

교차로 주요 사고 시나리오에 대한 비전 센서와 레이더 센서의 사고 예방성능 평가

Evaluation of Accident Prevention Performance of Vision and Radar Sensor for Major Accident Scenarios in Intersection

김 예 은* · 탁 세 현** · 김 정 윤*** · 여 화 수****

* 주저자 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 석사과정
 ** 공저자 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 연구조교수
 *** 공저자 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정
 **** 교신저자 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 부교수

Yeeun Kim* · Sehyun Tak* · Jeongyun Kim* · Hwasoo Yeo*

* Dept. of Civil & Environmental Eng., KAIST

† Corresponding author : Hwasoo Yeo, hwasoo@kaist.edu

Vol.16 No.5(2017)

October, 2017

pp.96~108

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.5.96>

2017.16.5.96

Received 29 August 2017

Revised 29 September 2017

Accepted 18 October 2017

© 2017. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

기존의 첨단 운전자 지원 시스템 (Advanced Driver Assistance System, ADAS)들은 전방 위험 탐지와 같은 한정적 상황에서의 사고 예방에 집중하고 있어 다양한 사고 시나리오가 존재하는 교차로에 적용하기에는 한계를 가지고 있다. 또한 기존 연구는 주로 사고 요인 분석에 집중하고 있어 첨단 운전자 지원 시스템의 사고 예방 성능에 관한 연구는 미비한 편이다. 이에 본 연구에서는 비전 및 레이더 센서 기반 첨단 운전자 지원 시스템의 다양한 교차로 사고 예방에 대한 성능을 평가하고 대책을 마련하고자 한다. 이를 위하여 미국의 Second Strategic Highway Research Program(SHRP2)의 naturalistic driving study(NDS)에서 수집된 사고/준사고 상황의 거리 측정 데이터를 기반으로 16개의 교차로 사고 시나리오를 도출하였고, 총 363건의 차량과 차량 간 사고를 분석하였다. 분석 결과 16개의 사고 시나리오 중 0.7의 사고 예방율을 기준으로 카메라 기반 시스템은 5개, 레이더 기반 시스템은 4개의 사고 시나리오에서 사고를 예방할 수 있었다.

핵심어 : 교차로 사고, 협력형 지능형 교통 시스템, 첨단 운전자 지원 시스템, 사고 예방, 사고 시나리오

ABSTRACT

The current collision warning and avoidance system(CWAS) is one of the representative Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) that significantly contributes to improve the safety performance of a vehicle and mitigate the severity of an accident. However, current CWAS mainly have focused on preventing a forward collision in an uninterrupted flow, and the prevention performance near intersections and other various types of accident scenarios are not extensively studied. In this paper, the safety performance of Vision-Sensor (VS) and Radar-Sensor(RS) - based collision warning systems are evaluated near an intersection area with the data from Naturalistic Driving Study(NDS) of Second Strategic Highway Research Program(SHRP2). Based on the VS and RS data, we newly derived sixteen vehicle-to-vehicle accident scenarios near an intersection. Then, we evaluated the detection performance of VS and RS within the derived scenarios. The results showed that VS and RS can prevent an accident in limited situations due to their restrained

field-of-view. With an accident prevention rate of 0.7, VS and RS can prevent an accident in five and four scenarios, respectively. For an efficient accident prevention, a different system that can detect vehicles' movement with longer range than VS and RS is required as well as an algorithm that can predict the future movement of other vehicles. In order to further improve the safety performance of CWAS near intersection areas, a communication-based collision warning system such as integration algorithm of data from infrastructure and in-vehicle sensor shall be developed.

Key words : Intersection Accident, Cooperative Intelligent Transportation System, Advanced Driver Assistance System, Accident Prevention, Accident Scenario

I. 서 론

1. 개 요

운전자의 안전 및 차량의 효율 향상을 위하여 다양한 첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS)들이 개발되어져 왔다. 특히 비전 센서(vision sensor)와 레이더 센서(radar sensor) 등을 포함하는 차량 센서의 경우 괄목할만한 가격 하락 및 성능 향상이 있었다. 이에 따라 다양한 종류의 사고 경고 및 사고 예방 시스템들이 신차에 설치되는 비포마켓(before market)뿐만 아니라 모바일 아이와 같이 차량 구매이후 설치되어 운영되는 애프터마켓(after market)에서도 활발히 사용되고 있다. 이러한 첨단 운전자 지원 시스템 중에서도 자율주행 차량의 핵심 기술이라 할 수 있는 전방 충돌 경고 시스템, 보행자 충돌 경고 시스템, 긴급 제동 보조 시스템들은 현재 가장 보편적으로 적용되는 시스템으로서 도로에서의 사고 발생을 줄이는 것에 공헌을 하고 있다. 하지만 이러한 첨단 운전자 지원 시스템들은 주로 고속도로와 같은 연속류 상황을 대상으로 개발되었다. 한편 교차로와 같은 단속류의 경우, 고속도로와 달리 훨씬 다양한 사고 시나리오가 존재한다. 고속도로를 기반으로 개발된 시스템은 이 중 전방 위험 탐지 등의 한정된 상황에서만 활용 가능하다.

교차로는 도로형태별 교통사고 분류에서 단일로에 이어 두 번째로 많은 교통사고가 발생하는 곳이다(KoROAD, 2015). 하지만 현재 첨단 운전자 지원 시스템은 교차로에서 발생하는 사고를 방지하기에 충분하지 않으며, 보다 폭넓은 활용을 위해서는 교차로 사고를 예방하기 위한 기술 개발이 필요한 실정이다. 현재 교차로 사고에 대한 연구는 사고 이력 데이터를 기반으로 한 사고 요인 분석, 사고의 재발 방지를 위한 교차로 디자인, 교차로 신호 제어 방법의 변화 등과 같이 사회기반 시설 개선에 집중되어 있다. 차량내의 첨단 운전자 지원 시스템을 통한 교차로 사고 예방에 대한 연구는 상대적으로 부족한 상황이다. 차량의 교차로내 사고 예방 기술 개발을 위해서는 우선적으로 교차로 부근에서 주로 발생하는 사고 유형을 파악하는 것이 필요하다. 사고에 관여된 두 차량이 같은 방향으로 주행하는 경우 현재 시스템 활용이 가능할 것이나, 좌/우회전 등이 포함된 움직임이나 교차로 내 다른 방향에서 주행하는 경우 시스템의 성능을 보장할 수 없다. 현재 시스템의 성능이 부족할 경우, 이를 보완할 수 있도록 시스템을 발전시켜야 한다. 문제는 현재 시스템이 교차로 내의 다양한 시나리오의 사고들에서 얼마나 효과적으로 대응할 수 있는지에 대한 평가 역시 미비하다는 것이다.

이에 본 연구에서는 기존 첨단 운전자 지원 시스템이 도심지에 적용되었을 때의 기대 성능을 추정하기 위하여 크게 두 가지 연구를 수행하였다. 첫 번째로, 사고 이력 데이터를 기반으로 교차로에서 사고 시나리오를 분류하였다. 다음으로, 도출된 시나리오들을 기반으로 현재 시스템들의 안전성능을 평가하였다. 현재 첨단 운전자 지원 시스템에서 가장 많이 사용되는 센서는 비전 센서와 레이더 센서로, 시나리오 별로 각 센서

의 사고 예방 성능을 평가하였다. 본 연구의 결과물은 도심에서의 첨단 운전자 지원 시스템의 기대 성능을 추정할 수 있을 뿐 아니라 사고 예방 측면에서 각 센서의 장단점을 파악하여 이후 추가적인 사고 예방을 위한 방어시스템의 요구 성능 도출에 사용될 수 있다.

II. 선행 연구 고찰

첨단 운전자 지원 시스템은 차선 유지 보조 시스템, 충돌 예방 시스템, 보행자 보호 시스템 등 운전자의 운전에도 도움을 줄 수 있는 다양한 기능을 포함한다. 대표적인 운전자 보조 시스템의 기능 중 하나인 충돌 경고 시스템(collision warning system)은 주행 차량의 주변 물체를 탐지한 뒤 각 물체와의 충돌 가능성을 계산하여 일정 수준 이상에서 경보를 주는 형태로 구현된다. 따라서 충돌 경고 시스템의 성능은 주변 물체를 적시에 탐지할 수 있는 탐지성능에 크게 의존한다.

1. 차량 센서 기반의 충돌 경고 시스템

기존의 충돌 경고 시스템은 차량 센서를 이용하여 주변 물체를 탐지하고 있으며, 대표적으로 비전(vision) 센서와 레이더(radar) 센서가 있다. 이 중, 가장 빈번하게 사용되는 것은 카메라 센서로 대변되는 비전 센서로 높은 각 해상도 (high-angular-resolution)와 더불어 탐지된 물체를 구분하는 것에 있어 다른 센서들에 비해 월등한 성능을 보인다(Kim et al. 2016). 하지만 탐지된 물체까지의 거리 측정에 있어서는 낮은 정확도로 인한 한계가 있다. 이와 대조적으로 레이더 센서는 탐지된 물체까지의 거리와 상대속도 등 물체의 상태를 파악하는데 뛰어난 성능을 보인다. 반면 물체의 각 위치와 크기를 정확하게 파악하지 못하는 것은-기존 충돌 경고 시스템은 물체의 크기 측정을 통해 물체의 종류를 구분한다-한계점으로 작용한다(Kato et al. 2002).

2. 다중 센서 기반의 충돌 경고 시스템

단일 센서 이용은 센서 특성에서 비롯되는 한계점들이 수반되기 때문에 최근에는 두 종류 이상의 센서를 융합하여 사용하는 다중센서 활용 기술이 대두되고 있다. 대표적으로 비전 센서와 레이더 센서를 활용한 경우 각각의 센서만을 이용할 때는 얻을 수 없는 물체의 정확한 위치와 움직임 등에 대한 정보를 얻을 수 있다. Wang et al.(2011)은 단안 비전 센서(monocular vision sensor)에 밀리미터 웨이브(millimeter wave) 레이더를 융합하여 비전 센서의 문제점이었던 이미지 프로세싱 시간을 줄였으며, 그림자를 물체로 인식하는 문제점을 해결하였다. 이 알고리즘이 기계학습을 필요로 하기 때문에 Wang et al.(2014)은 같은 종류의 센서를 이용하여 실시간으로 물체를 트래킹 할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. Ćesić et al.(2016)은 레이더와 스테레오 카메라의 융합을 통해 다중 타겟(multitarget) 트래킹 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 제안하였으며 차량 주행 데이터를 이용해 알고리즘을 검증하였다.

3. 통신 기반의 충돌 경고 시스템

다중 센서를 활용한 성능 향상에도 불구하고 차량 센서만으로는 해결할 수 없는 상황들이 존재한다. 대표적인 상황으로 장애물에 가려져 있는 차량을 파악하는 것이 있으며, 시야에서 가려진 차량은 주요 사고 유발 요인 중 하나이다. 차량 센서가 가진 근본적인 한계를 극복하기 위한 노력의 일환으로, 최근에는 통신 기반

(communication-based)의 충돌 경고 시스템에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 통신 기반의 충돌 경고 시스템은 차량 간 또는 차량과 인프라 간의 통신을 통해 필요한 정보를 주고받을 수 있어 교차로와 같이 보다 복잡한 교통 상황을 다룰 수 있다. Sengupta et al.(2007)은 차량 센서 없이 차량 간 무선 통신만을 이용한 협력기반의 충돌 경고 시스템 (cooperative collision warning system) 제안하였다. 이 방법은 저비용으로 넓은 범위를 탐지할 수 있으며, 특히 시야의 사각지대에 있는 차량도 파악할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 통신 주체가 모두 이동 중인 차량 간 통신의 경우 통신 안정성이 보장되지 않는다.

차량 센서로 예방할 수 없는 사고에 효과적으로 대응할 수 있다는 점에서 충돌 경고 시스템의 발전 방향이 통신 기반으로 향하고 있음은 긍정적이다. 하지만 차량 센서 기반 시스템의 사용 없이 단독으로 사용되기엔 몇 가지 문제점이 있다. 첫 번째는 통신 지연 등 기술 문제로 인한 시스템의 불안정성이다. 충돌 경보부터 운전자의 대응이 굉장히 짧은 시간 내에 이루어지는 만큼 불안정한 통신은 큰 단점으로 작용할 수 있다. 두 번째는 시장 점유율(market penetration)로, 통신 기반 충돌 경고 시스템은 높은 시장 점유율을 요구하며, 시장 점유율이 낮은 상태에서는 정보의 부족으로 높은 효과를 기대하기 어렵다.

이러한 한계들로 인해 차량 및 기반 시설의 충분한 준비가 이루어지지 않은 상황에서 통신 기반 충돌 경고 시스템을 단독으로 사용하는 것은 높은 위험을 수반한다. 현재 상황에서는 시스템 안정성이 보장되는 차량 센서 기반 시스템의 사용이 필수적이며, 통신 기반 시스템은 차량 센서로 해결할 수 없는 문제에서 제한적으로만 활용될 수 있다.

Ⅲ. 교차로에서의 사고 및 준사고 시나리오 도출

본 장에서는 비전 센서와 레이더 센서의 성능을 평가하기 위해 사용될 다양한 교차로 내 사고/준사고 시나리오를 도출하고자 한다. 기존 교차로 내 사고 시나리오들은 자주 발생하는 몇몇 사고들에 집중되어 있으며, 빈도가 낮은 사고의 경우 상대적으로 많이 고려되지 않았다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 VTTI¹⁾에서 제공하는 주행 데이터를 기반으로 교차로 주요 사고/준사고 시나리오를 도출하였다(VTTI Data Warehouse, 2017).

1. 분석 데이터

본 연구는 VTTI에서 SHRP2²⁾의 일환으로 100대의 차량을 대상으로 실시한 NDS³⁾ 데이터를 기반으로 수행되었다. 이 데이터는 비전 센서와 레이더 센서를 통해 얻어진 두 개의 데이터세트로 분리되며, 두 데이터 세트 각각의 교차로 사고/준사고 시나리오를 분석한 뒤 종합하여 주요 시나리오를 도출하였다.

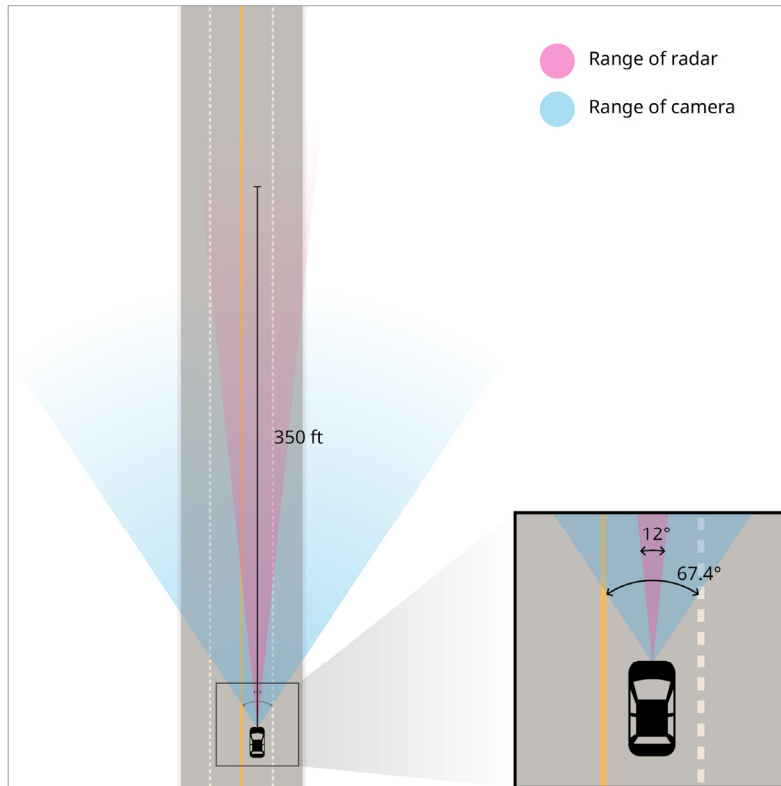
1) 비전 센서 기반 데이터

비전 센서 기반 데이터는 차량에 부착된 카메라에서 얻어진 영상과 사고에 관련된 다양한 속성을 포함하고 있다. 부착된 카메라의 사양은 초점 길이 3.6mm에 수평 시야각 67.4°로 사고 시점을 기준으로 전 20초와 후 10초가량을 포함한 30초의 영상을 제공한다. 제공된 30초의 영상 시점에 따라 차량의 GPS 속도, 가속도,

1) VTTI : Virginia tech transportation institute

2) SHRP2 : Second Strategic Highway Research Program

3) NDS : Naturalistic driving study, 일상주행연구



〈Fig. 1〉 Detection range of vision and radar sensor

각속도 등의 주행 정보를 확인할 수 있다. 속성 데이터는 사고 시점, 물체 탐지 시점, 운전자의 대응 시점 등 상황에 대한 자세한 데이터와 신호등 유무, 위법 여부 등 당시 주행 환경을 묘사하기 위한 정보를 포함하고 있다. 총 550건의 교차로 내 사고/준사고 데이터 중 주차장 내 교통사고와 같은 부적합 사례를 제외한 264건이 분석되었다.

2) 레이더 센서 기반 데이터

레이더 센서 기반 데이터는 차량에 설치된 전/후면 레이더, 수평/측면방향 가속도계, 중력가속도계, GPS 센서를 통해 얻어진 데이터로 구성되어있다. 이 데이터세트는 차량의 GPS 속도, 각속도, 가속도 등의 시계열 데이터와 목표물에 대한 정보를 포함하고 있다. 목표물 탐지는 전/후면 레이더를 통해 이루어지며, 수평 시야각 12°로 평균 350ft, 최대 500ft 거리에 있는 물체를 동시에 일곱 개까지 탐지 가능하다. 각 목표물들에 대해 주행차량을 기준으로 한 거리, 상대속도, 방위각 등이 측정되며 이렇게 탐지된 목표물들과 주행 차량의 시계열 데이터는 사고 시점을 기준으로 전 30초와 후 10초가량을 포함한 40초가량에 대해 제공된다. 전체 68건의 사고와 760건의 준사고 데이터 중 교차로 내에서 발생한 사고는 130건이었으며, 이 중 데이터 손실이 없는 99건이 분석에 사용되었다. <Fig. 1>은 비전 센서와 레이더 센서의 사양을 바탕으로 탐지 가능 범위를 표현한 그림이다.

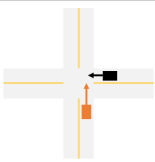
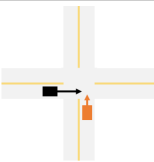
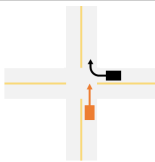
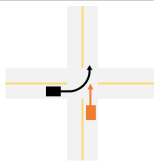
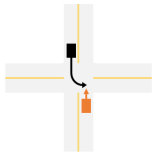
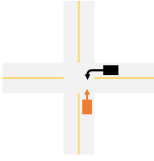
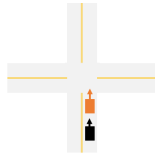
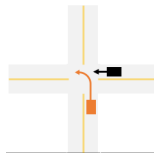
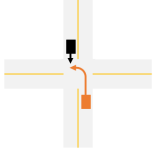
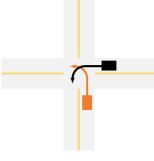
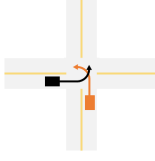
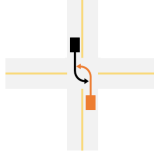
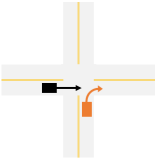
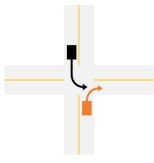
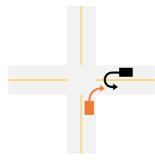
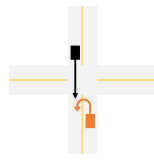
2. 교차로에서의 차량 간 사고/준사고 시나리오 도출

비전 센서 및 레이더 센서를 통해 얻어진 363건의 교차로 사고/준사고를 이용하여 총 16개의 차량 간 사고 시나리오를 도출하였다. 시나리오 도출은 크게 두 단계를 통해 이루어졌다. 첫 단계에서는 주행차량(subject vehicle, SV)과 상대차량(opponent vehicle, OV)의 움직임을 기준으로 사고 상황을 분류하였는데, 이 때 일차적으로 34개의 시나리오가 도출되었다. 한편 상대차량의 움직임이 다름에도 주행차량에 탑재된 센서를 통해 얻어진 데이터의 패턴이 비슷한 경우가 있었는데, 본 연구의 주요 목표인 비전 센서와 레이더 센서의 성능 평가에 있어 이러한 시나리오들의 구분은 큰 의미를 갖지 않는다. 이에 따라 두 번째 단계에서 데이터 패턴이 비슷한 시나리오들을 통합하였고, 최종적으로 16개의 시나리오가 도출되었다. 본 연구에서 도출된 시나리오는 <Fig. 2>에서 확인할 수 있으며, 주행차량의 움직임을 기준으로 직진 상황 7개, 좌/우회전 상황 8개, 유턴상황 1개가 포함되어 있다. 도출된 16개의 시나리오 중 9개의 시나리오는 선행연구들에서 제시된 적이 있다. 좌회전 시나리오 3개 (V10-12), 우회전 시나리오 3개 (V13-15)와 유턴 시나리오(V16)의 총 7개 시나리오가 본 연구에서 새로 제시되었다(Fuerstenberg, 2005; Fuerstenberg and Roessler, 2006; Goldhammer et al., 2012; Ibanez-Guzman et al., 2010).

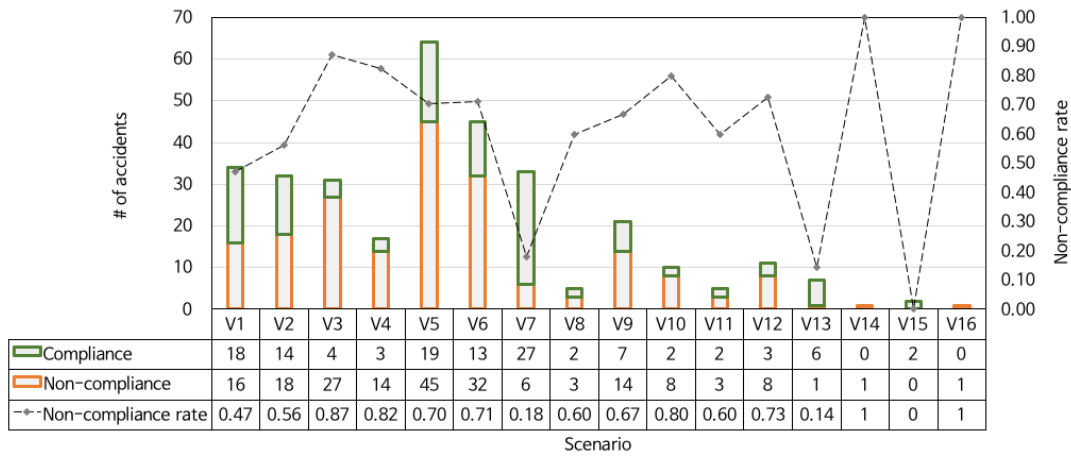
선행 연구에서 사용된 사고 시나리오들이 주로 주행차량이 직진하는 상황에 집중했던 것에 비해 본 연구에서 도출된 시나리오들은 보다 다양한 상황들을 포함한다. 시나리오별 사고 건수는 <Fig. 3>에서 확인할 수 있는데, 주행차량이 직진하는 상황에서 관측된 사고들이 주를 이루며, 유턴의 경우 관측된 사고는 매우 드물게 나타난다.

한편 효과적인 충돌 경고 시스템을 구현하기 위해서는 주행차량과 사고유발 가능 차량을 식별하는 것이 중요하다. 주요 사고 원인이 주행차량의 부주의 혹은 범규 미준수인 경우 주행 차량에게 경고를 주는 것을 통해 상대적으로 간편하게 사고 예방책을 세울 수 있다. 하지만 상대차량의 범규미준수로 발생하는 사고들의 경우 전자에 비해 복잡한 과정이 필요하다. 우선 탐지된 차량들 중 범규를 위반할 가능성이 높은 차량을 선별해야만 하며, 이후 차량들의 움직임을 예측하고, 그에 따라 주행차량을 제어해야 한다. 충돌 경고를 주기 위한 절차상 복잡도가 현저히 차이 나기 때문에 상대차량이 사고를 유발한 경우의 사고들은 좀 더 주의 깊게 다루어져야만 한다.

따라서 상대차량이 범규를 준수하지 않은 경우 사고유발차량이라는 가정 하에 상대차량의 범규 준수/미준수 현황을 분석하였다. 비전 센서 데이터의 경우 주행차량의 위법 여부가 명시되어있다. 주행차량이 위법이 아닌 경우 상대차량이 범규를 미준수한 것으로 판단하여 분석하였다. 레이더 센서 데이터의 경우 사고 상세 설명을 기반으로 상대차량의 범규 미준수 여부를 판별하였다. 이에 따른 분석 결과는 <Fig. 3>에서 확인할 수 있다. 막대그래프를 통해 시나리오별 비전 센서 데이터와 레이더 센서 데이터를 종합한 사고 건수 및 상대차량의 범규 준수/미준수 현황을 보여준다. 또한 시나리오별 전체 사고 건수와 상대차량이 범규를 위반한 사고 건수 비율로 범규 미준수율 (Non-compliance rate)을 산출하였고, 이를 꺾은선 그래프로 나타내었다. 0.7을 기준으로 총 여덟 개의 시나리오가 기준 수치 이상의 값을 보였다. 이들 중 사고 빈도가 높은 시나리오 세 개는 V3, V5, V6로 상대차량이 주행차량의 주행방향으로 회전하는 상황에서 발생한다. 이러한 사고들은 주로 정면충돌이나 측면 직각 충돌 등의 심각한 사고로 이어질 확률이 높기 때문에 특별히 주의가 필요하다.

V1	V2	V3	V4
			
Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle coming from the right side	Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle coming from the left side	Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle turning right from the right side of the subject vehicle	Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle turning left from the left side of the subject vehicle
V5	V6	V7	V8
			
Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle turning left from the opposite side of the subject vehicle	Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle turning left from the right side of the subject vehicle	Subject vehicle going straight forward, opponent vehicle coming from the behind (Rear-end collision)	Subject vehicle turning left, opponent vehicle coming from the right side of the subject vehicle
V9	V10	V11	V12
			
Subject vehicle turning left, opponent vehicle coming from the opposite side of the subject vehicle	Subject vehicle turning left, opponent vehicle turning left from the right side of the subject vehicle	Subject vehicle turning left, opponent vehicle turning left from the left side of the subject vehicle	Subject vehicle turning left, opponent vehicle turning left from the opposite side of the subject vehicle
V13	V14	V15	V16
			
Subject vehicle turning right, opponent vehicle going straight forward from the left side of the subject vehicle	Subject vehicle turning right, opponent vehicle turning left from the opposite side of the subject vehicle	Subject vehicle turning right, opponent vehicle making U-turn from the right side of the subject vehicle	Subject vehicle making U-turn, opponent vehicle going straight from the opposite side of the subject vehicle

〈Fig. 2〉 Major intersection accident scenarios



〈Fig. 3〉 Compliance status of opponent vehicle by vehicle-to-vehicle scenario

IV. 사고 데이터를 기반으로 한 센서 성능 분석

본 장에서는 III장에서 도출된 교차로 시나리오별로 비전 센서와 레이더 센서가 사고 예방에 있어 어느 정도의 효용을 가지고 있는지 파악하고자 한다. 이를 정량적으로 평가하기 위한 지표로 차량의 최소정지거리(minimum stopping distance)를 기반으로 사고예방거리(safety-remaining distance, SRD)를 산출하였으며, 사고예방거리에 따라 시나리오별 센서 성능을 평가하였다.

1. 분석방법론

각 센서가 시나리오에 따라 사고를 얼마나 예방할 수 있는지 파악하기 위한 정량적 지표로 본 연구에서는 사고예방거리를 사용하였다. 사고예방거리는 상대차량을 탐지한 시점에 사고 지점까지 남은 거리(D_r)와 최소정지거리(D_s)의 차로 계산되며, 최소정지거리는 운전자 반응시간 동안 이동한 거리와 주행차량이 최대감속도로 감속할 때 제동거리의 합으로 결정된다. 사고예방거리는 다음과 같이 정의된다.

$$SRD = D_r - D_s \quad (1)$$

$$D_s = \frac{v_{t_2}^2 - v_{t_1}^2}{2a_{\max}} + v_{t_1}t_{react} \quad (2)$$

$$D_{rv} = \frac{v_{t_1} + v_{t_2}}{2}(t_2 - t_1) \quad (3)$$

$$D_{rr} = s \cos \theta \quad (at \ t_1) \quad (4)$$

여기서, t_1 : 주행차량이 상대차량을 감지한 시점

t_2 : 사고 시점

v_{t_1} : t_1 에서 주행차량의 속도

v_{t_2} : t_2 에서 주행차량의 속도

a_{\max} : 차량 최대 감속도 ($20ft/s^2$ 으로 고정)

t_{react} : 운전자 반응시간

D_{rv} : 비전 센서를 통해 측정한 사고 지점까지 남은 거리

D_{rr} : 레이더 센서를 통해 측정한 사고 지점까지 남은 거리

위 계산을 통해 얻어진 사고예방거리가 0보다 클 경우, 이는 주행차량이 사고 발생 전에 정지할 수 있음을 의미한다. 이 경우 사고 예방이 가능하다고 간주하였으며, 시나리오별로 전체 사고의 70% 이상이 예방 가능한 경우 그 시나리오에 대해 센서 성능이 충분히 높다고 판단하였다. 센서의 성능 평가는 자동 제동 모드와 수동 제동 모드 두 상황에 대해 이루어졌는데, 운전자의 반응시간을 다르게 설정하는 것으로 두 상황을 구분하였다. 각 상황에서 반응시간은 1초와 2.5초로 결정하였다.

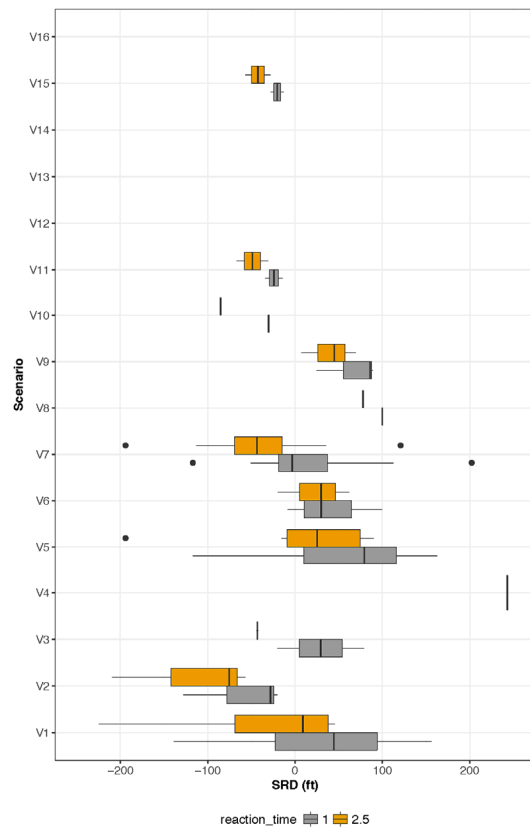
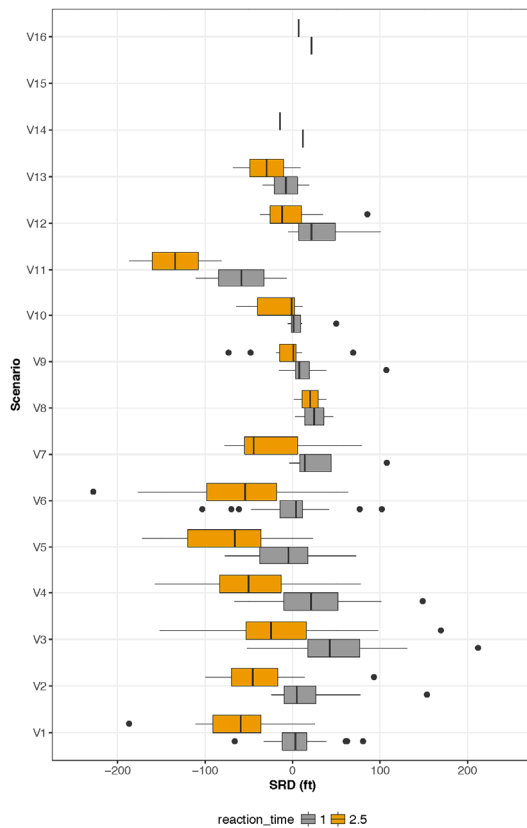
한편 비전 센서와 레이더 센서가 취득할 수 있는 정보 구성에 차이가 있기 때문에 사고 지점까지 남은 거리는 센서 종류에 따라 다른 방법으로 구하였다. 레이더 센서는 주행차량으로부터 상대 차량까지의 거리와 각도 측정이 가능하다. 두 차량이 교차로 내에 있으므로 직각좌표계 상에서 움직인다는 가정 하에 수식 (4)와 같이 계산하였다. 하지만 비전 센서의 경우 수식 (4)에 필요한 충분한 정보를 얻을 수 없기 때문에 수식 (3)과 같이 탐지시점에서 사고지점까지의 평균속도를 이용하여 거리를 추산하였다.

2. 결과 분석

16개의 시나리오에 대해 사고예방거리를 기준으로 비전 센서와 레이더 센서의 성능을 평가하였으며, <Fig. 4>와 <Fig. 5>에서 자동 제동 모드와 수동 제동 모드 각각에 대해 분석 결과를 확인할 수 있다. 수동제동모드의 경우 대부분의 시나리오에서 사고예방거리가 0 이하의 값을 갖는 것으로 보아 두 센서 모두 사고 예방에 활용하기에는 다소 부족하다고 판단된다. 비전 센서를 통해서만 하나의 시나리오, 레이더 센서를 통해서만 세 개의 시나리오에서 사고 예방이 가능하며, 이마저도 사고 빈도 측면에 있어서 중요도가 떨어지는 시나리오들이다. 자동 제동 모드에서는 비전 센서와 레이더 센서를 통해 각각 다섯 개와 네 개의 시나리오에서 사고를 예방할 수 있으며 수동 제동 모드에 비해 상대적으로 높은 성능을 보인다. 두 센서를 함께 사용하면 세 시나리오 V3, V9, V12에 대해서는 80% 이상의 사고를 예방 하는 것도 가능하다.

시스템 차원의 자세한 분석을 위하여 추가적으로 자동 제동 모드에서 시나리오별 사고 예방율 분석을 시행하였다. 사고 예방율은 각 센서를 이용한 충돌 경고 시스템이 얼마나 효과적으로 사고를 예방할 수 있는지 측정하기 위하여 사용된 지표로 시나리오별 전체 사고 건수 중 사고예방거리가 0 이상인 사고 건수의 비율로 계산된다. 분석 결과는 <Fig. 6>을 통해 확인할 수 있다.

사고 예방율 0.7을 기준으로 두 센서의 성능을 평가할 경우, 비전 센서는 시나리오 V3, V9, V12, V14와 V16의 예방에 충분한 가능성을 보였다. 반면 사고 예방율이 0.5 이하인 시나리오 V2, V5, V6, V11, V13에 대해서는 거의 기능을 하지 못한다고 판단할 수 있다. 비전 센서가 이 시나리오들에 취약한 이유는 기본적으로 카메라의 시야가 차량 전면에 국한되어 있기 때문이다. 시야각이 일정하기 때문에 근거리에서는 필연적으로 탐지 범위가 좁아지는데 이 때문에 V2, V11, V13처럼 상대차량이 주행차량의 좌측에서 주행하는 경우에는 탐지가 더욱 어렵다. <Fig. 6>에서 확인할 수 있듯이 세 시나리오의 사고 예방율은 상대차량이 우측에서 접근하는 시나리오 V6에 비해 현저히 낮다. 상대차량이 우측에서 접근하는 시나리오들은 상대적으로 사고 예방율이 높은 편이다. 예외적으로 V6만이 사고 예방율 0.5 이하를 기록했는데, 이는 상대차량이 주행차량 쪽으로 움직이기 때문에 탐지 이후 사고 지점까지 남은 거리가 빠르게 줄어들기 때문이다. 한편 시나리오 V5은 조금 다른 이유로 상대차량의 탐지가 늦어진다. 교차로 반대편에서 좌회전하는 차량의 경우 첫 번째 신호

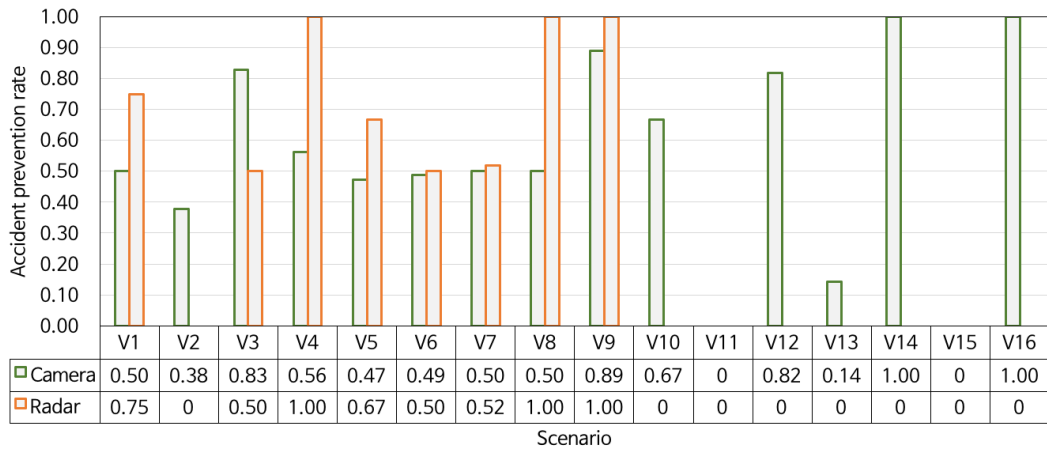


〈Fig. 4〉 SRD of accidents obtained by vision sensor 〈Fig. 5〉 SRD of accidents obtained by radar sensor

대기 차량을 제외하고는 다른 차량에 가려져 있다. 따라서 상대차량이 충분히 탐지 가능한 범위 내에 있음에도 사고유발차량으로 탐지하기까지 오랜 시간이 소요된다.

레이더 센서를 이용했을 경우 시나리오 V1, V4, V8과 V9의 사고 예방율이 0.7 이상을 기록했다. 레이더 센서는 차량 전/후면의 좁은 시야만을 관측할 수 있는데, 그렇기 때문에 주행차량과 직선상에 있지 않은 차량들을 탐지할 수 있는 확률은 현저히 낮다. 사용된 데이터에서 모든 차량들은 우측통행으로 진행하고 있기 때문에 좌측에서 접근하는 차량에 비해 우측에서 접근하는 차량을 더 높은 확률로 탐지할 수 있다. 이러한 이유로 시나리오 V1과 V2, V8과 V11은 사고 상황 자체는 유사하지만 상대차량의 위치에 따라 사고 예방율이 크게 차이난다. 한편 상대차량이 우측에서 접근하고 있음에도 사고 예방율이 낮은 시나리오들이 있다. V10과 V15가 이러한 경우인데, 주행차량이 상대차량의 반대편으로 회전하며 측정 범위가 좁아지는 것이 주된 요인이다.

주요 분석사항인 상대차량의 범규 미준수율과 시나리오별 사고 예방율을 요약하여 <Table 1>에 나타내었다. 표의 두 번째 열에서 ‘V’ 또는 ‘R’이라 표시되어 있는 시나리오는 각각 비전 센서, 레이더 센서를 이용하였을 때 사고 예방율이 0.7 이상임을 의미한다. 두 센서를 모두 이용할 경우 절반가량의 시나리오가 0.7 이상의 사고 예방율로 예방 가능하다. 하지만 이 결과는 특히 주의가 필요한 상대차량 미준수율이 높은 시나리오의 절반 정도만을 포함하고 있다. 또한 V5과 V6처럼 빈도가 높은 사고를 예방할 수 없다는 점에서 여전히 한계를 보인다.



〈Fig. 6〉 Accident prevention rate of each system by scenario

〈Table 1〉 Collision avoidance performance by vehicle-to-vehicle scenarios

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
Non-compliance rate ≥ 0.7			○	○	○	○				○		○		○		○
Accident prevention rate ≥ 0.7	R		V	R				R	R,V			V		V		V

V. 결 론

본 논문에서는 VTTI에서 제공하는 일상주행연구 데이터를 기반으로 수행되었다. 총 363건의 교차로 내 사고/준사고를 분류하여 16개의 시나리오를 도출하였다. 주행차량 움직임을 기준으로 직진상황 7개, 좌회전 5개, 우회전 3개, 유턴 1개의 시나리오가 도출되었으며, 주행차량 직진상황의 사고 시나리오들이 높은 빈도를 보였다. 이 시나리오들 중 사고 유발 요인이 상대차량의 법규 위반일 경우 더 복잡한 출돌 정보 시스템이 필요하다. 이에 따라 시나리오별로 상대차량 법규 미준수율을 분석하였다. 법규 미준수율이 0.7 이상인 시나리오는 총 8개였으며, 이 시나리오들의 경우 다른 시나리오들보다 주의 깊게 다루어져야만 한다.

16개의 사고 시나리오를 기반으로 차량 충돌 정보 시스템에서 가장 많이 사용되는 비전 센서와 레이더 센서의 탐지 성능을 평가하였다. 각각의 사고에서 상대차량을 탐지한 시점에서 사고지점까지 남은 거리와 최소 정지거리의 차로 사고예방거리를 계산하였으며, 사고예방거리가 0 이하일 경우 사고 예방이 불가능하다고 판단하여 사고 예방율을 계산하였다. 자동 제도 모드에서 사고 예방율 0.7을 기준으로 비전 센서는 5개, 레이더 센서는 4개의 시나리오에서 사고 예방이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 기존 선행연구들에서 제시된 교차로 사고 시나리오들에 비해 다양한 상황을 고려하였으며, 상대차량의 법규 미준수율 분석을 통해 충돌 정보 시스템 개발 과정에서 주의해야 할 시나리오 8개를 선별하였다. 기존 충돌 정보 시스템은 이 중 5개 예방이 가능하지만 사고 예방이 불가능한 나머지 3개의 시나리오 중 V5, 6의 경우 사고 빈도 측면에서 주의해야 할 시나리오이다. 사고 예방율이 낮은 시나리오들을 분석한 결과 대부분의 사고들은 비전 센서와 레이더 센서의 제한된 시야각으로 인해 탐지가 불가능했다. 또한

다른 차량 등 장애물에 가려진 상대차량을 탐지하지 못하는 것 역시 문제가 되었다. 본 연구에서 제시한 결과는 향후 충돌 경보 시스템의 실용적인 설계에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

이를 위하여 첫 번째로 비전 센서와 레이더 센서의 최적 탐지 범위 도출이 필요하다. 연구 결과에 따르면 다양한 교차로 사고 시나리오를 예방하기 위해서는 비전 센서와 레이더 센서의 탐지 범위를 넓히거나 통신 기반 충돌 방지 시스템을 활용하는 등의 방안을 통한 개선이 필요하다. 향후 사고 예방율을 최대화 할 수 있는 센서 탐지 범위 결정에 관한 연구를 진행할 예정이다. 또한 센서 탐지 범위 향상에도 불구하고 예방할 수 없는 사고들을 위한 통신 기반 시스템의 발전 방향 역시 연구가 필요하다.

한편 본 연구에서 사용된 데이터는 미국에서 얻어진 데이터로 신호 및 도로 체계 등의 차이로 인해 국내 사고 현황과는 차이가 날 수 있다. 예를 들어, V5와 V9의 경우 각각 주행차량 직진, 좌회전 상황에서 가장 높은 사고 빈도를 보였는데 이는 미국에서 일반적으로 시행하는 비보호 좌회전의 영향이 크다. 국내에서 주행하는 차량에 도움을 주기 위해서는 국내 상황에 맞는 시나리오 분류가 필요하다. 향후 도출된 16개 시나리오를 기반으로 국내사고데이터를 분류하여 시나리오별 중요도를 재설정하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구과제는 산업통상자원부 연구과제(과제 ID: 10063147, 과제 이름: 계층적 단계의 안전 구조를 기반으로 한 교차로 충돌 방지 시스템)와 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업(No. NRF-2016R1A6A3A01006467)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Ćesić J., Marković I., Cvišić I. and Petrović I.(2016), "Radar and stereo vision fusion for multitarget tracking on the special Euclidean group," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 83, pp.338-348.
- Fuerstenberg K. C. and Roessler B.(2006), "Advanced intersection safety-The EC project INTERSAFE," 2006 *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.89-93.
- Fuerstenberg K. C.(2005), "A new European approach for intersection safety-the EC-Project INTERSAFE," *Proceedings on 2005 Intelligent Transportation Systems*, September, pp.432-436.
- Goldhammer M., Strigel E., Meissner D., Brunsmann U., Doll K. and Dietmayer K.(2012), "Cooperative multi sensor network for traffic safety applications at intersections," 2012 15th International IEEE Conference on *Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp.1178-1183.
- Ibanez-Guzman J., Lefevre S., Mokkadem A. and Rodhaim S.(2010), "Vehicle to vehicle communications applied to road intersection safety, field results," 2010 13th International IEEE Conference on *Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp.192-197.
- Kato T., Ninomiya Y. and Masaki I.(2002), "An obstacle detection method by fusion of radar and motion stereo," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 3, pp.182-188.
- Kim S., Kim H., Yoo W. and Huh K.(2016), "Sensor fusion algorithm design in detecting vehicles

using laser scanner and stereo vision,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 4, pp.1072-1084.

KoROAD(2015), <http://taas.koroad.or.kr>.

Sengupta R., Rezaei S., Shladover S. E., Cody D., Dickey S. and Krishnan H.(2007), “Cooperative collision warning systems: Concept definition and experimental implementation,” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 3, pp.143-155.

VTTI Data Warehouse, <http://forums.vtti.vt.edu>, 2017.08.24.

Wang T., Zheng N., Xin J. and Ma Z.(2011), “Integrating millimeter wave radar with a monocular vision sensor for on-road obstacle detection applications,” *Sensors*, vol. 11, no. 9, pp.8992-9008.

Wang X., Xu L., Sun H., Xin J. and Zheng N.(2014), “Bionic vision inspired on-road obstacle detection and tracking using radar and visual information,” *2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, pp.39-44.