

# 동적·정적 자료 기반 도로위험도 산정 알고리즘 개발

## Developing Road Hazard Estimation Algorithms Based on Dynamic and Static Data

양충현\* · 김진국\*\*

\* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 차세대인프라연구센터 연구위원

\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 차세대인프라연구센터 전임연구원

Choongheon Yang\* · Jinguik Kim\*

\* Dept. of Infrastructure Safety Research, Future Infrastructure Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Choongheon Yang, chyang@kict.re.kr

Vol.19 No.4(2020)

August, 2020

pp.55~66

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.4.55>

2020.19.4.55

Received 22 July 2020

Revised 31 July 2020

Accepted 19 August 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

본 연구에서는 사업용 차량 수집정보를 통해 도로위험을 계량화하고 검증할 수 있는 네 가지 알고리즘과 관련 지수를 개발하였다. 도로위험도 산정을 위해서 사업용 차량의 블랙박스과 디지털 운행 기록계로 부터 원시 데이터를 수집하였다. 포트홀, 도로 결빙, 안개 등 가공 처리된 데이터는 사업용 차량 수집정보 공유시스템에서 생성이 가능하다. 도로 위험도 산정 알고리즘은 기본적으로 이러한 수집정보와 도로 기하구조 자료를 활용하였다. 가공 처리된 데이터에 따라 총 4개의 서로 다른 도로 위험 알고리즘과 관련 지표를 개발하였다. 과거 이력자료를 근거로 상습결빙구간 및 안개다발구간인 국도 19호선(강원도)과 국도 1호선(세종시 인근)을 대상으로 수동형 운행기록계를 이용하여 알고리즘 검증을 수행하였다. 단기적으로 실제 도로위험정보 취득에 어려움이 있어 가상으로 위험정보를 수집하여 알고리즘을 검증한 결과 특징적인 알고리즘 오류는 발생하지 않았다. 본 연구는 지점이 아닌 구간을 기반으로 도로 위험정보를 제공하기 때문에 도로 이용자는 물론 도로 유지관리기관에도 실질적인 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 도로위험, 사업용 차량, 도로 유지관리, 도로 기하구조 정보, 디지털 운행 기록계

### ABSTRACT

This study developed four algorithms and their associated indices that can quantify and qualify road hazards along roadways. Initially, relevant raw data can be collected from commercial vehicles by camera and DTG. Well-processed data, such as potholes, road freezing, and fog, can be generated from the Integrated management system. Road hazard algorithms combine these data with road inventory data in the Data Sharing Platform. Depending on well-processed data, four different road hazard algorithms and their associated indices were developed. To test the algorithms, an experimental plan based on passive DTG attached in probe vehicles was performed at two different test locations. Selection of the test routes was based on historical data. Although there were limitations using random data for commercial vehicles, hazardous roadways sections, such as fog, road freezing, and potholes, were generated based on actual historical data. As a result, no algorithm error was found in the entire test. Because this study provides road hazard information according to a section, not a point, it can be practically helpful to road users as well as road agencies.

Key words : Road hazard, Commercial vehicle, Road management system, Road inventory data, Dtg

## I. 서 론

“안전”에 대한 국민들의 관심과 요구가 도로교통 분야에도 매우 증가하고 있다. 지난 2012년 미래창조과학부(現 과학기술정보통신부)에서 시행한 교통정보관련 설문조사에 따르면, 실시간 교통정보콘텐츠 중 노면 상태 주의정보와 악천후 등 도로기상 정보가 각각 92.8%, 95%가 필요하다고 조사되었다. 이는 실시간 교통소통 정보 서비스에 대한 이용률 및 정보에 대한 신뢰도 증가에 따라 보다 다양하고 실시간성이 높은 교통정보콘텐츠를 요구하는 비중이 높아졌기 때문으로 추정된다. 설문조사결과와 같이, 기존 교통속도 위주의 소통정보 이외에 도로기상 및 도로위험 정보 등 주행 중 운전자가 실제로 경험할 수 있는 불안정 상황(unstable conditions)을 해결해 줄 수 있는 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다고 볼 수 있다.

이러한 수요에 부합하기 위해서는 공공주도의 물리적 인프라 투자를 점진적으로 지양하고, 민간과 적극적인 협력을 통해 각자가 보유하고 있는 정보인프라 및 정보자산을 공유할 수 있는 방향으로 인프라 구축 및 이에 상응하는 투자가 계획되고, 수행되는 것이 보다 효율적일 것이다. 실제로 국토교통부의 경우, 기존 도로관리청 중심의 교통정보 수집을 위한 교통체계 인프라 구축 정책을 지양하고, 민간의 교통정보를 적극적으로 활용하는 정책을 추진한 바 있다. 내용의 핵심은 교통소통정보는 민간이 주도적으로 수집·제공하고, 공공은 도로안전중심의 정보를 수집·가공·처리하여 민간과 공유하는 것이다. 도로 안전정보는 도로변 특정지점에 고정된 장비 또는 시스템을 구축하여 수집할 수 있지만, 이는 도로구간에 따른 실질적인 주행위험 정보를 적시적소에 파악하기 어려운 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서 도로를 주행하는 차량으로부터 직접 데이터를 수집하기 위한 다양한 노력들이 진행되었다.

우리나라의 화물 및 여객수송 업무를 담당한 사업자가 사용하는 차량은 안전 이슈 때문에 정부의 관리를 받고 있다. 이러한 사업용 차량은 전국 주요 도로구간을 대상으로 주기적으로 운행하고 있으며, 특히, 버스 및 화물차의 경우, 승용차에 비해 시야가 높아 교통상황정보를 수집하기가 더 용이하다. 무엇보다도 도로교통법, 화물자동차운수법, 자동차 안전기준에 관한 규칙에 근거하여 차내 교통안전장치를 의무적으로 설치할 수 있다(Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2017). 대형 물류업체 및 민간 교통정보사업자를 중심으로 사업용 차량에 의무 장착된 DTG(Digital Tachograph, 운행기록계)를 활용하면 차량의 위치, 주행속도, 감·가속도, 이동시간 등을 운전자에게 제공해 줄 수 있다. 현재 국내 DTG 장착 사업용 차량이 약 40만대로 집계된다. 그리고 향후에는 더욱 증가할 것으로 예측된다. 이러한 차량들을 활용한다면, 현재와는 분명히 차별화된 多量·高품질의 정보 수집과 활용이 가능할 것이다.

지난 18-19년 기간에 사업용 차량에 장착된 장비를 통해 중요한 도로위험정보(노면결빙, 안개, 포트홀)를 수집·가공·처리되는 기술<Fig. 1>과 이를 공공 및 민간에 공유할 수 있는 정보공유시스템이 개발되었다(Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2019).



<Fig. 1> Data Collecting Device and Available Data

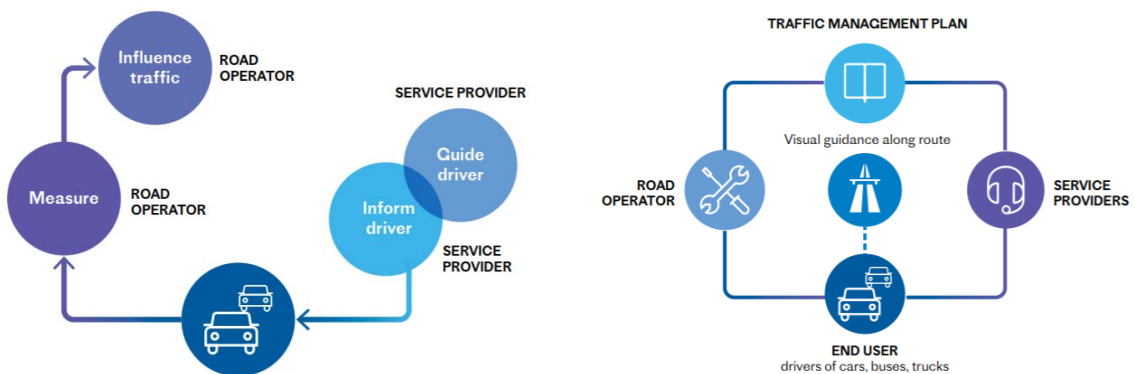
본 연구에서는 정보공유시스템 내에서 사업용 차량으로부터 수집된 자료와 기존에 도로관리기관에 축적되어 있는 도로속성자료를 융합하여 도로구간에 따른 도로위험정도를 정량화 할 수 있는 알고리즘과 지표를 개발하였다. 또한, 실도로 실험계획에 근거한 사업용 차량 수집자료와 해당구간의 도로 속성자료를 통해 알고리즘과 지표를 검증하였다.

## II. 문헌고찰

최근 4차 산업혁명에 따라 보다 혁신적인 공공서비스 모델에 대한 검토가 활발히 이루어지고 있다. 필요한 정보자원은 인프라, 데이터, 서비스 등으로 구분하여 정의된다. 초기 공공 서비스모델은 정부에서 우선적으로 인프라와 서비스를 구축하고 서비스 제공 기반에서 데이터를 제공하는 형태였다. 이후에 민간에서도 자체 인프라 및 서비스를 구축하고 데이터를 제공하기 시작했다. 그러나 공공과 민간이 서로 필요한 데이터를 공유하는 것이 가장 이상적인 것으로 간주된다.

국내의 정보화는 1978년 초기 전산화 개념에서 출발하여 2000년 대 전자정부사업에 이르기 까지 급속도로 진행되어 왔으며, 국가정보화를 위한 여러 구상들이 중앙정부 차원에서 계획·실행되었다(Korean Association for Organizational Studies, 2010). 특히, 국토교통부에서는 국토공간정보 융·복합 강화와 IT를 활용한 건축, 부동산 민원서비스 강화를 위해 건축행정시스템(세움터), 부동산종합공부시스템, 지리정보시스템, 공간빅데이터체계, 도시계획정보체계, 건설 CALS/건설산업정보시스템, 하천종합정보시스템을 구축·운영하고 있다. 해외는 국내보다 공공과 민간의 정보공유가 훨씬 활발한 특성이 있으며, 비실시간성 정보보다는 실시간 정보제공에 초점을 맞추고 있다.

본 연구와 관련된 교통정보제공분야의 경우, 유럽과 북미 선진국에서는 2010년 대 중반부터 공공과 민간의 정보공유를 위한 연구개발 및 민·관 협의가 많이 진행되고 있다. 유럽 ITS협의체(민관협동)에서 추진한 Transportation Management(TM) 2.0 플랫폼을 통해 <Fig. 2>와 같이 기존에 공공과 민간이 각자 개별적으로 교통데이터를 보유하고 있던 것으로 공유될 수 있도록 하였다(TM 2.0 홈페이지).



<Fig. 2> The Concept of Data Collection in TM2.0

실제 상용화까지는 총 34개의 민간 기업과 정부기관이 참여한 것으로 총 3년 정도 소요되었다. 이를 통해 공공의 교통관제센터(Traffic Management Center)와 민간정보서비스업체(Traffic Service Provider)는 상호 보완적

인 관계가 될 수 있었다. 또한, 미국의 Waze Data Sharing은 클라우드 기반의 시스템으로 애플리케이션을 통해 도로관리기관과 Probe 차량 데이터를 실시간으로 공유하도록 구성되어 있다(Waze 홈페이지). MDM(Mobility Data Marketplace)은 독일에서 개발되었으며, 중요한 데이터를 공공과 민간이 쉽게 공유 할 수 있는 플랫폼을 개발하였다(MDM 홈페이지). 독일 바이에른의 A9 고속도로가 MDM의 테스트베드로 활용되었는데, 이를 통해 고속도로 주변 사용 가능한 주차시설, 유류가격, 기상조건, 도로 체증구간, 공사구간 등과 같은 교통 상황에 대한 정보를 실시간으로 공유할 수 있도록 하였다.

국내에서는 사업용 차량의 DTG 자료를 활용하는 연구가 많이 진행되어 왔다. Han and Kim(2017)은 사업용 차량 DTG 자료의 원시 및 가공단계에 따른 특징을 상세히 고찰하였다. 특히, 가공단계에 따른 개별차량의 주행패턴, 링크통행시간, 그리고 링크통행시간정보의 특성 등을 분석하였다. Cho et al.(2017) 연구에서는 고속도로 졸음운전 위험구간 분석을 위해 화물차량 DTG자료를 활용하였다. 이를 바탕으로 고속도로의 졸음운전 위험구간을 산정하였다. 이 밖에도 고속버스 및 택시에서 수집한 DTG자료를 근거로 이용자 행태분석, 교통류 분석, 위험운전 행태 분석 등을 수행한 연구들이 많이 있다(Kim et al., 2018; Lee et al., 2019; Kwon et al., 2019).

기존 연구사례를 분석한 결과, 사업용 차량의 DTG자료를 이용하는 것은 수집범위, 수집량, 실행 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 사업용 차량의 DTG 자료를 활용하여 도로구간의 포트홀, 안개, 결빙을 판정할 수 있는 가공·처리된 정보와 도로관리기관에서 보유하고 있는 도로속성자료(예: 도로기하구조, 도로시설물 속성 및 위치정보 등)를 융합하여 새로운 도로위험정보를 생산해낼 수 있는 알고리즘과 그에 상응한 지표를 개발하였고, 실험조건 하에서 수집한 자료를 근거로 평가를 수행하였다.

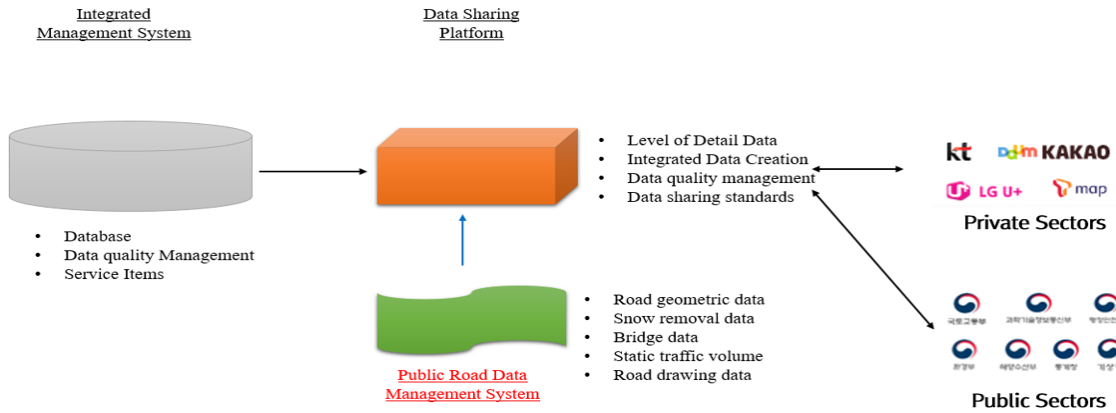
### Ⅲ. 도로위험알고리즘 및 지표개발

#### 1. 정보공유 시스템 개요

앞서 언급하였듯이, 본 연구에서는 사업용 차량의 DTG 및 영상(블랙박스 형태)에서 추출한 자료를 가공·처리한 도로위험정보(포트홀, 결빙, 안개)와 도로속성자료를 융합한 새로운 정보콘텐츠를 공공과 민간에 공유하기 위한 정보공유시스템을 <Fig. 3>과 같은 개념으로 구축하였다. 도로 상의 위험정보는 일부 공공기관에서만 국부적으로 수집·활용되어 도로이용자의 실질적 안전향상에는 미흡한 측면이 있었다. 정보공유시스템은 사업용 차량에서 수집·가공 처리된 도로위험자료를 도로속성자료와 혼합하여 운전자는 물론 도로관리자의 필요에 맞게 정량화하고 이를 다양한 형태(예: text, index, visualization)로 제공할 수 있도록 구성되어 있다. 공유시스템의 정보 공유방식은 위치정보(GIS 기반 포출 포함) Open-API를 기반으로 하는데, 이는 대부분의 정보공유콘텐츠가 위치정보임을 고려한 것이다. 최종 공유 방식은 국토교통부 공공 포털 Open-API 형태를 준용하였다. 이러한 방식은 현재 여러 민간정보서비스업체(예: T-map 등)도 적용하고 있다.

도로속성자료는 도로관리통합시스템(Highway Management System)에 DB화되어 있는 자료를 활용하였다. 이 시스템은 국토교통부에서 운영하고 있는데, 일반국도 유지관리 업무 절차의 체계적인 관리와 업무를 데이터 기반으로 분석·관리하여 궁극적으로 효율적인 도로관리 운영 업무를 수행하기 위한 것으로 다양한 도로속성자료를 포함하고 있다. 정보 활용측면에서는 노선정보, 도로대장정보, 교량정보, 터널정보, 포장정보, 교통량정보, 도로비탈면정보, 도로제설정보 등이 있다. 또한 공간정보측면에서도 전용차로, 이정표시, 위험국도, 국도점용, 표

지, 교량, 터널, 도로구역, 지적, 비탈면, ITS공사, 사고정보, CCTV, 로드뷰, 위성과 도로 등을 포함하고 있다. 특히, 도로대장에는 종단경사, 중앙분리대, 차량방호안전시설, 낙석방지시설 등이 포함되어 있다.



<Fig. 3> Overall Concept of the System

시스템 안에 포함된 모든 DB는 모두 비실시간성의 특성을 가지고 있어, 도로이용자 입장에서 바로 활용하기 어려운 측면이 있다. 알고리즘 개발을 위해 가공·처리된 사업용 차량 정보 특성과 도로관리통합시스템 DB에 있는 정보 특성을 종합적으로 고려하여, 다음 <Table 1>과 같이 활용 데이터 군(Data Group)을 정립하였다.

<Table 1> Available Data Group of Road Inventory

Commercial Vehicle Data (Dynamic)	Road Inventory Data for National Highways (Static)	Other Data
<ul style="list-style-type: none"> <li>Real-time road freezing</li> <li>Real-time pothole</li> <li>Real-time fog</li> <li>Vehicle ID</li> <li>Vehicle speed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snow removal vulnerable roadway section</li> <li>The length of bridge (more than 50m)</li> <li>Roadway section for +/- 3% grade</li> <li>Grade</li> <li>Climbing lanes</li> <li>Traffic volume</li> <li>Real-time traffic speed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weather forecasts</li> <li>Current weather</li> <li>Real-time and Non real-time precipitation probability</li> </ul>

## 2. 도로위험 알고리즘 개발

사업용 차량에서 수집된 가공·처리 데이터 기반 도로위험 알고리즘(Road Hazard Algorithm)은 사업용 차량에서 수집한 포트홀, 안개, 결빙 자료(동적)와 도로속성자료(정적)를 기반으로 실시간 또는 비실시간 도로위험정도를 정량화하는 것이다. 표준노드링크체계를 기반으로 해당 구간(링크)에 대한 도로위험정보 제공이 가능하다. 사업용 차량에서 수집된 가공·처리 데이터 기반 도로위험 알고리즘은 총 4가지 형태의 알고리즘으로 구성된다.

도로위험(포트홀)정보 제공 알고리즘(Road Hazard Algorithm-Pothole)은 사업용 차량에서 수집한 포트홀 정보와 해당 구간(링크)의 평균통행속도 정보를 기반으로 한다. 이는 포트홀로 인한 도로구간별 상대적 위험도를 나타낸다. Pothole Risk Degree는 포트홀로 인한 위험 정도를 나타내는 지표이다.

$$Pothole Risk Degree = \lambda_t^{pd} \times \text{구간평균통행속도} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

$$\lambda_t^{pd} = \frac{CV_{potholedetect}}{CV_{pass}}$$

$\lambda_t^{pd}$  : t시간 동안 사업용 차량이 포트홀을 검지한 비율

$CV_{pass}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수

$CV_{potholedetect}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수 중 포트홀을 검지한 차량 대수

도로위험(안개)정보 제공 알고리즘(Road Hazard Algorithm-Fog)은 사업용 차량에서 수집한 안개 정보와 해당 구간(링크)의 평균통행속도 정보를 기반으로 안개로 인한 도로구간별 상대적 위험도를 나타낸다. Fog Risk Degree는 안개로 인한 위험 정도를 나타낸다.

$$Fog Risk Degree = \lambda_t^{fd} \times \text{구간평균통행속도} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

$$\lambda_t^{fd} = \frac{CV_{fogdetect}}{CV_{pass}}$$

$\lambda_t^{fd}$  : t시간 동안 사업용 차량이 안개를 검지한 비율

$CV_{pass}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수

$CV_{fogdetect}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수 중 안개를 검지한 차량 대수

도로위험(결빙)정보 제공 알고리즘(Road Hazard Algorithm-Road Freezing)은 사업용 차량에서 수집한 결빙 정보와 해당 구간(링크)의 평균통행속도, 도로기하구조 특성, 교량통과여부, 기상정보(강수확률)를 기반으로 결빙으로 인한 도로구간별 상대적 위험도를 나타낸다. Road Freezing Risk Degree는 노면결빙으로 인한 위험 정도를 나타낸다.

$$Road Freezing Risk Degree = W_w \times \lambda_t^{rfd} \times \lambda_{bd} \times \lambda_{gd} \times \text{구간평균통행속도} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

$$\lambda_t^{rfd} = \frac{CV_{rfdetect}}{CV_{pass}}$$

$$\lambda_{bd} = \frac{CV_{bpass}}{CV_{rfdetect}}$$

$$\lambda_{gd} = \frac{CV_{gpass}}{CV_{rfdetect}}$$

$\lambda_t^{rfd}$  : t시간 동안 사업용 차량이 결빙을 감지한 비율

$CV_{pass}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수

$CV_{rfdetect}$  : 특정구간을 통과한 사업용 차량 대수 중 결빙을 검지한 차량 대수

$\lambda_{bd}$  : 교량구간에서 결빙을 검지한 사업용 차량의 비율

$CV_{bpass}$  : 교량구간을 통과한 총 사업용 차량 대수

$\lambda_{gd}$  : 구배구간에서 결빙을 검지한 사업용 차량의 비율

$CV_{gpass}$  : 구배구간을 통과한 총 사업용 차량 대수

$W_w$  : 기상청 제공 현재 날씨(또는 예보)중 강수 확률을 고려한 가중치

도로위험(안개 및 결빙)정보 제공 알고리즘(Road Hazard Algorithm-Road Freezing & Fog)은 사업용 차량에서 동시에 검지한 결빙 및 안개 정보와 해당 구간(링크)의 평균통행속도, 도로기하구조 특성, 교량통과여부, 기상정보(강수확률)를 기반으로 결빙 및 안개로 인한 도로구간별 상대적 위험도를 나타낸다. Road Freezing-Fog Risk Degree는 결빙과 안개가 동시에 발생했을 때의 위험 정도를 나타낸다.

$$\text{Road Freezing-Fog Risk Degree} = W_w \times \lambda_t^{ffd} \times \lambda_{bd} \times \lambda_{gd} \times \text{구간평균통행속도} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

$$\lambda_t^{ffd} = \frac{CV_{ffdetect}}{CV_{pass}}$$

$$\lambda_{bd} = \frac{CV_{bpass}}{CV_{rfdetect}}$$

$$\lambda_{gd} = \frac{CV_{gpass}}{CV_{rfdetect}}$$

- $\lambda_t^{ffd}$  : t시간 동안의 사업용 차량이 안개와 결빙을 동시에 검지한 비율
- $CV_{pass}$  : 특정구간을 통과한 총 사업용 차량 대수
- $CV_{ffdetect}$  : 특정구간을 통과한 사업용 차량 대수 중 안개와 결빙을 동시에 검지한 차량 대수
- $\lambda_{bd}$  : 교량구간에서 안개와 결빙을 검지한 사업용 차량의 비율
- $CV_{bpass}$  : 교량구간을 통과한 총 사업용 차량 대수
- $\lambda_{gd}$  : 구배구간에서 안개와 결빙을 검지한 사업용 차량의 비율
- $CV_{gpass}$  : 구배구간을 통과한 총 사업용 차량 대수
- $W_w$  : 기상청 제공 현재 날씨(또는 예보)중 강수 확률을 고려한 가중치

(1) ~ (4)에 걸쳐 사용되는 구간평균통행속도는 非실시간인 경우 교통량정보시스템(Traffic Management System)의 DB로부터 과거 이력정보를 활용하고, 실시간인 경우 국가교통정보센터로부터 연계하여 활용하도록 구성하였다.

### 3. 도로위험지표 생성

사업용 차량에서 수집된 가공·처리 데이터 기반 도로위험 알고리즘(Road Hazard Algorithm)을 통해 정량화된 4가지 도로위험정도는 정규화(Normalization)를 통해 4가지 지표로 시각화하였다. 정규화(Normalization)를 위한 2가지 핵심 알고리즘을 개발하였다.

Z-값 산정은 사업용 차량에서 검지한 데이터를 가공·처리한 최종 정보는 정규분포를 따른다고 가정하였다 (Yang and Regan, 2013). 이는 통계관점에서의 표본추출과 관련된 것으로 정보의 유효성을 어느 정도 보장하기 위해서는 30개의 표본(예: 사업용 차량 30대가 특정구간을 통과함)이 적정하며, 표본수가 30개 이상인 경우, 정규분포에 근사하는 것을 참조한 것이다.

$$Z_i^t = \left( \frac{X_{t-1,t}^i - \mu_{0,t}}{\sigma_{0,t}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

- $\mu_{0,t}^i$  : t시간 동안 수집된 사업용 차량 정보 i의 평균
- $\sigma_{0,t}^i$  : t시간 동안 수집된 사업용 차량 정보 i의 표준편차
- $X_{t-1,t}^i$  : t-1에서 t시간 동안 수집된 사업용 차량 정보 i의 평균
- i : 가공·처리된 포트홀, 안개, 결빙 정보

100점 환산 점수는 Z-값을 변환하는 식으로 이는 최종 정보 사용자가 매우 쉽게 직관적으로 도로위험 정도를 인지할 수 있도록 하기 위한 것으로 100점에 근접할수록 도로위험 정도가 심각함을 나타낸다(Yang and Regan, 2013). <Table 2>는 변환식을 나타낸다.

<Table 2> 100-Score Conversion Formula

Range	Conversion Formula
$1.645 \leq Z \leq \text{Max}(Z)$	$50 + \{[(95+5 \times \{(Z-1.645)/(\text{Max}(Z)-1.645)\})] \times 0.5\}$
$1.282 \leq Z \leq 1.645$	$50 + \{[(90+5 \times \{(Z-1.282)/(1.645-1.282)\})] \times 0.5\}$
$1.038 \leq Z \leq 1.282$	$50 + \{[(85+5 \times \{(Z-1.038)/(1.282-1.038)\})] \times 0.5\}$
$0.842 \leq Z \leq 1.038$	$50 + \{[(80+5 \times \{(Z-0.842)/(1.038-0.842)\})] \times 0.5\}$
$0.676 \leq Z \leq 0.842$	$50 + \{[(75+5 \times \{(Z-0.676)/(0.842-0.676)\})] \times 0.5\}$
$0.526 \leq Z \leq 0.676$	$50 + \{[(70+5 \times \{(Z-0.526)/(0.676-0.526)\})] \times 0.5\}$
$0.387 \leq Z \leq 0.526$	$50 + \{[(65+5 \times \{(Z-0.387)/(0.526-0.387)\})] \times 0.5\}$
$0.255 \leq Z \leq 0.387$	$50 + \{[(60+5 \times \{(Z-0.255)/(0.387-0.255)\})] \times 0.5\}$
$-0.255 \leq Z \leq 0.255$	$50 + \{[(40+5 \times \{(Z+0.255)/(0.255+0.255)\})] \times 0.5\}$
$-0.387 \leq Z \leq -0.255$	$50 + \{[(35+5 \times \{(Z+0.387)/(-0.255+0.387)\})] \times 0.5\}$
$-0.526 \leq Z \leq -0.387$	$50 + \{[(30+5 \times \{(Z+0.526)/(-0.387+0.526)\})] \times 0.5\}$
$-0.676 \leq Z \leq -0.526$	$50 + \{[(25+5 \times \{(Z+0.676)/(-0.676+0.842)\})] \times 0.5\}$
$-0.842 \leq Z \leq -0.676$	$50 + \{[(20+5 \times \{(Z+0.842)/(-0.676+0.842)\})] \times 0.5\}$
$-1.038 \leq Z \leq -0.842$	$50 + \{[(15+5 \times \{(Z+1.038)/(-0.842+1.038)\})] \times 0.5\}$
$-1.282 \leq Z \leq -1.038$	$50 + \{[(10+5 \times \{(Z+1.282)/(-1.038+1.282)\})] \times 0.5\}$
$-1.645 \leq Z \leq -1.282$	$50 + \{[(5+5 \times \{(Z+1.645)/(-1.282+1.645)\})] \times 0.5\}$
$\text{Min}(Z) \leq Z \leq -1.645$	$50 + \{[(0+5 \times \{(Z+\text{Min}(Z))/(-1.645+\text{Min}(Z))\})] \times 0.5\}$

환산된 점수를 바탕으로 <Table 3>과 같이 최소 점수 50, 최대 점수 100 범위를 등간 구분하여 제시하였다. 환산식에서 최소점수 50점을 설정한 것은 특정 환산 점수가 비정상적으로 작은 점수에 의해 과도하게 영향 받지 않도록 하기 위함이다. <Table 3>의 도로위험지표 4가지 카테고리는 국토교통부와 행정안전부에서 현재 활용 중인 “도로분야 위기대응 단계별 수행요령(대설)”을 준용하여 설정하였다.

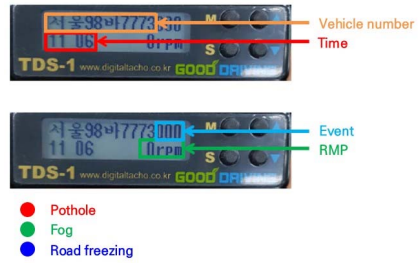
<Table 3> Road Hazard Index

Index	Attention	Caution	Alert	Seriousness
100 scores	50~63	64~75	75~88	88~100

#### IV. 알고리즘 검증을 위한 실험테스트

실제 사업용 차량의 DTG 및 영상자료 수집을 통한 활용은 올해 말로 예정되어 있어, 그 전에 알고리즘 및 지표 산정과정을 검증을 위해 Probe 차량과 <Fig. 4>와 같이 수동형 운행기록계를 활용하는 실험계획을 수립하였다.





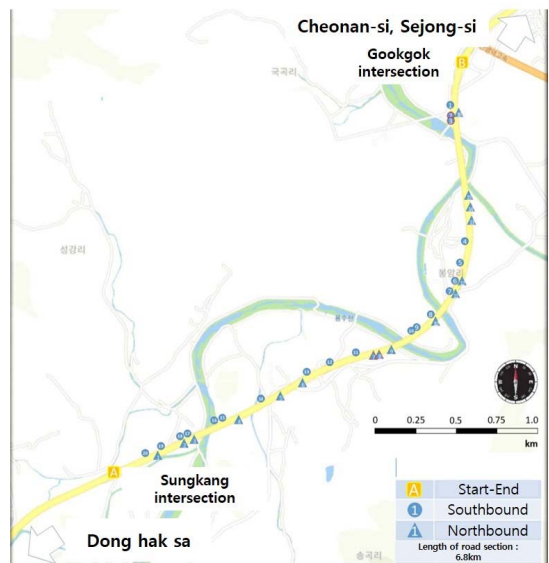
<Fig. 4> Device of Road Hazard Generator

과거 이력자료를 근거로 테스트구간을 설정하고, 일정한 주행 간격으로 설정 지점 또는 구간을 통과할 때 수동형 운행기록계를 통해 이벤트 (결빙, 안개, 포트홀)를 발생시킨다. 운행기록계에는 도로위험요소별로 구분되어 있고, 포트홀은 지점정보를 결빙과 안개는 구간정보를 출력하는 방식으로 실제 사업용 차량 수집 자료와 동일하게 구성하였다.

조사 대상은 일반국도로 회차가 가능하고, 도로 및 교통조건이 전체 알고리즘 평가에 적합한 곳으로 선정하였다. 최소 유효 표본수는 50개로 설정하였다. 실험구간은 앞서 언급한 도로 및 교통조건을 고려하여 <Fig. 5>와 같이 국도 19호선 (강원도) 및 국도 1호선(세종시 인근) 두 군데로 선정하였다. 전자의 경우, 편도 6.8km구간으로 강원도가 지정한 겨울철 상습결빙구간 2지점을 포함하고 있다. 후자의 경우, 편도 4.0km로 안개상습발생구간을 포함하고 있다. 총 주행횟수는 강원도 지역 18회, 세종시 인근 지역 36회로 진행하였다. 과거이력자료를 검토한 후 포트홀, 결빙, 안개의 발생빈도가 상대적으로 높았던 지역을 선정한 것이다.



Kangwon-do

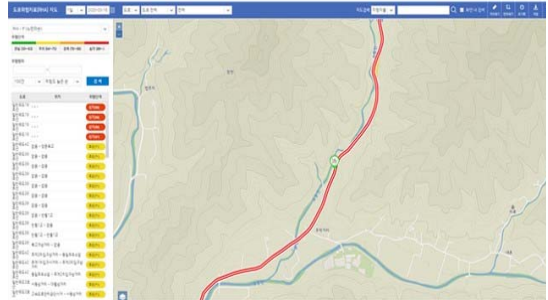


Sejong-si, Gongju-si

<Fig. 5> Test Sites

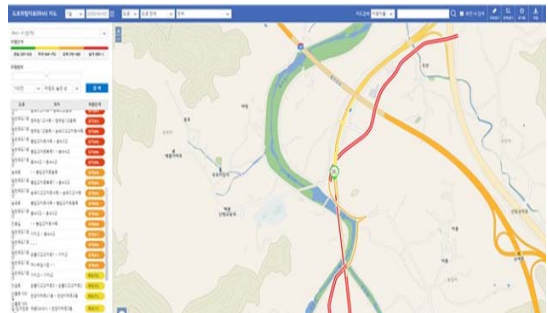
본 연구에서는 RHA-P(포트홀 도로위험알고리즘), RHA-F(안개 도로위험알고리즘), RHA-RF(결빙 도로위험 알고리즘), RHA-RFF(결빙-안개 도로위험알고리즘) 등 4가지 알고리즘을 개발하여 테스트를 수행하였다. 사업용 차량 수집정보를 기반으로 도로속성자료와의 융합을 통해 다양한 형태의 위험정보를 제공하게 되며, 실험테스트에 의한 결과는 다음 <Fig. 6> ~ <Fig. 9>와 같다. 실험조사를 통해 수집한 자료를 기반으로 테스트 구간에 대한 도로위험도 산정 결과 포트홀, 결빙, 결빙-안개의 경우에는 주의와 심각으로 나타났으며, 안개는 주의, 경계, 심각으로 나타났다. 본 실험테스트는 도로위험정보를 시스템을 통해 제공하기 위한 전체적인 프로세스에 문제가 없는지를 확인하는데 의의가 있다.

업무영역		사업용 차량 수집정보 통합분석시스템												
시나리오 ID	S1-S2-S2-1	대상지	강원도	알고리즘	포트홀									
날짜	2020.03.16	링크	2580043500	도로	일반국도19호선									
내용														
사업용 차량 연구과제 데이터 정합성 검증 툴 - 정보공유시스템														
작업번호 [20200316] : RHA-P														
No	링크	항목ID	도로	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> 연속	C <sub>1</sub> 연속거리	A <sub>2</sub> *구간도	A <sub>2</sub>	FRD	Z	RF	RF	등급	
1	20200316	2580043500	남부수도고속	2.1181	100	56	884.7626	884.7626	1.8774	87.9796	4	4	심각	
2	20200316	2580043500	남부수도고속	2.1495	100	48	1733.9495	1733.9495	1.3192	87.9796	4	4	심각	
3	20200316	2580043500	남부수도고속	2.1703	140	45	520.4483	520.4483	1.8773	87.9796	4	4	심각	
4	20200316	2580043500	남부수도고속	2.1717	120	127	1242.2071	1242.2071	1.5820	87.9796	4	4	심각	
5	20200316	2580000000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
6	20200316	2580007000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
7	20200316	2580008000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
8	20200316	2580009000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
9	20200316	2580010000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
10	20200316	2580009000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
11	20200316	2580008000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
12	20200316	2580007000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
13	20200316	2580006000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
14	20200316	2580005000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
15	20200316	2580004000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
16	20200316	2580003000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
17	20200316	2580002000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
18	20200316	2580001000	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
19	20200316	2580043500	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2
20	20200316	2580043500	남부수도고속	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17.25	2



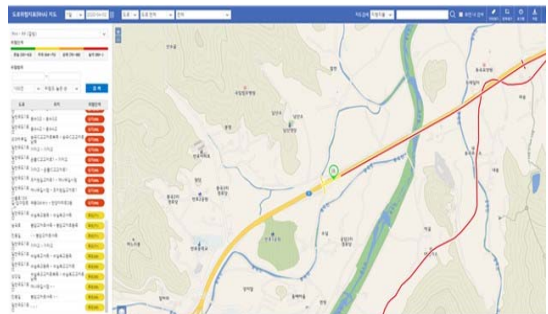
<Fig. 6> Results of RHA-P

업무영역		사업용 차량 수집정보 통합분석시스템											
시나리오 ID	S11-S16	대상지	세종시, 공주시	알고리즘	안개								
날짜	2020.04.02	링크	2930161800	도로	일반국도1호선								
내용													
사업용 차량 연구과제 데이터 정합성 검증 툴 - 정보공유시스템													
작업번호 [20200402] : RHA-F													
No	링크	항목ID	도로	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> 연속	C <sub>1</sub> 연속거리	A <sub>2</sub> *구간도	A <sub>2</sub>	FRD	Z	RF	RF	등급
1	20200402	2930161800	남부수도고속	0.2082	100	20	103.7937	103.7937	1.4018	89.1501	4	4	심각
2	20200402	2930161800	남부수도고속	0.1709	117	20	103.7937	103.7937	1.1621	88.0603	4	4	심각
3	20200402	2930179000	남부수도고속	0.2009	80	20	21.9988	21.9988	1.1618	89.1501	4	4	심각
4	20200402	2930200000	남부수도고속	0.1244	133	24	13.6488	13.6488	1.1493	89.3707	4	4	심각
5	20200402	2930219000	남부수도고속	0.2084	124	37	21.4822	21.4822	1.0306	88.4404	4	4	심각
6	20200402	2930237000	남부수도고속	0.1773	106	33	23.3998	23.3998	1.01	89.1403	4	4	심각
7	20200402	2930256000	남부수도고속	0.1688	106	71	40.5903	40.5903	1.0037	89.0707	4	4	심각
8	20200402	2930249000	남부수도고속	0.1782	87	33	33.3827	33.3827	1.0007	89.7688	4	4	심각
9	20200402	2930256000	남부수도고속	0.1728	76	27	10.7124	10.7124	0.9774	89.4800	4	4	심각
10	20200402	2930260000	남부수도고속	0.2013	71	87	37.4169	37.4169	0.9993	89.4933	4	4	심각
11	20200402	2930261000	남부수도고속	0.2417	100	65	40.2044	40.2044	0.9304	89.1278	4	4	심각
12	20200402	2930262000	남부수도고속	0.1749	106	76	50.2009	50.2009	0.9203	89.1333	4	4	심각
13	20200402	2930248000	남부수도고속	0.1733	103	70	58.8168	58.8168	0.9207	89.0840	4	4	심각
14	20200402	2930247000	남부수도고속	0.1709	102	42	44.4629	44.4629	0.9204	89.0840	4	4	심각
15	20200402	2930237000	남부수도고속	0.1811	90	73	40.2024	40.2024	0.9193	89.3405	4	4	심각
16	20200402	2930236000	남부수도고속	0.1760	118	69	50.9077	50.9077	0.9103	89.0711	4	4	심각
17	20200402	2930235000	남부수도고속	0.2021	86	29	22.4874	22.4874	0.9021	89.7607	4	4	심각
18	20200402	2930234000	남부수도고속	0.1768	96	69	40.5844	40.5844	0.8883	89.7607	4	4	심각
19	20200402	2930233000	남부수도고속	0.1869	102	87	50.0526	50.0526	0.8907	89.2000	4	4	심각
20	20200402	2930249000	남부수도고속	0.17	90	68	50.4824	50.4824	0.8278	89.7807	4	4	심각



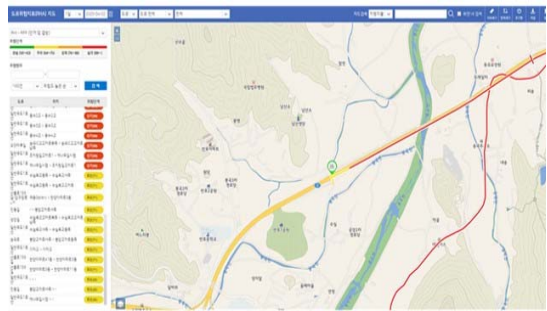
<Fig. 7> Results of RHA-F

업무영역		사업용 차량 수집정보 통합분석시스템												
시나리오 ID	S5-S10	대상지	세종시, 공주시	알고리즘	결빙									
날짜	2020.04.02	링크	2860023200	도로	일반국도1호선									
내용														
사업용 차량 연구과제 데이터 정합성 검증 툴 - 정보공유시스템														
작업번호 [20200402] : RHA-RF														
No	링크	항목ID	도로	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> 연속	C <sub>1</sub> 연속거리	A <sub>2</sub> *구간도	A <sub>2</sub>	FRD	Z	RF	RF	등급	
1	20200402	2860023200	남부수도고속	0.2041	73	1	1.8113	0.0141	0.0141	0.00	20200402	204493.9	100	4
2	20200402	2860023200	남부수도고속	0.2001	120	1	0.9066	0.0081	1	0.00	20200402	4693.9	87.9719	4
3	20200402	2860217802	남부수도고속	0.2008	118	1	0.825	0.0089	1	0.00	20200402	4693.9	87.9719	4
4	20200402	2860219004	남부수도고속	0.2004	106	1	0.8043	0.0084	1	0.00	20200402	4193.9	87.9719	4
5	20200402	2860215708	남부수도고속	0.2008	106	1	0.7155	0.0086	1	0.00	20200402	4193.9	87.9719	4
6	20200402	2860215023	안동고속도로	0.2011	100	1	0.8059	0.01	1	0.00	20200402	3993.9	87.9688	4
7	20200402	2860248000	남부수도고속	0.2007	103	1	0.3384	0.0087	1	0.00	20200402	3857.9213	87.9403	4
8	20200402	2860248000	남부수도고속	0.2111	90	1	0.8003	0.0113	1	0.00	20200402	3479.9	87.9403	4
9	20200402	2860238001	남부수도고속	0.2115	87	1	0.7872	0.0123	1	0.00	20200402	3213.9	87.9403	4
10	20200402	2860218000	남부수도고속	0.2003	120	1	0.9066	0.0081	1	0.00	20200402	3178.9213	87.9184	4
11	20200402	2860217801	남부수도고속	0.2011	90	1	0.8254	0.0117	1	0.00	20200402	2953.9379	87.9184	4
12	20200402	1321023200	안동고속도로	0.2011	100	1	1.8113	0.0141	0.0141	0.00	20200402	4193.9	87.9719	4
13	20200402	1321023200	안동고속도로	0.2007	100	1	1.8687	0.0133	0.0133	0.00	20200402	3933.9	87.9044	4
14	20200402	1321023200	안동고속도로	0.2011	100	1	1.8113	0.0141	0.0141	0.00	20200402	3113.9	87.9719	4
15	20200402	2860218000	남부수도고속	0.2044	122	2	0.3115	1	1	0.00	20200402	41.0818	87.9208	4
16	20200402	2860218000	남부수도고속	0.2003	117	1	0.8097	1	1	0.00	20200402	41.0818	87.9208	4
17	20200402	2860218000	남부수도고속	0.2004	68	2	1.79	1	1	0.00	20200402	40.8208	87.9208	4
18	20200402	2860219800	공주시도로	0.2118	85	1	0.8481	1	1	0.00	20200402	38.3	87.9208	4
19	20200402	1321023200	남부수도고속	0.2021	87	1	0.8000	1	1	0.00	20200402	38.3	87.9208	4



<Fig. 8> Results of RHA-RF

업무영역	사업용 차량 수집정보 통합분석시스템															
시나리오 ID	55-510	대상지	세종시, 공주시	알고리즘	안개 및 결빙											
날짜	2020.04.02	링크	2860278900	도로	일반국도1호선											
내 용																
사업용 차량 연구과제 데이터 정량성 검증 등 - 정보공유시스템																
작업번호 [20200402] : RHA-RFF																
Seq	일차	종료	시점	AV	CV	AVmax	CVmax	AV_min	CV_min	AV_max	CV_max	가중평균	AV_4800	CV_4800	AV_4800	CV_4800
1	20200402	20200402	07:00	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	20200402	20200402	07:05	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3	20200402	20200402	07:10	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	20200402	20200402	07:15	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5	20200402	20200402	07:20	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	20200402	20200402	07:25	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7	20200402	20200402	07:30	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	20200402	20200402	07:35	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
9	20200402	20200402	07:40	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	20200402	20200402	07:45	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11	20200402	20200402	07:50	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	20200402	20200402	07:55	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
13	20200402	20200402	08:00	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14	20200402	20200402	08:05	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15	20200402	20200402	08:10	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
16	20200402	20200402	08:15	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
17	20200402	20200402	08:20	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
18	20200402	20200402	08:25	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19	20200402	20200402	08:30	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	20200402	20200402	08:35	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
21	20200402	20200402	08:40	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
22	20200402	20200402	08:45	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
23	20200402	20200402	08:50	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
24	20200402	20200402	08:55	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
25	20200402	20200402	09:00	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01



<Fig. 9> Results of RHA-RFF

도로위험도는 <Table 3>의 도로위험지표에 의해 산정되었으며, 비록 가상의 사업용 차량 수집 자료를 활용한 한계는 있지만, 과거이력자료를 근거하여 위험구간(안개, 결빙) 및 위험지점(포트홀)을 발생시켰다. 그 결과, 테스트 전 과정에서 특징적인 알고리즘의 오류가 발생하지 않았으나 도로위험지표에 따른 위험상황의 단계별 적정성에 대한 확인이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 이는 올해 하반기에 실제 수집자료를 이용하여 최종 검증을 수행할 계획이다.

### V. 결 론

현재의 고정식 관측 장비 또는 검지 시스템으로 확인하기 어려운 도로위험정보(포트홀, 노면결빙, 안개)를 사업용 차량에 장착된 장비(예: 카메라, DTG)를 통해 수집하고 가공 처리한 정보와 도로속성자료를 융합하여 새로운 정보콘텐츠를 제공하기 위한 목적으로 정보공유시스템이 개발되었다. 본 연구에서는 이 목적을 달성하기 위한 4가지 알고리즘(RHA-P, RHA-F, RHA-RF, RHA-RFF)을 개발하였다. 또한 알고리즘을 통해 산출된 정량적인 값을 정성적인 형태로 나타낼 수 있는 지표도 제안하였다. 별도의 정보수집을 위한 시설투자 없이 고속도로, 일반국도 등 전국을 대상으로 수집된 정보를 기반으로 도로위험정보에 대한 제공이 가능하기 때문에 기존 인프라 투자비용과 비교했을 때 획기적으로 예산절감 효과가 발생할 것으로 예상된다.

정보공유시스템 및 지표는 개발은 도로구간에 따른 도로위험정보를 제공하기 때문에 도로이용자는 물론 도로관리자에게 실질적으로 도움이 될 수 있다. 알고리즘의 개발과 테스트는 Probe 차량을 이용하여 수행하였다. 비록 가상으로 발생시킨 앞서 언급한 4가지 위험상황을 근거로 알고리즘을 테스트하였지만, 실제 발생 가능한 상황을 충분히 반영함은 물론, 과거 이력자료를 검토하여 실제와 매우 유사한 조건 하에서 실험 테스트를 수행하였다. 이러한 노력은 도로관리차원에서만 유지·관리되던 도로위험정보를 불특정 다수의 이용자에게 적극적으로 제공하여 궁극적으로 교통사고의 위험을 획기적으로 감소시키고, 물리적 인프라 구축을 최소화하는데 있다. 올해 하반기에는 실제로 수집한 자료를 통해 <Fig. 3>의 개념을 완성할 계획을 가지고 있다. 이때는 실제 사업용 차량(여객운수 및 화물차량)에 설치된 카메라와 DTG 원시자료를 취득하여 통합시스템에서 가공·처리하고 정보공유시스템에서 알고리즘 수행을 통해 도로구간에 따른 위험도를 정량적·정성적으로 나타낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.

본 연구를 통해 도출되는 도로위험정보는 단계적으로 민간 교통정보 시스템과의 연계 및 공유를 통해 도로이용자에게 추가적으로 정보제공이 가능하다. 이를 통해 블랙아이스, 포트홀, 안개 등으로 인한 교통사고를 사전에 방지하는 효과가 있을 것으로 기대된다. 또한, 도로안전에 있어서 긍정적인 편익을 제공할 수 있

고, 향후 자율주행 및 C-ITS의 상용화 시에도 매우 중요한 정보를 제공하는 소스(source)로 사용될 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Korea Government(MOLIT). (No.20POQW-B148886-03, Commercial Vehicle-Based Road and Traffic Information System)

## REFERENCES

- Cho J., Lee H., Lee J. and Kim D.(2017), “The Hazardous Expressway Sections for Drowsy Driving Using Digital Tachograph in Truck,” *The Journal of The Korea Institute of Transportation engineering*, vol. 35, no. 2, pp.160-168.
- Han Y. and Kim Y.(2017), “A Study of Measuring Traffic Congestion for Urban Network using Average Link Travel Time based on DTG Big Data,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 5, pp.72-84.
- Kim S., Joo J., Choo S. and Lee H.(2018), “Analysis of Dangerous Bus Driving Behavior Using Express Bus Digital Tacho Graph Data,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 2, pp.87-97.
- Korean Association for Organizational Studies(2010), *Information System Introduction and Operation Effect Analysis in the Government*, Final Report.
- Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology(2017), *Commercial Vehicle-Based Road and Traffic Information System*, Preliminary Report (R&D-15RDPP-C103331-01).
- Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology(2019), *Commercial Vehicle-Based Road and Traffic Information System*, 2nd Annual Report (No.19TLRP-B148886-02).
- Kwon Y., Yeo J. and Byun J.(2019), “Analysis of Bus Drivers’ Working Environment and Accidents by Route-Bus Categories : Using Digital TachoGraph Data,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 2, pp.1-11.
- Lee H., Kim J., Choo S., Jang J. and Choi S.(2019), “Identifying Key Factors to Affect Taxi Travel Considering Spatial Dependence: A Case Study for Seoul,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 5, pp.64-78.
- MDM homepage, <http://www.mdm-portal.de/en/the-mdm.html>.
- TM 2.0 homepage, <http://tm20.org>.
- Waze homepage, <https://www.waze.com>
- Yang C. and Regan C.(2013), “A Multi-Criteria Decision Support Methodology for Implementing Truck Operation Strategies,” *Transportation*, vol. 40, no. 3, pp.713-728.