

정밀도로지도를 활용한 차로 이탈 경고장치 평가 방안에 관한 연구*

이정욱¹ · 김덕호^{2*}

A Study on the Evaluation Method of Lane Departure Warning System Using High-precision Maps*

Jung-Uck LEE¹ · Duck-Ho KIM^{2*}

요 약

본 연구에서는 정밀도로지도를 활용하여 자동차의 거동 정보와 정밀도로지도의 위치 관계를 계산하여 차로 이탈 경고장치의 성능을 평가하는 방법론을 도출하였다. 한국의 노면 표시 설치에 대한 기준과 차로 이탈 경고장치의 평가 기준에 대한 분석을 하고, 평가 기준에 맞는 정밀도로지도의 구축하고 평가 장치를 구성하여 제안한 방법론에 대한 시험을 통해 제안한 방법론에 대한 검증 실시하였다. 정밀도로지도를 활용한 차로 이탈 경고장치의 평가는 정밀도로지도와 정밀차량 위치를 이용한 데이터추적, 실시간 데이터 처리 및 이탈 판단 확인 절차 수행만으로 평가가 가능하고 다양한 도로 환경에 적용 가능하다.

주요어 : 정밀도로지도, 차선이탈경고, 차선, 능동안전지원

ABSTRACT

This study presented a methodology for evaluating the performance of the lane departure warning system was derived by calculating the relationship between the behavior information of the car and the location of the high-precision map using a high-precision map. The evaluation criteria of the mood and lane departure warning system for the installation of road markings in Korea were analyzed, a high-precision map was constructed to meet the evaluation criteria, and an evaluation system was constructed to verify the proposed methodology. Evaluation of lane departure warning

2022년 10월 27일 접수 Received on October 27, 2022 / 2022년 12월 12일 수정 Revised on December 12, 2022 / 2022년 12월 13일 심사완료 Accepted on December 13, 2022

* 이 논문은 2022년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021C28S02000, 협력적 교통제어전략 도입을 위한 교통정보 음영공간 정보 생성 및 운영관리 기술개발)

1 한국자동차연구원, 수석연구원 / Senior Researcher, Korea Automotive Technology Institute

2 한국자동차연구원, 선임연구원 / Senior Researcher, Korea Automotive Technology Institute

※ Corresponding Author E-mail: dhkim2@katech.re.kr

systems using high-precision maps can be quantified and applied to various road environments through accurate location-based comparative analysis and reduced manual post-processing work time to confirm evaluation results.

KEYWORDS : HD-Map, Lane Departure warning, Lane, Active Safety Supports

연구 방법 및 동향

서 론

유럽, 미국, 일본 등을 중심으로 자동차의 안전규제가 강화되면서 능동 안전장치 의 의무 장착이 법제화되고 일반도로에서의 자율주행 자동차의 실증 시험이 가능하도록 허가해 주고 있다. 차로 이탈 경고장치는 상용차를 대상으로 일본, 유럽, 미국, 한국 등에서 이미 의무 장착이 시행되고 있고 승용차에 대해서도 안전도 평가에서 가산점을 부여하고 있다.

차로 이탈 경고장치의 의무 장착 확대로 각 국가에서는 성능 평가를 위한 기준을 마련하였으며, 관련 국제 표준도 제정되었다. 국가마다 도로 환경 여건이 다르기 때문에 구체적인 평가의 기준은 국가별로 조금씩 차이를 보이고 있다.

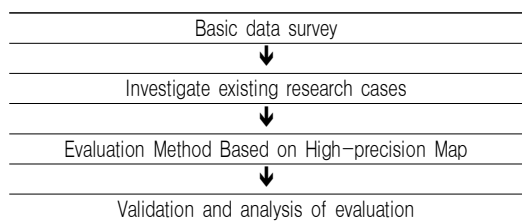
자율주행 기술의 신뢰성 확보 및 일관성을 유지하기 위해 정밀도로지도를 활용하는 방안에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 차로 이탈 경고장치는 도로상의 차선을 인식하고 자동차와 차선의 위치 관계에 계산하여 상황에 따른 경고를 하게 되는데, 자율주행용 정밀도로지도는 도로의 차선 관련 위치 정보와 속성 정보를 모두 포함하고 있다. 차로 이탈 은 자율주행의 기본 기술로 차선 유지, 차선 변경 등 자율주행 핵심 기능으로 진화하게 된다.

본 연구는 정밀도로지도를 활용하여 차로 이탈 경고장치의 평가 방안을 설계하기 위한 목적으로 연구를 수행하였다. 따라서 차로 이탈 경고장치 평가를 위한 차선에 대한 정밀도로지도의 구성 방안과 평가 환경을 제시하고, 연구 대상 지역에 대한 시험 지도를 구축하여 평가 방안에 대한 검증 및 분석을 수행하였다.

1. 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 각 국가별 차로 이탈 경고장치의 평가 기준 및 국제 표준, 정밀도로지도 관련 국제 표준 및 관련 자료에 대한 기초자료에 대한 조사를 수행하였다. 이를 위해 유럽, 미국, 한국, 국제 표준 등의 차로 이탈 경고장치 평가 기준, 한국의 도로 노면 표시 기준, 기존 연구 사례 분석을 진행하고, 평가 기준 및 노면 설치 기준 분석을 통해 정밀도로지도 구성 방안을 연구하고 시험 평가 환경 설계를 수행하였다. 정밀도로지도 설계 사양에 따라 연구 지역의 정밀도로지도 시험 데이터를 구축하고 시험 평가 환경에 정밀도로지도를 탑재하여 국토교통부의 평가 기준에 적용하여 평가 방안에 대한 검증 및 분석을 통해 결론을 도출하였다.

TABLE 1. Research flow chart



2. 선행연구 및 배경이론 고찰

차로 이탈 경고장치의 평가 방안 도출을 위해 차로 이탈 경고장치의 평가와 관련된 연구사례들을 분석하였다. 또한, 유럽, 한국, 미국, 국제 표준 등에서 정의하고 있는 차선일탈경고장치의 평가 기준에 대해 분석하였다. 도로교통법시행규칙에서 정의하고 있는 차선 관련 노면 표시 설치 기준을 분석하였다.

1) 선행연구

차로 이탈 경고장치는 운전자가 부주의한 상황에서 차차가 이탈하는 상황을 예방하기 위해 운전자에게 경보를 보냄으로써 운전자의 경각심을 고취시키려는 기술이다. 이러한 차로 이탈 경고장치의 평가와 관련한 연구 사례를 조사한 결과 영상 기반의 차로 이탈 경고 평가 방안, 위치 측위 기반 차로 이탈 경고장치 평가 방안으로 분류할 수 있다.

Choi(2010)의 연구에서는 승용차용 차로 이탈 경고장치의 성능 시험방법에 있어서 차량 이탈 경고장치의 표준화 동향을 정리하고 도로 및 환경 조건에 따른 시험방법을 제시하였다. 그러나 승용차에 장착된 차선이탈 경고장치의 자체 성능을 평가하는 시험 방법보다는 주행 시 외부 조건인 도로 및 환경 조건을 정의하고 이에 따른 작동 시험 방법을 표준안으로 제안하였다. Kim and Jun(2014)의 연구에서는 차량 외부에 부착된 4대의 카메라를 이용하여 취득한 영상을 처리하여 차선 유지 지원 장치의 동작 성능을 평가하는 방법을 제시하였다. Kim *et al.* (2014)의 연구에서는 고속도로에서 차로 이탈 경고장치의 효율성을 높이기 위해 DGPS/RTK 정밀 위치 인식 방법을 기반으로 하는 차로 이탈 경고장치의 오작동 주행 평가를 수행하는 방법을 제시하였다.

위와 같이 선행연구에서 제시한 평가 방안은 영상 기반의 경우 영상처리나 패턴인식을 이용하여 차선의 직선을 검출하는 방안을 제시하여 우수한 결과를 도출 하였지만 실시간으로 사용되기에는 처리속도가 빠르지 않은 단점이 있었으며 측위 기반의 경우 차량 및 차선의 정밀 위치에 초점을 맞춰 차량의 GPS정보를 취득하여 차선의 좌, 우 차선 폭 정보로부터 이탈 여부를 판단하거나, 차선 사이에 삼각형의 빗변의 길이를 이용하여 차로이탈 여부를 판단하여 평가한다. 분석된 선행연구와 본 연구에서 제안하는 방법의 가장 큰 차이점은 정밀도로지도의 활용이다. 영상 및 정밀 위치 정보와 함께 정밀도로지도의 차선 형상 및 속성 정보를 활용하여 정밀한 차로 이탈 경고장치 평가 방안을 마련하고

자 한다.

2) 배경이론

차로 이탈 경고장치는 도로에 도색된 차선을 인식하여 차량이 차선을 임계치를 이탈하게 되면 설정된 방법으로 경고를 하도록 구성되어 있다. 차선의 도색 기준은 각 국가의 도로 상황에 따라 조금씩 다르게 규정되어 있으며, 한국에서는 도로교통법의 노면 표시 설치 기준에 따라 차선의 형식과 기준을 규정하고 있다. 이와 같이 차로 이탈 경고장치의 기본 처리 대상인 차선의 구성 방식에 대한 분석을 통해 차로 이탈 경고장치의 평가를 위한 차선 조합의 형식 도출이 가능하다.

(1) 차선의 기본 구성

차선은 차량의 안전한 통행을 위해 도로에 선 모양으로 설치한 시설로 선의 모양과 색으로 차량 통행에 대한 규제를 하고 있다. 국내의 경우 도로교통법 시행규칙에 규정되어 있는 차선을 구성하는 선의 모양은 점선, 실선, 복선으로 구성되어 있으며, 차선의 표시에는 백색, 황색, 청색 등 3가지 색을 사용하고 있다. 그림 1은 점선 차선과 실선, 복선 차선의 구성 방법을 보여주고 있다.

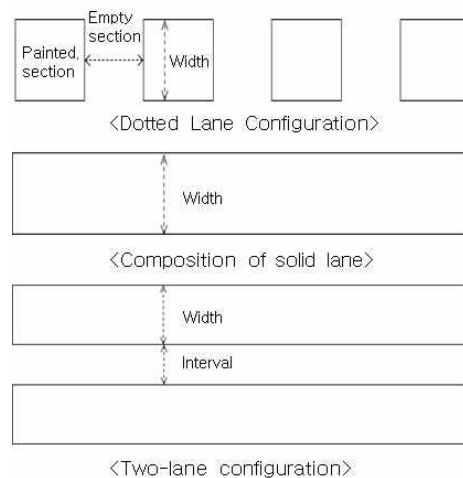


FIGURE 1. Composition of a lane

(2) 도로 노면 선형 종류별 구성

경찰청에서 규정한 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼에서 도로 노면 선형 종류의 설치기준을 다음과 같이 정의하고 있다.

중앙선은 황색으로 도색되어 있으며 그림 2 좌측과 같이 점선, 실선, 점선과 실선이 조합된 복선, 실선의 복선 등으로 구성되어 있다. 중앙선 점선의 도색구간은 300cm, 빈 구간은 300cm, 너비는 15cm에서 20cm 사이, 실선의 너비는 15cm에서 20cm 사이, 점선과 실선의 조합과 복선에서 경우 너비와 간격은 10cm에서 15cm 사이로 되어 있다.

차선은 기본적으로 백색의 점선으로 구성이 되나 차량의 차로 변경을 제한하는 경우 백색의 실선으로 구성되어 있다. 그림 2 우측과 같이 점선 차선의 도색구간은 300cm에서 1,000cm 사이, 빈 구간은 도색구간의 1배에서 2배 사이, 너비는 10cm에서 15cm 사이, 실선의 너비는 10cm에서 15cm 사이로 구성되어 있다. 점선의 도색구간과 너비는 지역과 도로의 유형에 따라 구성이 다르게 되어 있다. 도시지역의 경우 도색구간은 300cm, 빈 구간은 500cm, 지방지역의 경우 도색구간은 500cm, 빈 구간은 800cm, 자동차전용도로인 경우 도색구간과 빈 구간이 1000cm로 이루어져 있다.

전용차선은 청색으로 도색되어 있으며, 점선, 실선, 점선과 실선의 조합된 복선, 실선의 복선 등으로 구성되어 있다. 점선의 도색구간과 빈

구간의 길이는 300cm, 너비는 15cm에서 20cm 사이, 실선의 너비는 15cm에서 20cm 사이, 점선과 실선의 조합 복선, 실선의 복선의 경우 너비와 간격은 10cm에서 15cm 사이로 구성되어 있다.

3. 차로 이탈 경고장치 평가 기준 분석

차로 이탈 경고장치에 대한 유럽, 미국, 한국, 국제 표준 등에서 규정한 평가 기준 및 방법에 대해 분석하였다. 각 평가기준별로 차선의 유형, 경고 조건, 시험방법 등의 항목으로 비교 분석하였다(표 2).

1) 유럽

유럽의 평가 기준은 Euro NCAP | The European New Car Assessment Programme-Laetral Support System 에서 규정하고 있으며, 차선 구성은 횡 방향 지원 장치의 기준에 따라 점선과 실선, 실선과 실선, 실선, 점선과 점선, 점선 등 모두 5가지 종류의 차선 조합이 필요하다. 도로의 가장자리는 제외하고 차선이탈경고의 평가에서는 단선 차선만을 사용한다. 차로의 폭은 3.5에서 3.7m 사이로 구성되어야 한다.

유럽의 차로 이탈 경고장치의 경고 조건은 차선의 내측 경계를 기준으로 해서 적용하는데 2016년의 경우 미국의 기준과 동일하다. 차선 이탈 최종 경고 위치는 차선 경계 바깥쪽 0.2m 를 기준으로 하고 있다. 유럽의 차로 이탈 경고 시험에서의 차량의 속도는 시속 72km에서 시작

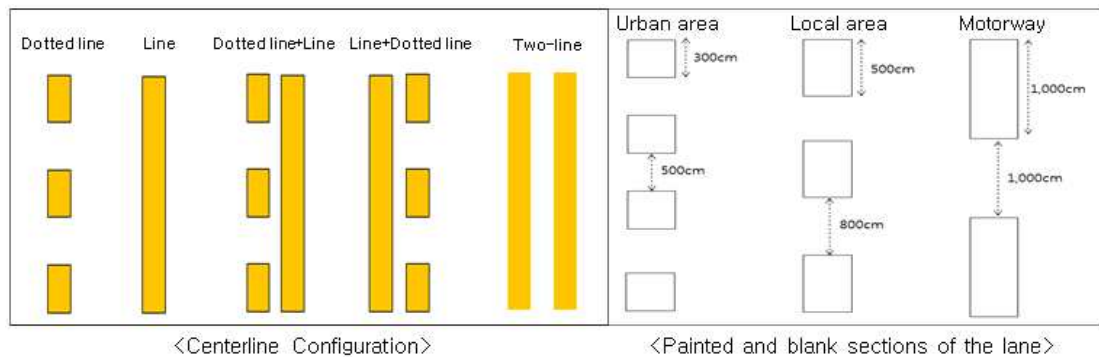


FIGURE 2. Configuration by Linear Type

TABLE 2. Comparison of Lane Departure Assessment Criteria

	Lane type	Warning Criteria	Vehicle speed
Europe	5 types of lanes	Inner corner reference Last warning: -0.2 m	72km/h
USA	4 types of lanes	Inner corner reference Initial warning: +0.75 m Last warning: -0.3 m	-
Korea	4 types of lanes	Outer corner reference Initial warning: +0.2m Last warning: -0.3 m	65km/h
ISO-17361	Apply country specifications	Lane center reference It depends on the speed	72km/h

하여 0.2~0.5m/s 사이에서 0.1씩 증가하도록 되어 있다. 특정 횡 속도에서 좌/우 각각 1회씩 시험을 하도록 되어 있다. 횡 속도 별로 테스트 경로를 만들 수 있도록 차선으로부터 횡 방향 거리를 설정하여 주행한다.

2) 미국

미국의 평가 기준은 US NHTSA | Lane Departure Warning System Confirmation Test And Lane Keeping Support Performance Documentation 에서 규정하고 있으며, 4가지 종류의 차선의 조합이 필요하며 차선이탈경고의 평가에서는 차선의 폭은 사용하지 않고 있다. 경고조건은 내측 모서를 기준으로 하며 최초 경고는 차선 안쪽 0.75m 지점에서, 최후 경고는 차선 외측 0.3m 지점에서 이루어진다. 시험방법은 차선의 중앙으로부터 1.875m 떨어진 위치가 차량의 중앙이 되도록 주행한다. 횡 속도는 속도의 구분 없이 0.1~0.6m/s 사이로 설정하도록 하며 각 차선의 이탈방향 조건에서 5회 중 3회를 성공해야 하며, 전체 시험회수 30회 중에 20회 이상을 성공해야 한다.

3) 한국

한국의 평가 기준은 UN | Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Lane Departure Warning System의 규정에 따라 황색 복선, 백색 점선, 백색 실선, 청색 실선 등의 4종의 차선 조합이 필요하다. 최근 개정에서는 최소 1개 차선을 이

용하여 평가가 가능하도록 허용되었다.

한국의 차로 이탈 경고장치의 이탈 기준은 차선의 외측 경계를 기준으로 이루어진다. 차선 외측 0.3m 위치를 이탈 경고 기준점으로 하고 있다. 최근 개정에서 차선 내측 0.2m 지점 최초 경고가 추가되었다. 복선인 경우 최초 경고는 내측 차선의 외측 경계를 기준으로 하고, 최후 경고는 외측 차선 외측 경계를 기준으로 하고 있다. 시험 시 차량의 속도는 시속 65km를 유지하며 속도의 구분 없이 횡 속도 횡 속도 0.1~0.8m/h 사이로 주행하여야 하며, 별도의 주행방법은 정의되어 있지 않으며, 시험 조건에 따른 시험 결과가 모두 통과되어야 하며, 시각과 청각을 동시에 사용할 때에는 먼저 발생하는 경고를 기준으로 한다.

4) 국제표준

국제표준의 평가 기준은 ISO 17361 | Intelligent transport systems — Lane departure warning systems — Performance requirements and test procedures의 규정하고 있으며, 차선의 유형이 국가별로 다르기 때문에 차선 유형에 대해서는 각 국가 별 규격을 따를 것을 권고하고 있다. 차로 이탈 경고장치의 경고 발생 시험은 Class I, Class II의 곡선주요에서 수행하고, 반복 시험은 직선에서 수행한다.

경고전건의 경우 차선의 중앙을 기준으로 하고 있다. 차량의 속도가 0.5m/s 이하일 경우 최초 경고는 차선의 내측 0.75m, 최후 경고는 차량의 내측 0.3m에서 이루어진다. 차량의 속도

가 0.5m/s 보다 크고 1.0m/s 이하 일 경우 최초 경고는 1.5에 속도를 곱한 위치, 차량의 속도가 1.0m/s 이상 일 경우 최초 경고는 1.5m, 최후 경고는 0.3m 위치에서 이루어진다. 버스나 트럭의 경우 최후 경고는 1.0m 위치에서 이루어진다.

경고 발생 시험의 시험 속도는 시속 72km, 횡 속도는 0~0.4, 0.4~0.8m/s를 유지하며, 특정 횡 속도에서 좌/우 별도로 1회씩 시험한다. 반복 시험의 시험 속도는 시속 72km, 횡 속도는 0.1~0.3, 0.6~0.8m/s를 유지하며, 특정 횡 속도에서 좌/우 별도로 4회 시험하며 차선중앙과 반대차선을 따라 주행한다. 경고 발생 시험의 경우 모두 통과를 원칙으로 하고 있다. 반복 시험의 경우 각 속도와 이탈방향 그룹 별로 경고 시점이 30cm 내 정밀도를 만족해야 한다.

4. 정밀도로지도 분석

4차 산업혁명의 도래로 정밀도로지도는 미래형자동차, 물류, 로봇 등의 분야에서 자율주행의 위치결정을 위한 핵심 인프라로 자리 잡고 있다. 특히, 자율주행자동차는 자기위치 결정뿐만 아니라 LiDAR, GNSS, Radar, 카메라 등 다양한 센서에서 감지하는 객체의 정확한 위치결정을 위하여 정밀도로지도의 의존도가 더욱 증대

되고 있는 실정이다. 정밀도로지도에 관한 연구 또한 활발하게 수행 되고 있는데 Lengyel and Szalay(2018)는 3차원 점군 데이터를 활용하여 자율주행자동차가 교통시설물의 인지를 위한 지도 생성에 관한 연구를 수행하였고, Seol et al.(2019)은 우리나라 정밀도로지도의 효율적인 갱신 체계 방안을 제시하기 위해 도로의 종류, 변화의 원인과 연간 변화율 등을 분석하고 정밀도로지도 관련 시스템과 갱신체계에 대하여 분석하였다. Park et al.(2019)은 자율주행 지원을 위한 정밀도로지도 갱신기술 평가방법을 제시하였고, Won et al.(2019)은 정밀도로지도 관련 국내·외 동향을 분석하고 국내 정밀도로지도 산업에서 민·관이 상생 협력할 수 있는 방안 등을 분석하였다. Won et al.(2020)은 정밀도로지도와 관련된 국내·외 표준 및 관련된 제반 환경의 동향을 분석하고, 이를 기반으로 현재 정밀도로지도를 구축하는 기관별로 표준 정밀도로지도와 비교하여 활용성을 연구를 수행하였다. 이처럼 정밀도로지도는 자율주행 및 도로 교통 분야에 핵심 인프라로 자리 매김 하고 있다.

국토지리정보원은 자율주행 기술 개발 및 연구 지원을 위해 정밀도로지도를 구축하여 민간에 배포하고 있다. 차선과 관련된 정보는 규제

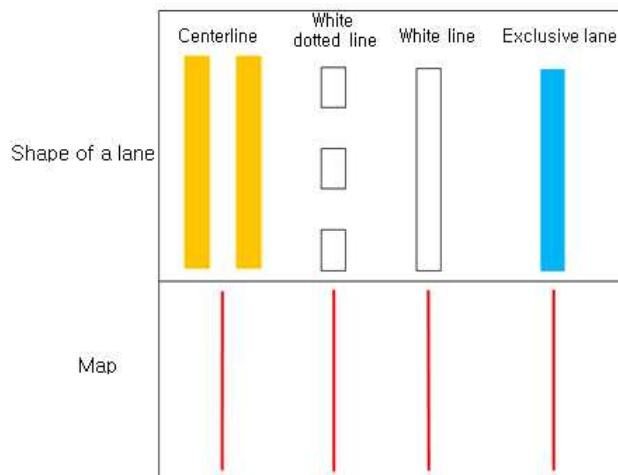


FIGURE 3. Precision road map lane position

선, 도로경계선, 정지선을 구축하고 있으며, 추가적으로 차로의 중심선을 기반으로 하는 차로 네트워크 데이터를 제공하고 있다. 정밀도로지도는 선형 데이터의 경우 선형의 중심선을 구조화하고 있다(그림 3). 정밀도로지도의 차선 관련 구축 항목은 중앙선, 유턴구역선, 차선, 버스 전용차선, 진로변경제한선, 가변차선, 길가장자리구역선, 주차금지 표시선, 정차주차금지 표시선 등을 포함하고 있다.

정밀도로지도에서 차로 이탈 경고장치의 차로 이탈 평가에 활용 가능한 데이터 항목은 규제선과 도로경계선 데이터이다. 차로 이탈 경고장치의 평가에 활용하기 위해서는 수 cm의 오차 범위내의 차선 데이터가 필요한데 정밀도로지도의 오차는 0.25m로 차로 이탈 경고장치의 평가에 활용하기에는 다소 오차가 큰 편이다. 차로 이탈 경고장치의 차로 이탈 평가에서는 차선의 경계를 기준으로 하고 있는데 차로의 중심에 해당하는 부분을 지도로 구축하였으나 차선의 너비 정보가 없어서 차로 이탈 경고장치의 평가에 활용하기에는 한계를 가지고 있다.

정밀도로지도 활용 평가 방안

1. 차선 형상 모델 설계

차로 이탈 경고장치는 차선의 경계를 기반으로 경고하기 때문에 차선 경계에 대한 정확한

정보를 필요로 한다. 노면 표시 서치 기준에 차선의 너비가 10~15cm 사이로 정의가 되어 있기 때문에 도로 환경에 따라 경고 시점에 대한 시간 차이가 발생하게 된다. 영상 기반 평가 환경에서는 평가의 일관성을 위해 차선의 폭을 10cm로 고정하여야 하지만, 정밀도로지도를 이용하게 되면 다양한 차선 너비 환경에서도 평가가 가능하다.

한국의 차로 이탈 경고 기준이 단선인 경우 차선의 외측, 복선인 경우 내측 차선의 외측 경계를 기준으로 하고 있기 때문에, 본 연구에서는 중앙선의 경우 복선일 경우 중앙선의 양쪽 경계, 단선일 경우 단선 차선의 경우 양측 경계를 차선 데이터로 설계하였다(그림 4).

2. 차선 Fitting

차선 마킹, 정밀도로지도의 생성, 위치의 계산 등 모두 cm 수준의 정확도를 필요로 한다. 차선의 작은 곡률 변화는 가속도 측정에 매우 큰 영향을 주기 때문에 차선의 굴곡을 정확하게 나타내어야 한다. 차선을 굴곡을 정확하게 맞추는 방법에는 spline fitting, spline smoothing, straight line fit 등의 방법 등이 사용된다. spline fitting은 측정된 지점들에 대한 정확한 표현이 가능하지만 명확하지 않아 점들 사이에 오차가 발생할 수 있으며, 곡선의 overshoot가

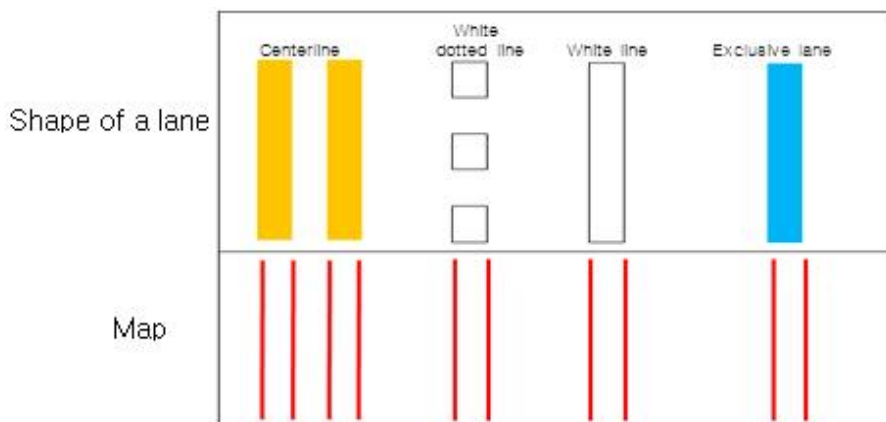


FIGURE 4. Lane geometry model

발생할 수 있다. spline smoothing은 취득된 차선의 point를 하나도 지나지 않는 curve cutting이 발생한다.

straight line fit는 측정된 점들까지의 정확한 계산이 가능하고 점들 사이에 overshoot도 발생하지 않는다. 그렇지만 곡선에서는 더 큰 오차를 유발할 수 있다. 차로 이탈 경고장치 의 현재의 평가 방식은 대부분 직선에 대해 규정하고 있으므로, 본 연구에서는 직선에서 정확하고 쓰기가 편한 straight line fit 방식을 적용하였다. 1m 간격으로 차선의 위치점을 취득하였을 경우 1cm 정도의 오차를 나타낸다.

3. 차선까지의 거리 계산

차선이탈 평가를 위해 차선을 따라 주행하는 차량의 위치에서부터 차선까지의 정확한 거리 계산이 필요하다. 차량의 위치에서부터 차선까지의 거리는 수직 거리로 계산한다(그림 5). 차선을 따라 주행하는 차량의 차선에 대한 상대적인 가속도 모델은 아래 식 1과 같이 계산되어진다. 여기서, a_L 은 차선좌표계에서의 차량의 가속도, k 는 해당 시점의 차선 곡률, V_f 는 차량의

속도를 의미한다.

$$-a_L + \frac{k}{1+k \cdot d_L} V_f^2 \quad (1)$$

4. 차량 속도 모델

차량의 속도는 차량이 주행 하는 방향으로의 전체 이동 비율을 나타내는 것으로, 종 방향 속도의 경우 실제 속도에 가깝고, 횡 방향 속도의 경우 차량이 미끄러지는 경우를 제외하고는 0에 가깝다. 항법좌표계 기준의 차량 속도 벡터를 V_n 차량좌표계 기준의 차량 속도 벡터를 V_b 라 할 때, 차량좌표계를 기준으로 발생하게 되는 각 운동인 roll, pitch, yaw 기반으로 전환 매트릭스 C_{bn} 이 생성되고 이 매트릭스를 이용하여 V_n 과 V_b 사이의 변환이 이루어진다. 아래 식 2에서 ϕ 는 heading 각, θ 는 pitch 각, φ 는 roll 각을 의미한다.

$$V_n = C_{bn} \cdot V_b$$

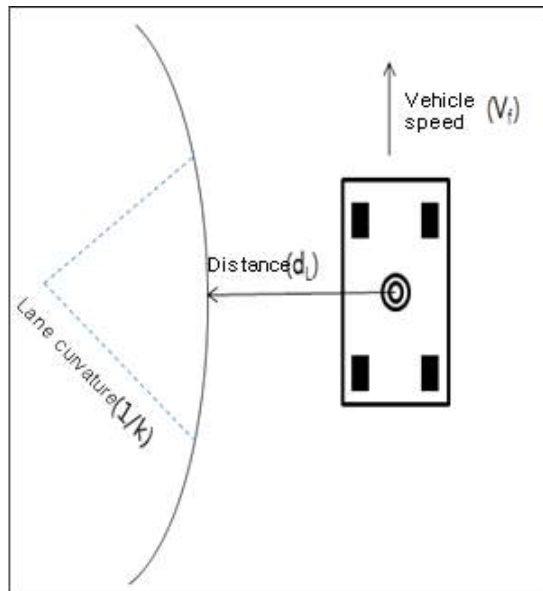


FIGURE 5. Calculate the distance to the lane

$$V_n = \begin{bmatrix} \cos(\psi) - \sin(\psi) 0 \\ \sin(\psi) \cos(\psi) 0 \\ 0 0 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) \sin(\theta) 0 \\ 0 1 0 \\ -\sin(\theta) 0 \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 0 0 \\ 0 \cos(\phi) - \sin(\phi) \\ 0 \sin(\phi) \cos(\phi) \end{bmatrix} \cdot V_b \quad (2)$$

차량의 항법좌표 기준의 속도 벡터인 종 방향 속도, 횡 방향 속도, z 방향 속도는 다음의 변환 행렬을 이용하여 Level 좌표로 변환된다. 아래 식 3에서 V_L 은 종 방향, 횡 방향 속도 벡터, C_{LN} 은 항법좌표와 Level 좌표의 변환 행렬, V_N 은 항법좌표 기준의 속도 벡터를 의미한다.

$$V_L = C_{LN} \cdot V_N = \begin{bmatrix} \cos(\psi) \sin(\psi) 0 \\ -\sin(\psi) \cos(\psi) 0 \\ 0 0 1 \end{bmatrix} \cdot V_N \quad (3)$$

5. 차량 가속도 모델

차량이 주행 할 때 roll과 pitch가 발생하게 되면 차량 body좌표계 기준의 가속도는 중력에 의해 간섭을 받게 된다. 차량 body좌표계가 항법좌표계에서 벗어나 1도의 roll 또는 pitch가 발생했을 때 0.17m/s^2 의 가속도 영향을 받게

된다. 이때 차량 Body좌표에서 측정된 가속도, roll, pitch에 의한 중력 성분을 변환 행렬로 곱하여 차량의 가속 성분을 계산하게 된다. 아래 식 4에서 A_L 은 차량의 종 방향 및 횡 방향의 가속도 벡터, C_{LB} 는 항법좌표에서 Level 좌표로의 변환 행렬, A_b 는 차량 Body좌표 기준의 가속도 벡터를 의미한다.

$$A_L = C_{LB} \cdot A_b = \begin{bmatrix} \cos(\theta) 0 \sin(\theta) \\ 0 1 0 \\ -\sin(\theta) 0 \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 0 0 \\ 0 \cos(\phi) - \sin(\phi) \\ 0 \sin(\phi) \cos(\phi) \end{bmatrix} \cdot A_b \quad (4)$$

6. 차로 이탈 경고장치 평가 환경 구성

차로 이탈 경고장치의 차로 이탈 경고에 대한 평가는 운전자의 입장에서 대응하는 이탈 경고 시점에 대한 시각 정보와 청각 정보를 취득하는 고속 카메라와 마이크가 장착하게 된다. 차선 또한, 차량의 상대적인 위치 정보와 거동 정보를 정확하게 취득하여 정밀도로지도에 맵핑을 해야 한다. 개별 장치에서 수집되는 모든 데이터는 정확한 시간으로 동기화되어야 하기 때문에 데이터 동기화 수집 장치가 필요하다. 정밀도로지도는 차로 이탈 경고 시험 주행 데이터를 취득할 때 위치 동기화에도 사용하고 차로 이탈

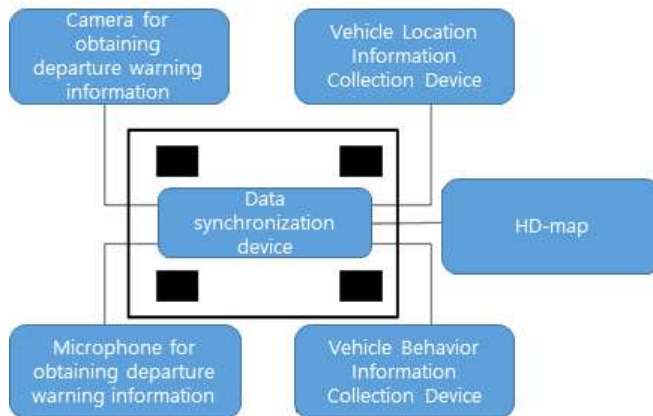


FIGURE 6. Configuring the lane departure warning system assessment environment

경고 시점에 대한 데이터 분석이 차량과의 위치 계산에도 사용된다(그림 6).

차로 이탈 경고장치 평가 방안 검증

1. 차선 기초 형상 데이터 취득

평가 방안 연구 대상 지역의 한국자동차연구원 주행시험로에 대한 고정밀 3D 지도를 항공측량과 지상측량을 한 뒤 후처리를 통해 구축하였다. 항공측량은 Trimble사의 UAV UX5 HP를 이용하여 취득하였으며, 지상측량 데이터는 Trimble MMS MX2를 이용하여 취득하였다. 취득된 결과는 아래 그림 7, 8과 같이 나타내었다.

2. 차선 선형 모델 데이터 변환

취득된 고정밀 측량 데이터를 차선 선형 모델 데이터로 변환하여 청색실선, 백색점선, 백색실선, 황색복선 내측, 황색복선 외측 등 차선의 종류별로 표 3과 같이 5개의 선형으로 구분하였다. 연구대상 지역인 한국자동차연구원 주행시험로의 차로 구성이 점선과 실선의 조합으로 되어 있어 좌/우 방향의 이탈 시험은 동일 차로에서 차량의 주행 방향을 바꾸어서 수행하였다. 따라서, 차선 데이터 변환은 전체 차선 경계가 아닌 한쪽 방향의 외측 경계를 기준으로만 생성하였다.

그림 9는 연구 지역의 차선 선형 구성을 나



FIGURE 7. UAV survey data

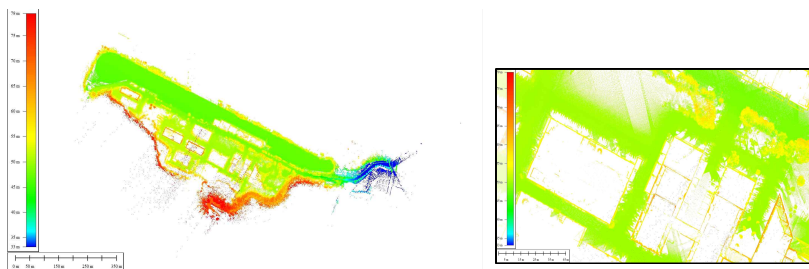


FIGURE 8. Lane geometry data

TABLE 3. Lane layer configuration

Linear layer	Lane type
Line1	Blue line outer boundary
Line2	White line outer boundary
Line3	White dotted line outer boundary
Line4	Yellow double line inner lane boundary
Line5	Yellow double line outer lane boundary

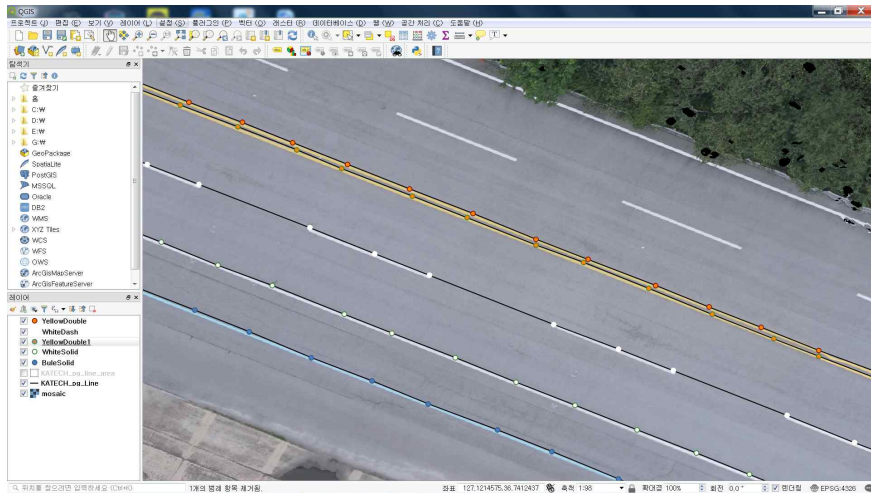


FIGURE 9. Lane data for lane departure assessment

타내고 있다. 차선의 구성은 순서대로 청색 실선, 백색 실선, 백색 점선, 황색 복선으로 되어 있으며 황색 복선의 경우 내측 차선의 경계와 외측 차선의 경계 데이터를 생성하였다. 백색 점선의 경우는 백색 점선의 시작위치와 중간지점 끝 지점에 보간점을 생성하고 생성하였다. 실선 차선의 경우는 일정한 간격으로 보간점을 생성하였다. 선형 차선 데이터에는 경도, 위도, 고도, 차선 보간점의 헤딩 정보를 저장하였다.

3. 영상 기반 차선이탈 시험

영상 기반 차로 이탈 경고장치 평가는 시험 차량의 좌측과 우측 외부에 평가용 영상 데이터를 취득하기 위한 카메라를 장착하고 차로 이탈 시험 주행을 하게 된다. 차로 이탈 경고장치의 경고 시점을 청각과 시각으로 판단하기 위한 카메라 센서가 차량 내부에 장착을 하고 경고 시

점 데이터 영상 데이터와 차로 이탈 여부 판단을 위한 영상 데이터를 별도로 취득을 하였다. 경고 시점 판단 영상 데이터로부터 경고 시점에 대한 시간 정보를 추출하고, 경고 시점에 해당하는 차로 이탈 판단용 영상 데이터에 대한 Ground Truth 생성 작업과 차선까지의 거리를 계산하여 각 프레임단위로 육안으로 차로 이탈 인식 여부를 판정하여 인식 결과에 대한 TPR (True Positive Rate) 값을 구하였다.

시험 차량의 외부 좌측과 우측에 카메라를 장착하여 차선이탈 시험에 대한 주행 영상 데이터를 취득하고 인식용 평가 프로그램에 사용할 수 있는 데이터로 변환하였다. 영상 기반 차로 이탈 시험에서는 차선의 종류별로 구분해서 시험 주행을 하지 않고 백색 점선에 차선에 대해서 각각 3차에 걸쳐 차로 이탈 시험을 하였으며 그 결과를 나타내었다(표 4). 차로 이탈 시도를 한 후 각 경고 시점에 해당하는 프레임별로 이탈

TABLE 4. Image-based test results

	Number of departure attempts	Number of frames for departure attempts	Number of frames for departure attempts	TPR processing time (minutes)
1	10 times	182	164	910
2	10 times	167	160	835
3	10 times	152	138	760
Sum	30 times	501	462	2,505



FIGURE 10. Data for image-based lane departure warning analysis

감지 여부를 측정하였다.

직선 구간에 대해 501 프레임에 대해 시험을 하였으며 92.2% 인식율을 나타내었다. 차로 이탈 여부를 평가하기 위해 차량 외부에 장착된 영상 센서로부터 취득된 영상 정보와 시간정보, 영상의 프레임 정보를 저장한 주행 데이터를 나타내고 있다(그림 10). 이 영상의 각 프레임별로 차선과 차량의 바퀴까지의 거리를 계산하여 차로 이탈 경고의 적정 여부를 판단하였다.

영상 기반 차로 이탈 경고장치의 평가에서의 가장 큰 문제점은 True Positive Rate를 계산하기 위해 영상 데이터의 프레임 단위의 Ground Truth 데이터를 생성하고, Ground Truth를 기반으로 차선까지의 거리 계산을 수작업으로 진행하는데 있다. 일회성 시험일 때는 별 영향이 없지만 반복 시험을 하게 될 경우 이러한 작업 방식은 시험 결과의 분석 시간 보다 분석용 데이터를 만드는 데 더 많은 시간을 필요로 하는

되는 결과를 가져온다. 또한, 영상 센서의 특성 때문에 조도, 역광 등 외부 환경에 영향을 받아 차로 이탈 판단용 영상 데이터의 품질이 다르게 되고, 이러한 다른 품질의 데이터를 육안으로 판단하기 때문에 시험 결과의 일관성 확보도 어렵게 된다.

정밀도로지도를 활용한 차선이탈 평가 방안 검증

1. 평가 방안 검증

정밀도로지도 기반 차로 이탈 경고장치 평가 절차는 차량에 차로 이탈 경고장치 장비를 장착하고 차선 지도와 차량의 출발 위치를 동기화하였다. 청색실선, 백색실선, 백색점선, 황색복선에 각각에 대해 차선이탈 시도 주행을 하고 차로 이탈 경고 데이터, 차량 거동 정보 및 위치 정

보를 10ms 단위로 취득하였다. 저장된 데이터는 정밀도로지도와 차량의 위치 정보에 대한 계산을 통해 이탈 경고 시점과 이탈거리에 도출에 대한 분석을 하였다.

2. 차선이탈 평가를 위한 출발 위치 동기화







정밀도로지도를 활용하는 차로 이탈 경고장치의 평가에서 차량의 정확한 위치를 취득하고, 차량의 위치와 차선의 위치 관계에 따른 정확한 거리를 계산하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 시험 시작 위치에 대해 정밀도로지도와 차량의 위치를 동기화하는 것이 필요하다. 출발 위치 동기화를 위해 시험 평가 출발 위치에 가상의 출발선을 그리고 그 위치를 차선 지도와 맵핑을 하고 시간의 변화에 따른 차량의 거동 데이터, 위치 데이터, 이탈경고 관련 데이터 수집하고 데이터 분석을 통한 정확한 이탈 경고 시점에 대한 판단이 가능하다.

3. 시험 데이터 취득

정밀도로지도를 활용한 차로 이탈 경고장치 검증에 위해 차로 이탈 경고 기능과 TCP/IP 데이터 전송 기능이 있는 상용 ADAS 제품을 이용하였다. 차로 이탈 경고장치 평가 검증 차량에 차량 위치정보 취득 장치, 차량 거동 정보 취득 장비, 데이터 동기화 수집 장치를 탑재하여 상대 위치 및 절대 위치를 획득하였다.(표 5) 또한, 시각 이탈 경고 취득 장치, 청각 이탈 경고 취득 장비를 탑재하여 청색실선, 백색실선, 백색점선, 황색복선 각각 차선 종류 별로 주행 방향을 전환하여 좌 이탈과 우 이탈 주행을 하며 검증 데이터를 취득하였다.

오차 테스트 검증을 위하여 RT Range System에 고정밀 차선 데이터 탑재 후 주행시험로 직선 구간을 0km/h → 100km/h → 0km/h로 5회 중 방향 주행하여 차선까지의 거리 등 차량-차선 간 상대 거동 정보를 취득한 결과 위치 오차는 최대 0.30m, 평균 0.19m로 분석되었

TABLE 5. Lane departure warning verification equipment

Purpose	Performance	Product
Acquisition of vehicle location information	- Oxts IMU (RT 3003 v2) - Positioning accuracy : RTK Integer, 0.01m (with NTRIP)	
Acquisition of vehicle behavior information	- Oxts RT Range - Distance/Speed/Acceleration accuracy : 0.02m, 0.02m/s, 0.02m/s ² RMS	
Acquisition of a visual departure warning	- Dewesoft - 88 fps(frame per second) VGA resolution	
Acquisition of Deaf Warnings	- PCB Piezotronics	
High Speed Camera IF	- Dewesoft CAM BOX - DAQ/High speed camera-to-cam network configuration	
Data synchronization	- Dewetron DAQ - Data throughput : 70 MB/s ²	

으며, 속도 오차는 최대 0.11m/s, 평균 0.01m/s로 나타났다.

4. 시험 데이터 분석

차로 이탈 경고장치의 평가에서 가장 먼저 확인해야 할 것이 차로 이탈 경고 시점에 대한 확인이다. 운전자가 시각과 청각으로 반응하는 시간을 원칙으로 하기 때문에 정확한 시간 정보를 취득하기 위해 고속카메라를 사용하였다. 시각 및 청각 정보를 저장한 데이터에서 정확한 차로 이탈 경고 시점 시간인 t_w 가 확인이 되면 차선 이탈 경고 시험 출발 시점부터 t_0 까지의 중 방향 차량 속도 프로파일과 차량의 상대적인 위치를 계산하고, dt_w 에서의 이탈 방향에 따른 차량과 정밀도로지도와 거리를 계산하게 된다(그림 11). 경고 시점의 차로 이탈 거리가 경고 기준으로 정의된 기준 값 이내이면 적합 판정을 하게 된다.

차량의 위치는 차로 이탈 평가 출발부터 경고 시점 발생까지의 상대 위치 및 절대 위치를 누적 계산하여 차선과의 이탈 거리를 계산한다. 또한, 차선이탈 평가 시험은 모든 차선에 대해 좌측 이탈 2회, 우측 이탈 2회를 시험하였다. 좌측 이탈과 우측 이탈 시험은 각각 반대 방향으로 주행하여 동일 차선에 대해 이탈 시험을 하였다.

1) 청색 실선 차로 이탈 경고 시험 분석

청색 실선 차선의 좌측 이탈 첫 번째 시험은 차량 속도가 시속 64.2km에서 시속 65.3km로 주행을 하였으며 약 27초 후에 차로 이탈 경고가 발생하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.42m/s이며 경고 시점의 이탈 거리는 차선 내측 0.08m로 계산되었다.

두 번째 청색 실선 차로 이탈 시험은 시속 64.7km에서 65km로 주행을 하며 이탈 시도를 하였으며, 약 16초 후에 차로 이탈 경고가 발생

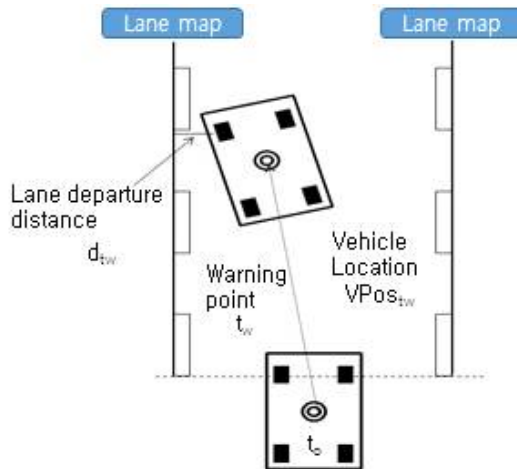


FIGURE 11. Lane departure warning point calculation

TABLE 6. Blue line left exit test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
Blue line	Left side	27	64.2~65.3	0.42	-0.08
		16	64.7~65.8	0.5	-0.23

TABLE 7. Blue line right side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
Blue line	Right side	30	63.3~63.6	0.24	-0.1
		30	64.5~64.9	0.35	-0.06

하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.5m/s이며 이탈거리는 차선 내측 0.23m로 계산되었다. 차선 내측 0.2m를 벗어나기 때문에 한국의 최신 평가 기준에서는 부적합 판정이 나오게 된다(표 6).

청색 실선 차선의 우측 이탈 첫 번째 시험은 차량 속도가 시속 63.3km에서 63.6km 사이로 주행을 하였으며, 1차 경고 시점은 약 30초 후에 발생하였다. 이탈 경고 시점까지의 최대 차로 이탈 속도는 0.24m/s 이탈거리는 차선 내측 0.1m로 적합 판정이 나왔다. 두 번째 청색 실선 우측 이탈 시험은 시속 64.5km에서 64.9km 사이로 차로 이탈 주행을 하였으며, 1차 시험과 동일하게 약 30초 후에 이탈 경고 시점이 나타났다. 차로 이탈 경고 시점에서까지의 최대 이탈 속도는 0.35m/s이고, 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.06m로 나타났다(표 7).

2) 백색 실선 차로 이탈 경고 시험 분석

백색 실선의 좌측 이탈 첫 번째 시험은 차량의 속도가 시속 64.0km에서 65.5km 사이였으며, 좌측 이탈 경고 시점은 약 24.5초 후에 발생하였

다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.49m/s 차선 내측 0.21m로 개정된 평가 기준에서는 0.01m 차이로 부적합 판정이 나오게 된다. 두 번째 백색 실선 좌측 이탈 시험은 시속 64.5km와 66.3km 사이로 주행을 하였으며, 이탈 경고 시점은 약 16.5초 후에 발생했다. 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.47m/s이고, 경고 시점 이탈 거리는 차선 내측 0.29m로 나타났다(표 8). 2차 시험 결과도 개정된 평가 기준에서는 부적합 판정을 받게 되는 결과이다.

백색 실선의 우측 첫 번째 우측 이탈 시험은 시속 64.3km에서 65.7km 사이로 주행하였으며, 우측 이탈 경고 시점은 약 25초 후에 발생하였다. 우측 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.28m/s이며, 경고 시점의 이탈거리는 차선 내측 0.15m로 나타났다. 두 번째 백색 실선 우측 이탈 시험은 차량의 속도가 시속 64.0km에서 65.5km로 사이였으며, 우측 이탈 경고 시점은 약 15초 후에 발생하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.34m/s이고 경고 시점의 이탈 거리는 차선 내측 0.08m로 계산되었다(표 9).

TABLE 8. White line left side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
White line	Left side	24.5	64.0~65.5	0.49	-0.21
		16.5	64.5~66.3	0.47	-0.29

TABLE 9. White line right side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
White line	Right side	25	64.3~65.7	0.28	-0.15
		15	64.7~65.8	0.34	-0.08

3) 백색 점선 차로 이탈 경고 시험 분석

백색 점선 차선의 1차 좌측 이탈 시험은 차량을 시속 63.4km에서 65.6km 사이로 주행을 하였으며, 약 18.2초 후에 좌측 이탈 경고가 발생하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.66m/s이고 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.2m로 나타났다. 백색 점선 차선의 2차 좌측 이탈 시험은 차량의 속도가 시속 64.5km에서 65.2km 사이였으며, 이탈 경고 시점은 약 23초 후에 발생했다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.48m/s이고 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.19m로 나타났다(표 10).

백색 점선 차선의 우측 이탈 시험의 첫 번째 차량 속도는 시속 64.9km에서 65.6km 사이로 주행을 하였으며, 이탈 경고 시점은 약 20초 후에 발생하였다. 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.28m/s였으며 경고 시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.21m로 계산되었다. 우측 이탈 두 번째 시험에서의 차량 속도는 시속 63.5km에서 63.9km 사이였으며, 차로 이탈 경고는 약 18초 후에 발생하였다. 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.46m/s였으며, 경고

시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.07m로 계산되었다(표 11).

4) 황색 복선 차로 이탈 경고 시험 분석

황색 복선 좌측 이탈 첫 번째 시험의 차량의 속도는 시속 66.2km에서 66.5km 사이로 나타났으며, 약 17초 후에 차로 이탈 경고가 발생하였다. 차로 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.7m/s였으며, 경고 시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.56m로 나타났다. 황색 복선 좌측 이탈 두 번째 시험의 차량 속도는 시속 65.5km에서 66.7km 사이로 나타났으며, 약 15초 후에 차로 이탈 경고가 발생하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.55m/s였으며, 경고 시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.57m로 나타났다(표 12).

첫 번째 황색 복선 우측 이탈 시험의 차량의 종 방향 속도는 시속 63.9km에서 64.9km 사이로 나타났으며, 약 14.5초 후에 차로 이탈 경고가 발생하였다. 차로 이탈 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.3m/s로 나타났으며, 경고 시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.65m로 계

TABLE 10. White dotted line left side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
dotted line	Left side	18.2	63.4~65.6	0.66	-0.2
		23	64.5~65.2	0.48	-0.19

TABLE 11. White dotted line right side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
dotted line	Right side	20	64.9~65.6	0.28	-0.21
		18	63.5~63.9	0.46	-0.07

TABLE 12. Yellow double line left side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
Yellow double	Left side	17	66.2~66.5	0.7	-0.56
		15	65.5~66.7	0.55	-0.57

TABLE 13. Yellow double line right side test result

Lane	Departure direction	Warning point (s)	Vehicle speed (km/h)	Maximum speed of departure before warning (m/s)	Warning point of departure distance (m)
Yellow double	Right side	14.5	63.9~64.9	0.3	-0.65
		13	64.7~65.7	0.37	-0.63

산되었다. 두 번째 황색 복선 우측 이탈 시험에서 차량은 시속 64.7km에서 65.7km 사이로 주행하였으며, 약 13초 후에 차로 이탈 경고가 발생하였다. 경고 시점까지의 최대 이탈 속도는 0.37m/s였으며, 경고 시점의 차로 이탈 거리는 차선 내측 0.63m로 계산되었다(표 13).

5. 차선이탈경고 시험 결과 분석

영상 기반 차로 이탈 경고장치 성능 평가에서는 차선이탈 시도 시점에서의 거동 상태와 차선과의 위치 관계만을 판단하여 차선이탈 경고의 적합성을 평가하지만, 정밀도로지도를 활용하여 차선이탈 경고장치의 성능 평가를 했을 경우, 고정밀 차선 경계 데이터를 기반으로 시험 차량이 출발하는 시점부터 차량의 속도, 이탈 속도, 차로에서의 차량의 위치, 차선과의 위치 관계에 따른 차로 이탈 경고 시점 도출 등 시험 시작부터 종료 시까지 체계적으로 분석하고 판단하는 것이 가능하였다.

영상 기반 성능 평가의 경우 영상 데이터의 프레임별로 차값에 대한 분석을 수작업으로 진행하여야 한다. 정밀도로지도와 고정밀 측위 장치를 활용하여 차로 이탈 경고장치의 평가를 함으로써 평가 차량과 차선의 위치 관계를 정량적으로 나타낼 수 있어 평가 결과에 대한 정확도가 향상되었으며, 평가 결과가 장치에 저장되기 때문에 연속적인 반복 실험이 가능해지고 저장된 결과 분석을 통한 평가 결과에 대한 재검토가 가능해져 평가 결과에 대한 신뢰성이 증가하였다.

결론

본 연구에서 차로 이탈 경고장치의 차로 이탈

경고 평가를 위해 정밀도로지도 모델을 개발하였다. 2cm 정확도를 가지는 정밀도로지도와 고정밀 상대 측위 장비를 이용하여 한국의 차로 이탈 평가 기준을 적용한 4종의 차선 유형에 대해 차로 이탈 경고 시험 평가를 수행하였으며, 수 mm 단위까지 차량의 차로 이탈 거리를 측정할 수 있음을 알 수 있었다. 차로 이탈 경고시스템 평가에 수 cm의 정밀도로지도가 필요하기 때문에 한국자동차연구원 주행시험로에 설치된 차선으로 한정하였다.

주행시험로의 청색 실선, 백색 실선, 백색 점선, 황색 복선 등 4종의 차선 유형에 대해 정밀도로지도를 구축하였으며, 차량의 상대적인 거동 정보를 측정하여 경고 시점이 발생한 시간까지의 차량의 위치를 계산하고, 차량의 위치에서 정밀도로지도와의 거리를 계산하는 모델을 개발하였다. 이를 위한 검증으로 영상 기반 차로 이탈 평가 방법과의 비교 검증을 실시하였다.

영상 기반 차로 이탈 평가는 차량의 좌측과 우측 외부에 장착된 카메라를 이용하여 차로 이탈 여부를 판단하는 영상정보를 취득하고, 차로 이탈 여부를 영상 데이터 처리를 통해 판단하고, 500프레임의 영상 데이터의 TPR(True Positive Rate) 판단에 약 40시간 정도의 시간이 소요되었다.

정밀도로지도를 이용한 차로 이탈 평가에서는 차선과 차량의 위치 관계로 진위 여부를 판단하기 때문에 이러한 추가 데이터 생성 단계가 필요하지 않다. 정밀도로지도를 활용한 차로 이탈 시험 평가는 데이터 생성 과정 생략으로 인한 시간 단축과 평가 작업 단계의 단순화가 가능하였다. 이는 정밀도로지도와 정밀차량위치를 이용한 데이터취득, 실시간 데이터 처리 및 이탈 판단 확인 절차만 수행하기 때문에 가능하다.

본 연구에서는 차선 이탈 경고 시험을 위해 필요한 정밀도로지도의 최소 정확도 요구 사항에 대해서는 연구를 수행하지 않았다. 정밀도로지도가 정확할수록 평가의 신뢰도는 증가하지만 정밀도로지도를 구축하는 방법이 복잡하고 비용이 크기 때문이다. 향후 이를 고려한 정밀도로지도의 최소 정확도에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 또한, 실제 도로 환경은 단일 차선보다는 차선의 모양과 색이 조합된 다양한 차선 유형의 조합이 발생하며 차선 유형의 조합이 발생하기 때문에 4종의 차선 유형은 대표적인 조합에 해당한다. 따라서 실제 도로에서 정밀도로지도를 이용하여 차로 이탈 경고시스템의 평가를 할 수 있는 방안에 대한 추가 연구가 필요하다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, S.J. 2010. Test Procedures of Lane Departure Warning System for Passenger Car : Road and Ambient Conditions and Test Procedures. Journal of the Korean Society of Automotive Engineers 32(6): 27-33 (최성진. 2010. 승용차용 차선이탈 경고장치의 성능시험방법 : 도로 및 환경 조건과 시험방법. 오토저널 32(6) 27-33).
- European New Car Assessment Programme. 2015. Test Protocol - Lane Support Systems, International Organization for Standardization. 2017. Intelligent transport systems -- Lane departure warning systems -- Performance requirements and test procedures (ISO 17361:2017).
- Kim, J.D., and I.J. Jun., 2014. Development of an Evaluation System for a Lane Keeping Assistance System using the Real-time Image. Journal of the Transaction of Korean Society of Automotive Engineers, Annual Conference 789-791 (김종대, 전인자, 2014, 실시간 영상을 이용한 차선유지 지원장치(LKAS)용 평가장치 개발, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, 789-791).
- Kim, M.W., S.C. Moon., D.N. Joo and S.G. Lee. 2014. Matching GIS Lane Data with Vehicle Position Using Camera Image. Journal of the Transaction of Korean Society of Automotive Engineers 22(7):40-47 (김민우, 문상찬, 주다니, 이순걸, 2014, 영상을 이용한 주행차량 위치정보와 GIS 차선 데이터 매칭 기법, 한국자동차공학회지, 22(7): 40-47).
- Lengyel, H., and Szalay, Z. 2018. Classification of traffic signal system anomalies for environment tests of autonomous vehicles. Production Engineering Archives. 19(3): 43-47 (Accessed June 22, 2018).
- National Highway Traffic Safety Administration, 2013, Lane Departure Warning System Confirmation Test And Lane Keeping Support Performance Documentation.
- National Geographic Information Institute. 2019. High Definition Map building manual (국토지리정보원. 2019. 정밀도로지도 구축 매뉴얼)
- Park, Y.K., Kang, W.P., Choi, J.E., and Kim, B.J. 2019. A Study on the evaluation of real-time map update technology for automated driving. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(3):146-154 (박유경, 강원평, 최지은, 김병주. 2019. 자율주행 지원을 위한 정밀도로지도 갱신기술 평가를 위한 기준 도출 연구. 한국지리정보학회지 22(3):146-154).
- Seol, J.H., Lee, W.J., Choi, Y.S., and Jeong I.H. 2019. A Study on the renewal system of domestic high definition maps. Journal of the Korean Association of

- Geographic Information Studies 22(3): 133-145 (설재혁, 이원중, 최윤수, 정인훈. 2019. 우리나라 정밀도로지도의 갱신체계에 관한 연구. 한국지리정보학회지 22(3):133-145).
- Won, S.Y., Moon, J.Y., Yoon, S.Y., and Choi, Y.S. 2019. The Future direction of HD map industry development plan and governance. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(3): 120-132 (원상연, 문지영, 윤서연, 최윤수. 2019. 정밀도로지도 산업 발전 방향 및 대응 방안 연구. 한국지리정보학회지 22(3):120-132).
- Won, S.Y., Jeon, Y.J., Jeong, H.W., and Kwon, C.O. 2020. A Comparison of Korea Standard HD Map for Actual Driving Support of Autonomous Vehicles and Analysis of Application Layers. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 23(3):132-145 (원상연, 전영재, 정현우, 권찬오. 2020. 자율주행 자동차 실주행 지원을 위한 표준 정밀도로지도 비교 및 활용 레이어 분석. 한국지리정보학회지 23(3):132-145). [KAGIS](#)