로 정의하고 예측하고 남은 거리부터 TTC와 FO는 기존의 방법으로 보상한다. 즉, 충돌 전까지 예측된 지점과 그 지점으로부터 TTC와 FO를 기존의 방법으로 구한다.

## 3. Collision Detection

Fig. 1은 충돌 판단 시스템의 전체적인 구성을 나타내고 있다. 충돌 판단 시스템은 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째 구성은 충돌 위험성 있는 여러 물체 중 충돌 위험이 가장 높은 물체를 판별하는 부분이다. 이를 위해 충돌 확률 방법을 이용하여 확률 값이 가장 높은 물체를 TTC와 FO를 계산하기 위한 목표 물체로 선정한다.[9] 두 번째 구성은 목표 물체와 자차량 간의 TTC와 FO를 궤적 예측 방법을 이용하여 계산하는 부분이다. 세 번째 구성은 충돌 경감 시스템을 작동하기 위한 전개 시점을 결정하는 부분이다.

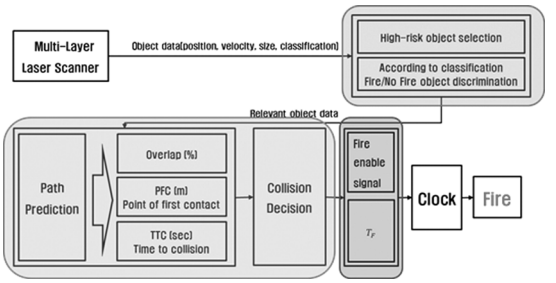


Fig. 1 The overall structure of collision detection

### 3.1 Frontal offset

충돌 옵셋량 FO는 충돌 물체와 자차량 간의 충돌 여부를 판단하는데 필요하다. TTC 값이 충돌이 발생하는 범위 내로 계산되어도 FO 값이 0으로 계산된다면 실제 충돌은 발생하지 않을 수 있다.

자차량과 충돌 물체 간의 FO는 Fig. 2와 같이 정의한다. Fig. 2의 $l_{p_obj}$ 와 $l_{p_ego}$는 FO를 구하기 위해 j번째 예측된 충돌 물체와 자차량 간의 충돌 범위를 예측된 속도 벡터의 수직 방향 평면으로 투영한 값이다. $d_{rel}$ 는 예측된 상대 속도의 비례 값으로 표현된 충돌 옵셋량을 구하기 위한 제한 범위를 나타낸다. $d_{rel}$ 는 거리단위를 갖는 변수이며, 상대속도에 시간차원을 갖는 설계변수를 곱하여 크기를 결정한다. $d_{rel}$ 의 크기를 통해서 충돌이 진행되는 동안 자차량과 충돌 물체가 겹쳐지는 부분을 예측할 수 있다. 즉, $d_{rel}$ 값이 클수록 자차량과 충돌 물체 간의 충돌의 크기는 큰 값을 가지게 된다. FO를 계산하기 위해 $l_{p_ego}$와 $d_{rel}$ 으로 결정된 직사각형 범위 내에

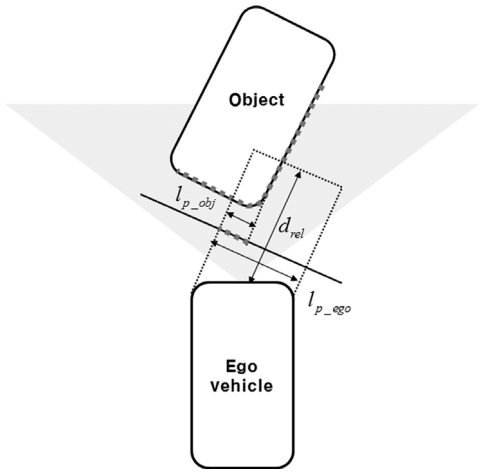


Fig. 2 The FO calculation

존재하는 충돌 물체의 외곽 형상 점들(contour points)만을 고려한다. FO는 다음 식과 같다.

$$\mathrm{FO} = \frac{l_{p_obj}}{l_{p_ego}} \tag{4}$$

### 3.2 Distance of first contact and time to collision

자차량과 충돌 물체 간의 충돌 지점은 충돌 옵셋량을 계산하는 예측된 충돌 물체의 외곽 형상 점들(contour points) 중에서 속도 벡터 방향으로 자차량의 정면 형상과 충돌 물체의 외곽 형상 점들 간의 TTC가 가장 작은 값을 갖는 점으로 판단할 수 있다. 즉, 충돌 옵셋량을 계산하는 예측된 외곽 형상 점들 중 거리가 가장 짧은 외곽 형상 점의 상대거리를 $d_{min}$으로 정의하고, 예측된 상대 속도를 $\hat{V}_{\mathrm{rel}}$로 정의하면 최소값을 갖는 $TTC_{pre}$는 다음 식과 같다.

$$\mathrm{TTC}_{pre} = \frac{d_{min}}{\widehat{V_{rel}}} \tag{5}$$

식 (5)의 경우, 예측 된 물체의 궤적 값을 통해서 $\mathrm{TTC}_{pre}$를 계산하기 때문에 예측 시간 $t_{pre}$와 예측된 개수 $j_{step}$을 고려하면 현재 위치로부터의 TTC를 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\mathrm{TTC} = \mathrm{TTC}_{pre} + t_{pre} j_{step} \tag{6}$$

여기서, $j$ : $j$-th predicted object data.

예측 시간 $t_{pre}$는 예측 시간 간격을 의미하며, $j_{step}$은 충돌 전까지 $j$번째 예측된 개수를 의미한다. 본 논문에서는 80ms 간격으로 $t_{pre}$를 설정하였으며, 충돌 전까지 예측이 5번 진행되었다면 식 (6)의 $t_{pre} j_{step}$는 400ms로 계산된다.

## 4. Simulation and Experimental Results

### 4.1 The performance of the path prediction method using experimental test

궤적 예측 방법을 검증하기 위해 실차 실험을 수행하였다. 본 실차 실험은 충돌 물체를 제외하고 자차량의 정보만을 가지고 자차량의 궤적을 예측함으로써 궤적 예측 방법의 성능을 검증하였다. 제안한 알고리즘은 충돌물체와의 상대적인 움직임을 예측하는 방법이지만 본 실차 실험은 제안한 알고리즘을 절대좌표로 사용하여 자차량의 궤적을 예측하였다. 실험 차량에는 Oxford Technical Solutions 사의 RT-3000을 장착하였다. RT-3000은 DGPS를 통해서 자차량의 위치 정보를 측정할 수 있고, 자이로 센서를 통해 차량의 종횡방향 속도, 가속도 및 요레이트를 측정할 수 있다. 정확한 속도와 요레이트 값을 얻기 위해서 차량 CAN으로부터 휠 속도 값과 요레이트 정보를 융합하여 자차량 정보로 사용하였다.

실험 주행 상황은 충돌을 회피하는 운동을 모사하기 위해 60kph 정속 주행 중 조향을 하면서 감속하도록 구현하였다. Fig. 3은 J-turn 제동 상황을 주행한 차량의 주행 정보이다. 약 27초 때 조향이 시작됨을 횡방향 가속도 값을 통해서 알 수 있으며, 29초 때 감속이 진행됨을 종방향 가속도 값을 통해서 알 수 있다. 실차 실험을 통해서 얻은 종횡방향 가속도 값은 노이즈가 많아 그대로 사용할 수 없다. 따라서 1차 저대역 필터를 통해서 가속도 값을 사용하였다. Fig. 4와 5는 예측된 궤적(0.5s 예측)과 실제 궤적과의 오차를 지역 위치 변수 X, Y로 나타낸 그래프이다. Fig. 4에서 보면, 급격히 감속이 시작되는 29초 때와 차가 완전히 정지한 33초 시점에 X 방향 궤적의 오차가 약간 발행하는 것을 볼 수 있다. 가속도가 일정한 부분에 대해서는 궤적 예측 오차가 매우 작으나, 종방향 가속도가 변하는 시점에서는 약 0.5m 미만의 오차가 발생함을 볼 수 있다. Fig. 5에서 보면 J-turn의 급격한 조향이 시작되는 27초 지점과 차가

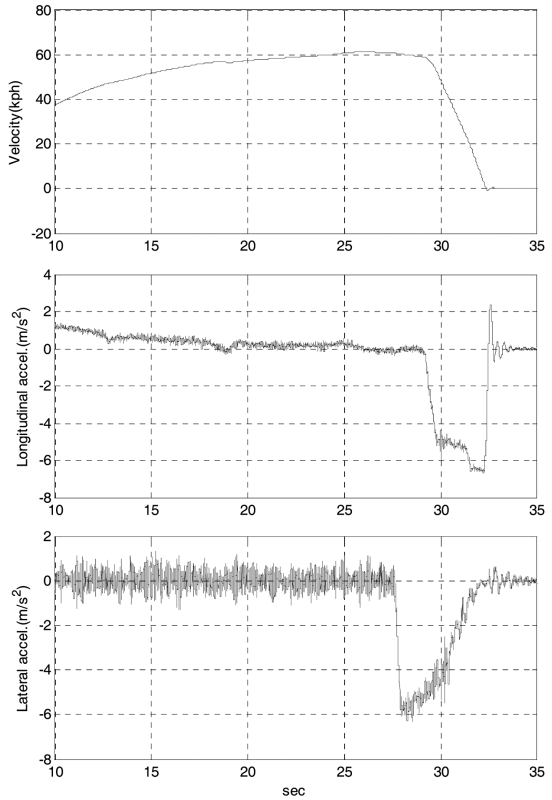


Fig. 3 The experimental test vehicle states of J-turn braking scenario

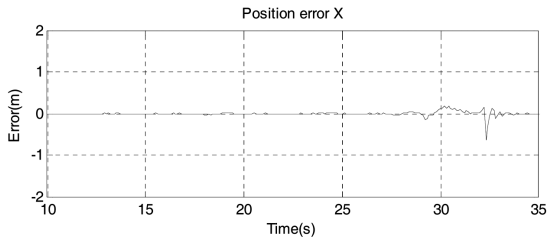


Fig. 4 Error X between measurement trajectory and predicted trajectory with 0.5s prediction time

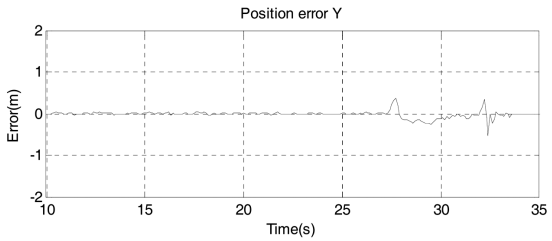


Fig. 5 Error Y between measurement trajectory and predicted trajectory with 0.5s prediction time

완전히 멈춘 33초 지점에서 약 0.5m 미만의 오차가 발생함을 알 수 있다. 궤적 예측 방법에서 예측 시간 동안의 가속도 값은 일정하다고 가정하고 예측을 하기 때문에 가속도 값이 급격하게 변하는 부분에 대해서는 오차가 발생한다. 하지만 J-turn braking의 실차 실험 결과를 통하여 프리크래시 영역에서의 적용에 어느 정도 허용가능한 작은 오차 범위 내임을 확인 하였다.

### 4.2 The collision detection results of simulation

충돌 판단 시스템의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 통해서 결과를 도출하였다. 시뮬레이션은 상용 소프트웨어인 PreScan을 사용하였다. PreScan 소프트웨어는 레이져 스캐닝 센서가 구현되어 있어 실제 레이져 스캐닝 센서와 유사한 결과값으로 처리해준다. 알고리즘 검증을 위해 사용한 시뮬레이션 상황은 자차량이 충돌 물체를 발견하고 회피주행을 시도하면서 0.79s 시점에서 충돌 물체와 충돌하는 상황이다. Fig. 6의 그래프는 기존의 TTC와 제안한 알고리즘에서 계산된 TTC를 비교한 결과이다. 점선으로 된 신호 선은 실제 충돌의 TTC를 나타내고 있으며 별 기호와 원 기호는 기존의 TTC와 본 논문에서 제안한 TTC이다. Fig. 6을 통해서 실제 TTC와 두 알고리즘을 통해서 계산된 TTC 결과가 큰 오차가 없음을 확인 할 수 있다. 본 시나리오에서는 자차량이 큰 감속을 하지 않기 때문에 TTC에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 7의 그

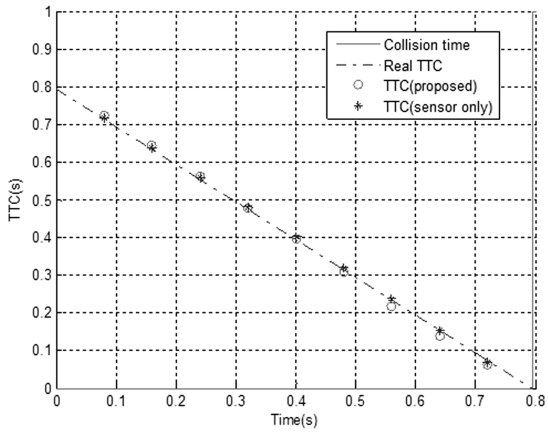


Fig. 6 Simulation results of TTC

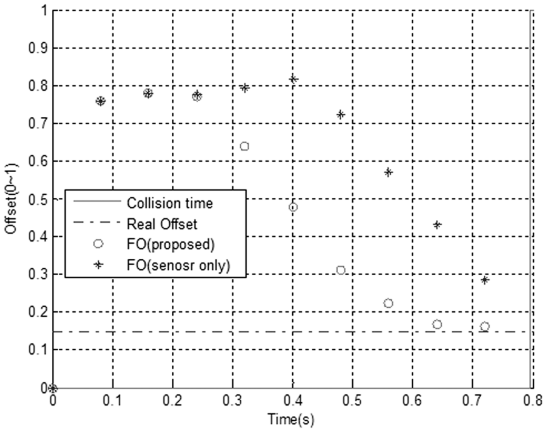


Fig. 7 Simulation results of FO

래프에서 알 수 있듯이 FO 값은 두 알고리즘에서 큰 차이를 나타냄을 확인할 수 있다. Fig. 7 그래프는 점선으로 표시된 실제 충돌 옵셋량과 기호 별로 표시된 기존의 계산으로 구한 FO, 원으로 표시된 제안한 알고리즘에서 계산된 FO이다. 그래프 결과에서 보면 제안한 알고리즘을 통해서 계산된 FO가 더 빠르게 실제 충돌 옵셋량에 접근 함을 알 수 있다. 즉, 자차량의 회전 운동을 고려한 궤적 예측 방법은 FO를 계산하기 때문에 실제 충돌 옵셋량과 오차가 매 측정 시간마다 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 자차량과 충돌 물체와의 충돌을 감지 하기 위해 레이저 스캐닝 센서 기반의 충돌 감지 시스템을 제안하였다. 레이저 스캐닝 센서의 경우 횡방향 분해능이 좋기 때문에 이를 사용함으로써 충돌 물체와의 충돌 옵셋량을 계산하는데 다른 거리 센서를 이용하는 것보다 정확성을 높일 수 있었다. 그러나 레이저 스캐너를 사용해도 자차량과 충돌 물체의 궤적을 예측하지 못한다면 충돌 옵셋량에서 큰 오차를 유발함을 알 수 있다. 이 문제를 해결 하기 위해 본 논문에서는 자차량 운동 정보 기반의 궤적 예측 방법을 제안하고 이를 바탕으로 충돌 시간, 충돌 옵셋량을 계산하는 부분에서 기존의 방법보다 오차를 줄 일 수 있었다. 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 시뮬레이션과 실차 실험을 수행하였다.

## References

1) P. J. Tu and J. F. Kiang, “Estimation on Location, Velocity, and Acceleration with High Precision for Collision Avoidance,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.2, pp.374-379, 2010.
2) J. Jansson, J. Johansson, and F. Gustafsson, “Decision Making for Collision Avoidance System,” SAE 2002-01-0403, 2002.
3) R. Moritz, “Pre-crash Sensing - Fundamental Evolution Based on Short Range Radar Sensor Platform,” SAE 00IBECD-11, 2000.
4) M. Skutek, D. T. Linzmeir, N. Appenrodt, and G. Wanielik, “A PreCrash System based on Sensor Data Fusion of Laser Scanner and Short Range Radars,” 2005 7th International Conference on IEEE Information and Fusion, pp.1287-1294, 2005.
5) S. Pietzsch, T. D. Vu, J. Burlet, O. Aycaard, T. Hackbarth, N. Appenrodt, J. Dickmann and B. Radig, “Result of a Precrash Application Based on Laser Scanner and Short-range Radars,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.4, pp.584-593, 2009.
6) K. Cho, S. B. Choi and H. Lee, “Design of an Airbag Deployment Algorithm Based on Precrash Information,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.60, No.4, pp.1438-1452, 2011.
7) P. M. Knoll, “Predictive Safety Systems: Convenience-collision Mitigation-collision Avoidance,” SAE 2006-21-0082, 2006.
8) L. P. Tsao, C. L. Chou, C. M. Chen and C. T. Chen, “Aiming Point Guidance Law for Air-to Air Missiles,” Int. J. Systems Science, Vol.29, No.2, pp.95-102, 1998.
9) M. Kohler, “Accurate PreCrash Detection,” 11th World Congress on ITS, Japan, 2004.