

차량궤적자료를 이용한 SSM 산출 방법론 개발과 적용사례 분석

박성용¹ · 이청원² · 고승영² · 이용관^{3*}

¹ 한국교통연구원 도로교통본부, ² 서울대학교 건설환경공학부, ³ 서울대학교 건설환경종합연구소

Methodology for Calculating Surrogate Safety Measure by Using Vehicular Trajectory and Its Application

PARK, Seongyong¹ · LEE, Chungwon² · KHO, Seung-Young² · LEE, Yong-Gwan^{3*}

¹ Department of Road Transport Research, The Korea Transport Institute, Sejong 30147, Korea

² Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³ Institute of Construction and Environment Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Abstract

Estimating the risks on the roadway using surrogate safety measures (SSM) has an advantage in that it focuses on the vehicle trajectory directly involved in conflicts. On the other hand, there is a restriction on estimating the risks of continuous segments due to the limited data collected from a location. To overcome the restriction, this study presents the scheme of acquiring the vehicular trajectory using real time kinematics - differential global positioning system (RTK-DGPS) and develops a methodology which contains the considerations of the problems to calculate the SSM such as time-to-collision (TTC), deceleration rate to avoid collision (DRAC) and acceleration noise (AN). By using the methodology, this study shows a result from an experiment executed in a section where the variation of vehicular movement can be observed from several continuous flow roadway sections near Seoul and Gyeonggi Province in Korea. The result illustrated the risks on the roadway by the SSM metrics in certain situations like merging and diverging, stop-and-go, and weaving. This study would be applied to relate the dangers with characteristics of drivers and roadway sections, and prevent accidents or conflicts by detecting dangerous roadway sections and drivers' behaviors. This study contributes to improving roadway safety and reducing car-accidents.

Surrogate safety measure(SSM)를 이용하여 도로상의 위험을 측정하는 방식은 사고의 직접적인 원인과 연관된 차량의 거동을 분석 대상으로 한다는 장점을 가지고 있으나, 한 지점에 국한된 정보를 이용하기 때문에 위험을 연속적으로 분석하는 데에 제약이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 RTK-DGPS를 이용하여 차량들의 궤적을 얻는 방안을 제시하고, 이를 통해 time-to-collision(TTC), deceleration rate to avoid collision(DRAC), acceleration noise(AN) 등의 SSM을 산출하는 데에 필요한 문제들을 고려한 방법론을 설정하였다. 또한 본 연구에서는 검토된 방법론을 이용하여 운전 중 발생하는 다양한 차량거동 변화를 관찰하기 위하여 영동고속도로 복수원IC-군포IC 구간을 대상으로 실험을 수행한 결과를 제시하였다. 그 결과 궤적 기반 SSM 지표값이 다양한 주행 상황에서의 위험성을 합리적으로 설명할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 향후 다양한 구간특성 및 운전자 특성에 따른 위험상황을 설명하는 연구를 수행하고, 위험구간 감지 및 위험한 운전 행태의 감지를 통한 사고예방에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 이를 통하여 위험도로 개선 및 교통사고 줄이기 사업을 효율적으로 추진하는 데에 기여할 수 있을 것이다.

Keywords

acceleration noise, deceleration rate, RTK-DGPS, surrogate safety measure, time-to-collision, vehicle trajectory
가속소음, 충돌회피 감속도, RTK-DGPS, 안전대리변수, 충돌소요시간, 차량궤적

* : Corresponding Author
y2g2152@snu.ac.kr, Phone: +82-2-880-1536, Fax: +82-2-873-2684

Received 3 September 2014, Accepted 30 July 2015

연구의 배경 및 목적

차량들이 주행하는 도로 구간에서의 위험성을 평가하여 도로교통의 안전성을 개선하고자 surrogate safety measure(안전대리변수 : 이하 SSM)을 이용한 분석법이 활용되고 있다. 사고의 직접적인 원인이 될 수 있는 차량의 실제 거동자료를 측정하여 위험성을 판단한다는 점에서 유용하다. 그중에서 time-to-collision (TTC)와 deceleration rate to avoid collision (DRAC)은 물리적으로 충돌이 발생할 수 있는 상태에 이르게 되는 시간적 차이를 이용한 변수이며, acceleration noise (AN)은 큰 변동성을 갖는 운동을 표현하는 변수이다. 이러한 SSM 산출을 위해 필요한 거동자료를 생성하는 방법으로는 시뮬레이션을 이용하는 방법과 실제 현장에서 측정하는 방법이 있다. 그러나 시뮬레이션을 이용한 자료는 주행시뮬레이터나 미시교통류시뮬레이션을 이용하여 생성되며, 실제 현장에서 구득된 자료가 아니므로 운전자 운전 행태나 차량의 거동을 완벽하게 모사하기 어렵다는 한계가 있다. 반면, 현장에서 조사원의 목측이나 영상촬영을 통해 얻는 정보는 정보수집환경에 따라 측정오차가 발생할 여지가 있다.

SSM 산출을 위한 차량거동자료는 측정범위에 따라서 단일 지점에서의 측정값을 이용하는 방법과 각 차량의 주행궤적을 구역 내에서 연속적으로 측정하는 방법이 있다. 단일 지점에서의 측정값을 이용하면, 실제로는 주행 경로 상 어느 지점에서든 사고발생 가능성이 있음에도 불구하고 해당지점에 국한된 거동자료를 이용하게 된다는 점에서 한계로 지적되고 있으며, 차량 주행궤적을 연속적으로 측정하는 방법은 장비 등의 현실적인 어려움에 봉착하게 된다.

따라서 이러한 한계점을 극복할 수 있는 자료수집 방법론을 검토하고, 검토된 방법론을 활용한 위험도 분석 방안을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 real-time kinematic differential global position system (RTK-DGPS)을 이용하여 실제 차량의 주행구간과 궤적정보를 수집한다. 이 방법은 환경 제약에 민감한 요소가 적어, 상대적으로 정확한 자료 구득이 가능하다. RTK-DGPS 수집자료를 활용하여 SSM을 산출하고, 이를 이용한 도로 상의 위험성을 판단하는 실험을 실시한다. 마지막으로 제시한 방법론의 합리성을 검토하고, 그 활용방안에 대하여 논한다.

문헌고찰

교통공학적 해결책을 제시하기 위한 교통안전관련 연구에는 사고확률에 대한 예측모형이나, 시설과 사고와의 연관성에 대한 연구가 있다. 그러나 실제 사고나 시설을 건설하여 그 영향을 살피는 것은 비용 상의 문제로 매우 어렵다. 때문에 차량의 거동과 직접적으로 관련 있는 속도와 가속도, 차간거리를 중심으로 다양한 SSM들이 개발되었고, SSM을 이용하여 도로구간에서의 위험을 제시하는 연구가 진행되고 있다.

1. Surrogate Safety Measure (SSM)

1) Time-to-collision (TTC)

Hayward(1972)는 TTC 개념을 처음으로 제시하였다. TTC는 두 차량이 현재 주행상태와 같은 방향 및 속도로 주행한다고 가정할 때, 충돌하는데 소요되는 시간을 의미한다. TTC가 낮을수록 충돌에 이르게 될 확률이 높아짐을 의미하고, Hayward는 이를 이용하여 차량의 충돌가능성을 표현하였다. 때문에 선행차량이 추종차량보다 속도가 빠를 경우, TTC를 이용한 분석이 원천적으로 불가능하다. 그러나 두 차량 간의 충돌 위험성을 비교적 간단한 방법으로 비교해 볼 수 있어, 다양한 연구에서 활용하고 있다.

TTC가 최초로 제안될 때에는 conflict severity를 측정하기 위한 용도로 제안되었다. 그러나 Ozbay et al.(2008)은 TTC는 충돌의 확률이 높고 낮음을 표현할 수 있을 뿐, 충돌의 심각도를 표현하고 있지는 못하다는 점을 지적하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 modified time-to-collision (MTTC)을 제시하였다. 이를 통해 기존 TTC의 두 차량 간 상대속도에 따른 한계를 극복하고, 사고 심각도를 반영하는 Crash Index (CI)를 개발하였다.

2) Deceleration Rate (DR)

Cooper and Ferguson(1976)은 후행차량이 위험 상황을 인지하고 감속하기 시작할 때의 충돌 회피 감속도로써 DRAC 개념을 제시하였다. 여기서 감속도는 일반적인 감속도 개념을 사용하는 것으로, 연구자에 따라 Lee et al.(2002)는 maximum deceleration rate (MaxDR)로, Gettman and Head(2003)는 deceleration

rate(DR) 등으로 다양하게 사용되고 있다. 각 지표들은 어떤 시점 t에서의 감속도의 크기를 나타낸다는 점에서 서로 유사하며, 이는 운전자의 위험 상황에 대한 반응이 감속을 통해 현시되고 있음을 이용한 지표이다. 이러한 개념들이 제시된 배경에는 충돌을 피하기 위하여 감속을 시행하고 감속도의 크기가 클수록 충돌이 발생할 확률이 높다는 것을 가정한 것이다.

선행연구자들은 선행차량에 의해 발생한 급격한 감속 행위, 차로변경행위, 간격수락행위가 후행차량의 감속행위로 설명하고 있다. Almquist et al.(1991)은 이러한 관계를 아래의 운동방정식을 이용하여 제시했다. AASHTO(2004)는 다수 운전자에 대한 적정 최대감속도 값으로는 $3.4m/s^2$ 를 제시하고 있다. 유사하게 Archer(2005)는 $3.35 m/s^2$ 라는 최대감속도 값을 제시한 바 있다.

3) Acceleration Noise(가속소음; AN)

Herman et al.(1959)과 Drew et al.(1965) 등은 가속도의 평균값에 대한 가속도의 표준편차로 변화의 크기를 측정하고자 했으며, 이를 가속소음으로 정의하였다. 이들 연구에서는 분석대상 거동이 측정된 가속도의 평균으로부터의 편차가 작을수록 안정적인 거동으로 보았으며, 클수록 불안정한 거동으로 보았다.

이를 통해 운행 중인 차량의 속도 변화의 크기와 빈도수가 개별차량의 움직임에서의 안정성과 관련되어 있다고 판단하고 이를 표현하기 위한 지표로서 가속소음을 제시하였다.

2. SSM의 측정방법

차량 주행정보를 직접 측정하여 상충과 충돌을 분석하기 위해서 주로 목적과 영상처리방식을 사용하여 안전대리변수를 직접 측정하거나, 차량계적정보를 측정하여 왔다. 그러나 이러한 방식들을 이용하여 차량의 상충, 충돌 시점 및 지점을 파악하는 일은 매우 어려운 문제로 작용하였으며, 이를 파악하였다더라도 정확하게 그 값을 측정할 수 있는지와 같은 문제들이 제시되었다. 이러한 문제들을 회피할 수 있는 시뮬레이션을 활용한 연구에서는 산출된 값이 현실적 차량거동행태를 잘 묘사할 수 있는가와 관련된 시뮬레이션 정산(Calibration) 문제가 대두 되었다. 제시된 세 가지 문제를 정리하여 차량계적자

Table 1. Performance measure of data obtaining methods

Performance measure	Description
Easiness of measuring	No great labour or efforts when obtaining the vehicle trajectory data
Data reliability	The measured data free from the errors or defects; the precisely measured data with less errors
Data reality	The measured data contains actual rather than imaginary, ideal, or fictitious

료측정방법론을 비교하기 위한 성능을 Table 1에서 정리하였다.

특히 일정범위만큼의 공간적 범위에서의 연속 측정이 가능 여부는 해당 지점에서의 수행범위가 넓을수록 많은 측정 장비 및 인원이 투입되어야 함을 의미하게 된다. 그러나 충돌은 매우 임의적으로 발생하므로, 관측시점 및 위치를 특정하기 어렵다는 문제점이 존재한다.

그리하여 측정범위는 지점에서의 단일측정값을 이용하는 방법과 각 차량의 주행궤적을 지점에서 일정구간동안 연속적으로 측정하는 방법이 있다. 단일 지점에서의 측정값을 이용하면, 실제로는 주행 경로 상 어느 지점에서든 사고발생 가능성이 있음에도 불구하고 해당지점에 국한된 거동자료를 이용하게 된다는 점에서 한계로 지적되고 있으며, 차량 주행궤적을 연속적으로 측정하는 방법은 장비 등의 현실적인 어려움에 부딪치게 된다.

Chin and Quek(1997)는 고속도로의 합류 상황에 대하여 TTC, DRAC를 각각 반응시간, 반응크기라는 위험요인으로 상정하고 이를 이용하여 위험정도를 측정할 수 있다는 Framework를 제시하였다. 이러한 차량 주행정보를 직접 측정하여 안전대리변수를 추정하고자 하는 노력도 지속적으로 진행 되었다. 현장자료의 구득 방법에 따라 목적, 영상검지기반의 차량계적인식의 방법을 주로 사용하였고, 현장자료가 아닌 시뮬레이션 기반으로 한 자료 획득을 한 연구도 존재했다. 특히 미시교통류 시뮬레이션을 이용하여 차량들의 통행궤적을 산출하는 방법과 주행시뮬레이터를 이용한 안전대리변수를 측정하는 연구도 존재했다.

1) 시뮬레이션을 이용한 차량계적자료 구득

시뮬레이션을 이용한 차량계적자료 구득방법은 크게 주행시뮬레이터를 이용한 방법과 미시교통류시뮬레이션을 이용하는 방법이 있는데, 주행시뮬레이터의 경우에는

단일차량의 TTC와 DRAC 등의 지표를 측정하여 운전자별, 주행조건에 따른 지표값 상대비교를 수행하고 있으나, 실제 도로에서의 운전자의 주행특성이나 실제 차량거동과 관련한 정산문제가 제기된다. 한편 미시교통류시물레이션을 이용한 차량궤적자료 구득의 경우 미시교통류시물레이션을 이용하여 분석대상 네트워크를 구축하고, 네트워크상의 모든 차량에 대하여 TTC, DRAC 등의 안전대리변수를 산출하여 네트워크 및 시나리오간의 상대비교가 가능하다는 점에서 유용하나, 차량의 발생시점과 운전자의 주행행태, 네트워크 전반에 대한 정산을 어떤 기준에 맞춰서 하는가에 대한 이슈가 제기된다.

van der Horst and Hogema(1993)는 주행시물레이터를 이용하여 접근속도와 감속강도에 따라 TTC를 분석하였고, 이를 통해 운전자의 반응시간을 고려하여 분석에 필요한 critical threshold of TTC를 4.0초로 제시하고 있다. 한편, 저시정 조건에서의 주행을 TTC를 이용하여 분석하였다. Sayed et al.(1994)은 TSC-Sim을 이용하여 비신호교차로 데이터를 기반으로 TTC를 분석하여 안전도를 평가하고자 했다. Touran et al.(1999)은 Monte-Carlo simulation을 수행하여, 자율순항주행(AICC: autonomous intelligent cruise control)의 안전성 평가를 위해 차두시간을 안전성지표로 사용하였다. Minderhoud and Bovy(2001)는 5km의 합류 램프가 있는 편도 2차로 도로에 대한 시물레이션을 통해서 자율순항주행 장비장착에 따른 안전도를 비교하였는데, 여기서 TTC를 기반으로 한 time exposed time-to-collision, time integrated time-to-collision을 사용하였다. Lee et al.(2002)는 주행시물레이터를 이용하여 후방 충돌경보장치의 설치에 따른 운전자 반응을 시물레이터를 통해서 측정하고 시나리오별로 minimum time-to-collision, maximum deceleration rate를 측정하였다. Gettman and Head(2003)은 미시교통류시물레이터(Vissim, Paramics, Aimsun, Texas)를 이용하여 교차로나 IC에서의 다양한 상충상황을 분석하기 위해 다양한 안전대리변수들을 사용하였다.

또한 Ozbay et al.(2008)은 미국 뉴저지 턴파이크를 기반으로 한 시물레이션에서 교차로 분석이 아닌, 링크기반의 분석을 위해 새로운 안전대리변수로서 MTTC와 CI를 제안하였다. 이 지표를 통해 잠재적 충돌의 확률 및 심각도를 표현하고자 하였다. 제시된 지표들은

linear conflict(rear-end conflict)에 대한 분석으로만 제한적으로 사용되어야 한다고 전제되고 있다.

한편, Saccomanno et al.(2008)은 미시교통류시물레이션 상에서의 신호교차로 및 roundabout의 위험도를 TTC, DRAC 지표를 이용하여 비교하였다.

2) 실측을 통한 차량궤적자료 구득

Sayed and Zein(1999)는 현장으로 훈련된 조사원들을 파견하여 현장에서 목측으로 각 차량들 간의 TTC를 관측하고, 이를 정성적인 충돌위험성과 비교하였다.

Vogel(2003)은 stop sign으로 제어되고 있는 4지교차로 현장에서 장비를 이용해 통과차량의 속도와 방향, 앞 뒤 차량의 time gap을 측정하였다. 이를 통해 차두시간과 TTC와의 관계를 조사하고, 교차로의 각 접근로별 TTC, 차두시간의 분포를 제시하는 방법으로 두 지표의 관계를 비교하였다.

Hourdakis et al.(2006)은 미국 미네소타 주의 고속도로 1마일 구간에서 영상감시체계로 다양한 안전대리변수들을 측정하고, 이를 이용하여 실제 사고와의 로그회귀모형을 구성하였다. Oh and Kim(2010)은 서해안고속도로 비봉 IC 부근에서 영상촬영 자료를 분석하여 TTC를 기반으로 한 사고확률(crash potential)를 추산하였다. 이는 영상촬영을 통해 차량궤적을 얻고, 이를 각 차량별로 충돌의 발생 확률을 계산하여 위험의 정도를 계산하였다.

이처럼 선행연구는 안전대리변수를 얻기 위하여 주로 크게 지점기반의 측정과 시물레이션을 이용하였다. 그러나 기존의 지점기반의 측정은 매 순간 각각 다른 주행조건을 가진 차량들의 거동정보가 반영되므로, 해당 순간의 위험성 이외의 다른 의미를 갖기 어렵고, 다른 공간 및 시간에 측정된 안전대리변수와의 일관성을 갖는지 여부를 확인하기 어려웠다.

차량의 주행구간에 대한 정보를 얻기 위한 노력으로 Guido et al.(2012)은 스마트폰 GPS 센서(AGPS module)를 이용하여 이탈리아의 지방부 2차로 도로를 주행하면서 차량궤적자료를 얻고, 이를 이용하여 TTC와 DRAC를 1초 시간단위(1Hz)로 계산하였다. 그러나 스마트폰 GPS의 경우는 지형 및 도로구조물에 의해 구득되는 주행궤적의 신뢰성 문제가 발생할 수 있다. 즉, 안전대리변수를 산출하는데 있어서 부정확한 값이 계산될 우려가 있다는 점에서 한계점이 있었다. Table 1에

Table 2. Data obtaining method comparison

scope of vehicles	data obtaining methods	point measure			continuous measure		
		easiness	reliability	reality	easiness	reliability	reality
specified multi vehicles	simulation	O	O	X	O	O	X
	naked eye	X	X	O	impossible		
	video process	O	△	O	X	△	O
	AGPS	O	△	O	O	△	O
	RTK-DGPS	O	O	O	O	O	O
un-specified multi vehicles	simulation	O	O	X	O	O	X
	video process	O	△	O	△	△	O

Remark - O: very good, △: good, X: bad

서 제시하였던 차량계측정방법론의 성능 특성을 이용하여 다양한 차량계측자료 획득방법들 간의 특징 비교를 Table 2와 같이 정리하였다.

본 연구에서는 기존연구가 가진 한계점으로 지적되는 자료의 현실성 문제해결과 연속측정문제해결이 가능하다는 점에서 RTK-DGPS를 이용한 개별차량의 차량계측 자료의 획득을 기반으로 한다는 점에서 보다 정확한 차량의 계측자료를 확보할 수 있다는 점에서 차별성을 갖는다. 산출되는 안전대리변수를 이용하여 실제주행상황에서 사고의 위협 등의 상황을 지표로서 표현할 수 있는 지를 검토하고자 한다.

분석방법론

1. RTK-DGPS 장비를 활용한 실험설계개요

본 연구의 분석 범위는 우리나라의 고속도로 구간 중 통행시간 변동성이 크게 나타나고 있는 영동고속도로의 북수원IC-군포IC구간을 분석대상 구간으로 선정하였다. 2009년부터 2013년까지 5년 간 한국도로공사 사고자료를 활용하여, 구간 길이 대비 사고 발생건수를 종합하여 사고다발구간을 선정하였다. 선정된 사고다발구간은 북수원IC-부곡IC구간으로 구간 연장 2.84km에 5년 간 구간 내 사고 발생 건수가 112건으로 1km당 39.4건의 사고가 발생한 것으로 나타난다. 이와 유사한 주행조건(차로 폭 및 차로 수)을 가진 동일 노선을 대상으로 대조 분석구간을 선정하였다. 선정된 대조 구간은 동일 노선의 동군포IC-군포IC 구간으로 구간 연장 1.39km에 5년 간 구간 내 사고 발생 건수가 27건으로 1km당 19.4건의 사고가 발생한 것으로 나타났다. KICT(2014)

에 따르면, 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC의 AADT는 124,487대/일이며, 대조구간인 동군포IC-군포IC의 123,860대/일로 비슷한 규모의 교통량을 처리하고 있음을 확인할 수 있다.

조사의 시간적 범위는 외부의 환경적 요소가 최소한으로 개입되는 분석대상구간의 가장 일반적이고 평균적인 특성을 반영되어야 한다. 그러므로 해당구간의 침투 시간대가 아닌 시간적 범위의 선정이 필요하다고 보았다. 분석대상시점을 선정함에 있어 외부적 요인을 최대한 배제하고자 출퇴근 침투시인(06시-10시, 18시-20시)을 분석대상에서 제외하였다. 한편 대다수의 주행이 발생하는 일반적인 특성을 지닌 시간대를 분석하기 위해, 소통이 원활한 심야시간(23-06시)을 분석에서 제외하였다. 제외된 시간대 가운데서 시간대 별 사고발생건수 분석을 두 구간별로 수행하여, 사고다발구간과 대조구간 간의 비교가 가능한 시간대를 (15시-18시)로 선정하였다. 해당 시간대에서는 두 구간의 1km 당 사고 발생 건수가 동군포IC-군포IC는 1.39km 당 3건이 발생하고 있으며, 북수원IC-부곡IC는 2.84km 당 24건으로 두 값은 약 4배가량 차이가 발생하고 있다(Table 3, 4).

Table 3. The number of accident occurred points in the section (East Gunpo IC-Gunpo IC, 2009-2013)

hour	24.4km	24.5km	25.8km	sum
15-16		1	1	2
16-17				-
17-18				-
18-19	1			1
sum	1	1	1	3

Data : Expressway traffic accident prompt report, Korea Expressway Corporation, 2014

Table 4. The number of accident occurred points in the section (North Suwon IC-Bugok IC, 2009-2013)

hour	28.0 km	28.2 km	28.3 km	30.0 km	30.3 km	30.6 km	30.8 km	Sum
15-16	3	2	1				3	9
16-17	3					1	5	9
17-18				1	1		2	4
18-19							2	2
sum	6	2	1	1	1	1	12	24

Data : Expressway traffic accident prompt report, Korea Expressway Corporation, 2014

2. 실험수행

본 절에서는 분석방법론을 이용하여, 실제 영동고속도로 북수원IC-군포IC 구간에서 수행한 실험 결과를 수록하였다. 분석에 사용된 시간적 범위는 2014년 12월 23일 15시 40분부터 동일 18시 40분까지의 약 180분간 이다. 실험차량은 고속도로 본선 구간에서 2차로로만 주행하였으며, 이러한 주행에 대한 궤적은 RTK-DGPS로 측정된 궤적정보에서도 정확히 반영되어 나타난다.

실험차량의 주행궤적은 RTK-DGPS를 이용하여 직접 측정하여 기록되었으며, 여기에 포함되는 정보로는 두 실험차량의 0.1초 마다 측정된 경위도 좌표와 순간 속도정보가 있다. 해당정보는 여러개의 위성에서 수신되는 정보를 처리하는 실시간 운동학(real time kinematics) 모듈을 통해서 측정되었으며, 측정된 궤적정보 값을 제 3절에서 제시하는 방법론을 이용하여 후처리하여 각 해당 시각에서 0.1초 동안의 주행속도 및 평균가감속 정보를 계산하는 방식으로 실험차량들의 거동정보를 산출하였다.

본 실험에서는 연속류 구간을 실험대상으로 삼아 실시된 실험으로 본 연구에서 설정한 북수원-부곡IC 구간, 동군포-군포IC 구간의 실험주행동안 매 순간 (0.1초) 마다 해당 자료를 처리하는 방식으로 SSM을 구하고 있다.

분석에 사용된 차량 궤적은 두 차량 사이에 다른 차량의 개입이 없는 왕복주행만을 사용하였다. 이는 다른 차량이 개입된 경우에는 분석하고자 하는 SSM을 제대로 구할 수 없기 때문이다. 또한 충분한 자료의 확보를 위하여 분석 대상시간 범위에 앞서서 자료를 측정하고, 실험차량은 본선의 다른 차량의 움직임에 따른 car-following을 실시하였다.

Table 5. Summary of field experiment

Sort	Value
Time	2014. 12. 23 (Tue) 15:00-19:00 Analysed time due to broken condition : 15:40-18:40 (3hr)
Study site	Yeongdong Expressway 1. North Suwon IC to Bugok IC 2. East Gunpo IC to Gunpo IC
Probe vehicles	Two passenger cars of same type Mid-sized passenger car (Hyundai Avante, 2014)
Investigation equipment	RTK-DGPS
Data acquisition interval	0.1s (10Hz)

전방 실험차량 운전자는 해당차량의 앞 차량의 주행에 따라, 후방 실험차량 운전자는 전방 실험차량의 주행에 따라 반응하도록 하였다. 측정시간 동안 전술한 방법론을 4회 왕복 실시하여, 인천방향으로 4회, 강릉방향으로 4회 주행하였다.

실험 수행 중 발생한 교통상황을 확인하고, 분석의 편의를 위하여 실험 주행 전 구간에 대하여 선두차량과 후행차량 모두 차량 내에 영상녹화장치를 장착하여 모든 주행상황을 녹화하였다. 실험의 개요는 Table 5와 같이 제시하였다

3. 실험 결과를 자료 처리

실험 간 차량의 거동정보를 RTK-DGPS 수신기를 통해서 10Hz (1초당 10회 수신) 단위로 자료를 수신한다. 즉, 0.1초 당 1번씩 수신된 차량의 위치정보와 속도 정보를 저장한다. 저장된 정보를 분석을 위해 데이터 파일을 컴퓨터를 통해서 database(DB)를 작성한다.

1) 자료의 일관성 확인

RTK-DGPS로 측정된 차량궤적자료의 일관성을 확인하기 위해서 수신된 자료를 Google Inc. (2013)에서 제공하는 Google Maps API를 이용하여 3D지도 위에 표시하였다. 이를 통해 실제 주행경로와 수집된 GPS 정보간의 차이가 있는지를 확인 할 수 있다. 특히 실험 차량이 주행했던 차로와 추적된 궤적자료와의 비교하여 위치정보의 일관성을 확인한 결과는 Figure 1과 같다. 주행한 GPS 궤적은 영동고속도로 상의 실험구간과 일치함을 확인할 수 있다.



Figure 1. Experimental vehicle trajectory data

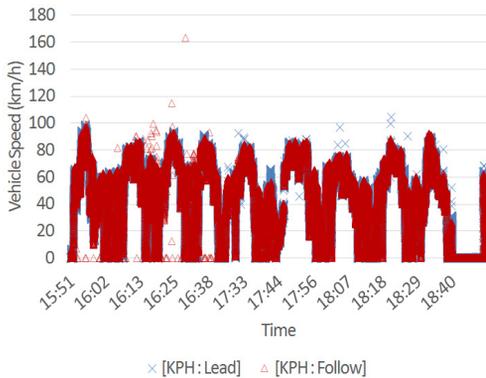


Figure 2. Outlier in speed of an experimental vehicle

2) 속도 자료의 Data cleaning 기법

자료의 일관성을 확인한 다음, SSM을 계산하기 전에, 측정된 정보의 오류여부를 확인하여야 한다. 특히 속도 정보는 GPS 위성 전파의 간섭현상으로 인해 이상치가 존재할 수 있다. Figure 2에서 확인할 수 있는 바와 같이 속도의 경향과 다른 이상치가 존재했다.

이상치를 제거하기 위해 단위관측시간(0.1초) 앞 뒤 자료의 속도를 각각 비교하여 현실적으로 불가능한 가속 및 감속 상황이 나타나는 자료를 필터링 하였다. 특히 실험차량은 1600cc 중형승용차로서, 동일차량으로 주행실험결과 일상적으로 주행할 수 있는 속도대역인 0km/h에서 60km/h 까지 가속하는 데에는 5.0초 (평균가속도 $3.3m/s^2$)가, 0km/h에서 100km/h에 이르는 데 12초 (평균가속도 $2.4m/s^2$)가, 이어서 100km/h에서 다시 0km/h로 감속하는데 까지 총 36초 (평균감속도 $1.16m/s^2$)가 소요되었다. 그리하여 이 차량의 대략적인 평균 가·감속 범위는 $-1.16 \sim 3.3m/s^2$ 으로 볼 수 있었다.

그러나 실험을 통해 관측되는 값은 0.1초 단위의 순간가속 및 순간감속이므로 평균가속속과는 차이가 있다는 판단 하에, 0.1초 단위의 전·후 속도변화범위를

$-10 \leq a \leq 10(m/s^2)$ 이내로 설정하였다. 이어서 속도 자료를 확인하여, 설정된 기준을 벗어난 자료를 해당 자료의 0.1초 이전 속도와 해당 자료의 0.1초 이후의 자료로 보간한 값을 사용하였다.

4. RTK-DGPS 궤적자료를 이용한 SSM 계산

앞서 제시한 바와 같이 이상치를 제거한 자료를 이용하여, 선두 차량과 추종차량들의 주행궤적을 반영한 SSM(TTC, DRAC, AN)을 계산하여 주행구간에 따른 측정시간별, 위치별 SSM 값을 산출한다.

산출된 SSM이 합리적으로 도로위의 상황을 묘사하고 있는지를 실제 현장에 적용함으로써 검토한다.

1) TTC

$$TTC = \frac{|(x_l - x_f) - L|}{|v_l - v_f|} \quad (1)$$

x_l : head position of the leading vehicle

x_f : head position of the following vehicle

v_l : speed of the leading vehicle

v_f : speed of the following vehicle

L : length of the leading vehicle

TTC를 구하기 위해서는 식(1)과 같이, 두 차량 간의 distance gap을 구하여야 한다. 이를 위해서 두 차량의 같은 위치에 장착한 RTK-DGPS 수신기의 위치좌표 간 최단거리를 유클리디안 거리로 가정하여 두 차량 간 차 두거리, 즉 $(x_l - x_f)$ 를 구한다. 한편 실험에 사용된 차량은 2014년형 아반떼 차량으로 제조사 매뉴얼에 따라 차량길이(L)는 4550mm를 적용한다. 선행차량과 후행차량의 속도 차이를 계산하여, 후행차량이 선행차량보다 빠를 경우에는 TTC를 주어진 공식에 따라 계산하고, 반대의 경우에는 분석하지 않는다.

2) DRAC

$$DRAC = \frac{(v_f - v_i)^2}{2 \times [(x_i - x_f) - L]} \quad (2)$$

- v_i : the i -th vehicle speed (m/s)
- x_i : the position of the i -th vehicle in a linear reference system (m)
- L : the length (m) of the leader vehicle

문헌검토에서 제시한 바와 같이 Almquist et al. (1991)이 제시한 식(2)은 선행 및 추종차량의 위치와 속도정보와 차량의 길이를 변수로 두고 있으므로, TTC를 산출하기 위해 입력된 자료를 그대로 활용할 수 있다. 두 차량 간의 매 0.1초 간격으로 입력된 distance gap과 두 차량의 속도 정보를 사용하여 DRAC을 식(2)을 이용하여 연산한다.

3) AN

$$\sigma = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \text{ or } \sigma = \left[\frac{\Delta t}{T} \sum a^2(t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

- σ : acceleration noise
- T : overall travel time
- $a(t)$: acceleration rate at the instant t

가속소음(AN)은 식(3)과 같이 산출할 수 있다. 가속소음(AN)을 해당지점의 사고 위험성을 나타내는 SSM으로 사용하기 위해서는 가속소음의 분석 window의 크

기가 결정되어야한다. 여기서 분석 window가 커질수록 지표가 계산되는데 반영되는 공간적 범위가 넓어진다는 문제점이 발생한다. 만약 차량이 100km/h로 주행하고 있다고 가정할 때, 분석 window를 1분이라고 가정한다면, 0.1초 단위 자료의 위험성 지표를 계산하기 위해서 약 1,800m가 반영된다. 이는 상당히 큰 값이므로, 분석 window가 작아져야 한다.

한편, 분석 window가 작아질수록 지표는 민감하게 변동하게 된다. 차량의 거동 시 가속 및 정지에 운전자의 인지반응시간이 반영된다는 점에서 착안하여, 그동안의 교통공학 분석에서 자주 이용되어온 인지반응시간인 2.5초를 가속소음의 분석 window로 삼아, 해당 시점 이전의 2.5초간의 가속정보를 반영하는 가속소음을 계산하였다.

사례분석

1. TTC 분석 결과

분석대상구간에서의 TTC의 전반적인 통계는 Table 6에 제시된 바와 같다. 세부적으로 살펴보면 TTC값이 대체적으로 10초 이상의 값을 보이고 있으며 van der Horst and Hogema(1993)이 제시 하였던 임계값 4초 미만에 해당하는 지점들은 본선부에서는 거의 발생하지 않고 있다. 또 TTC의 분포의 변동이 발생하는 지점은 회전이 발생하는 변곡점이었다. 주로 본선의

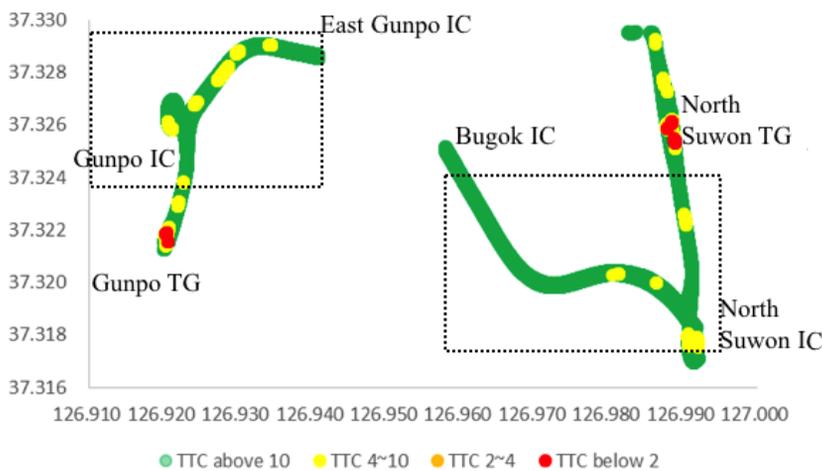


Figure 3. TTC value distribution in the experiment section of Yeongdong expressway

회전부와 연결로에서 이러한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 동군포IC-군포IC 구간에서는 앞서 주지한 바와 같이 하류부 정체의 여파로 속도 변동이 심한 모습을 보였다. 이로 인하여 TTC의 분포의 변동이 발생하고 있는 모습을 Figure 3을 통해 확인할 수 있다.

Hirst and Graham(1997)이 제시한 임계값인 3.0초를 적용하였을 경우, 임계값 이하의 값을 보이는 시간은 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC에서는 8.9초로 해당구간 관측시간의 약 0.5%만이 임계치 미만에 해당하는 거동을 한 것으로 나타났다. 반면 대조구간인 동군포IC-군포IC에서는 임계값 미만의 값이 나타나지 않은 것으로 나타났다.

분석을 확장하여 van der Horst and Hogema(1993)가 제시한 적정임계값 4.0초를 적용할 경우 북수원IC-부곡IC에서는 15.2초 간 임계값 미만의 TTC 값이 기록되었으며, 이는 해당구간 관측시간의 약 0.86%로 나타난다. 같은 방법으로 동군포IC-군포IC에서 적용할 경우에는 임계값 3.0초를 적용했을 경우와 같이 임계값 미만의 값이 나타나지 않았다는 점에서 북수원IC-부곡IC구간과 대조구간과의 차이를 보이고 있으며 전술한 내용을 Table 7에서 정리하였다.

한편 도시부 교차로에서의 TTC 산출을 수행하였던 Vogel(2003)의 연구에 따르면 TTC가 6초 미만일 경우는 전체 접근로에서 0.1-0.3% 수준이며, 특히 2초 미만일 경우는 0.1% 보다 낮은 수준으로 제시되고 있다. 또한 교차로가 아닌 연속류 도로를 분석한 Oh et al.

(2007)에서 수행한 서해안고속도로에서의 영상분석을 통한 차로별 TTC 3초 미만 발생비율이 0.70%-1.47% 수준이었다. 교외의 2차로도로에서 수행한 Guido et al.(2012)의 연구에서는 임계값을 van der Horst (1991)와 이전 연구에서 제시하였던 교차로에서의 임계값 1.5초 미만으로 설정하고 방향별로 3.66%, 13.12%의 결과값을 제시하고 있다.

이처럼 고속도로 구간에서 TTC의 임계값을 그대로 적용하였을 때에는 본 분석구간에서의 상충이 발생하지 않는 것으로 판단할 수도 있다. 또한 관측시간의 길이와 관측구간의 범위가 각 문헌별로 다르게 설계 되어 있는 점에 유의하여 변수값을 해석해야할 필요가 있다. 본 실험과 유사한 주행환경을 가진 Oh et al.(2007)의 연구에서는 임계값 3.0초 조건에서의 실험에서 차로별로 각각 0.70% - 1.47% 수준의 임계값 미만 관측비율을 보이고 있다. 이는 본 연구의 관측값과 유사한 수준의 값으로 판단된다(Table 8, 9 참조).

본래 TTC의 경우 그 변수값이 무한대로 큰 값을 갖거나, 특정조건에서는 변수값이 산출되지 않는 경우도 있기 때문에 구간 내에서의 TTC 분포가 어떠한 패턴을 갖는지에 대한 고려가 필요하다. 분석대상구간과 대조구간의 비교를 위해서 본 연구에서는 구간 내에서의 TTC 값 분포를 고려하고자 하였으며, 앞서 언급한 바와 같이 변동계수를 이용하여 각 구간을 비교해 볼 수 있다.

Table 6. TTC statistics during the measurement

Sort	North Suwon - Bugok	East Gunpo - Gunpo
mean(sec)	166.89	128.98
std.dev.(sec)	1011.61	164.61
c.v.	6.06	1.28

std. dev. : standard deviation
c.v. : coefficient of variation

Table 7. Proportion rate of TTC under different criteria

TTC value (sec)	North Suwon - Bugok	East Gunpo - Gunpo	Remark
0-1.5	0.18%	No Value measured	van der Horst (1991)
0-3.0	0.50%		Hirst and Graham (1997)
0-4.0	0.86%		van der Horst and Hogema (1993)
0-6.0	1.58%		Vogel (2003)

Table 8. TTC value criteria in precedent literature (unit: sec)

Sort	Study area	Critical value
This Study	Expressway	1.5-6.0
Guido et al.(2012)	2-lane road	1.5
Oh et al.(2007)	Expressway	3.0
Vogel(2003)	4-way intersection	2.0, 6.0

Table 9. Proportion rate of TTC value under critical value (unit: %)

Critical Value	1.5s	2.0s	3.0s	4.0s	6.0s
This study (expressway)	0-0.18		0-0.50	0-0.86	0-1.58
Guido et al.(2012) (2-lane road)	3.66-12.83				
Oh et al.(2007) (expressway)	0.70-1.47				
Vogel(2003) (4-way intersection)	under 0.1				0.1-0.3

2. 가속소음 산출결과분석

분석구간 내의 가속소음의 분포 역시 대체적으로 0.5m/s^2 미만의 값이 분포하고 있는 것을 Figure 4를 통해 확인할 수 있다. High-risk 구간인 북수원IC-부곡 IC 구간의 본선부에서 가속소음 값이 급격하게 변하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 부곡 IC에서 진입하여 합류하거나, 부곡 IC로 진출하기 위하여 차로변경을 하는 가운데서 발생한 변동으로 판단된다.

이러한 점은 기존의 파일럿조사들에서 관찰된 바 있다. 마찬가지로 동군포IC에서 진입 이후 일정 거리 이후에 발생한 가속소음이 높아지는 지점 차로 분류 후 합류되는 과정에서 발생하는 엇갈림에 의해 기인한다고 판단된다. 이외의 본선부 구간에서는 대체적으로 가속소음 값은 비교적 낮은 값인 0.5m/s^2 미만의 값을 나타낸다. 측정된 가속소음 값에 대한 기초통계량은 Table 10에서 정리하였다.

Table 10. Acceleration noise statistics during the experiment

Sort	North Suwon - Bugok	East Gunpo - Gunpo
mean front (m/s^2)	0.57	0.60
mean rear (m/s^2)	0.67	0.66
std dev front (m/s^2)	2.16	1.58
std dev rear (m/s^2)	0.90	0.85
c.v. front	3.81	2.64
c.v. behind	1.34	1.28

본 조사에서 측정된 가속소음은 각 0.1초 단위마다 운전자의 인지반응시간만큼의 가속소음을 산출한 것으로 이를 통해 각 운전자의 반응에 관계되는 자극을 가속소음으로서 비교하고자 한다. 북수원IC-부곡IC에서 비교적 높은 값인 1.5m/s^2 이상의 값을 갖는 지점들이 측정되고 있는 만큼 해당 지점의 경우 운전자에게 자극을 발생시키는 지점 즉, 상충이 발생할 가능성이 높은 지점일 것으로 판단된다. 마찬가지로 대조구간에서도 상충이 발생할 가능성이 상대적으로 높은 지점들이 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

Herman et al.(1959)에서 제시된 해당 차량군의 속도보다 5-10mph더 빠르게 주행하려는 운전자의 가속소음 분포를 참고하여, 분포의 최대값에 해당하는 $0.07g + 2 \times 0.05g$ 에 근사하는 1.66m/s^2 을 임계값으로 설정하여 분석을 실시해본 결과 선두차량의 경우 북수원 IC-부곡 IC 구간의 관측시간의 약 4.27%가 가속소음의 임계값을 넘어서는 것으로 나타나고 있다. 반대로 대조구간인 동군포IC-군포IC에서는 약 3.81%로 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC구간에서의 안전변수의 차이를 확인할 수 있었다. 한편 후행차량의 경우 임계값 1.66m/s^2 를 초과하는 관측시간은 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC 구간에서 해당구간 관측시간의 약 8.28%인 반면, 대조구간인 동군포IC-군포IC 구간에서는 해당구간 관측시간의 약 7.19%로 나타나 앞서 확인한 차이와 일관된 결과를 보이고 있다(Table 11 참조).

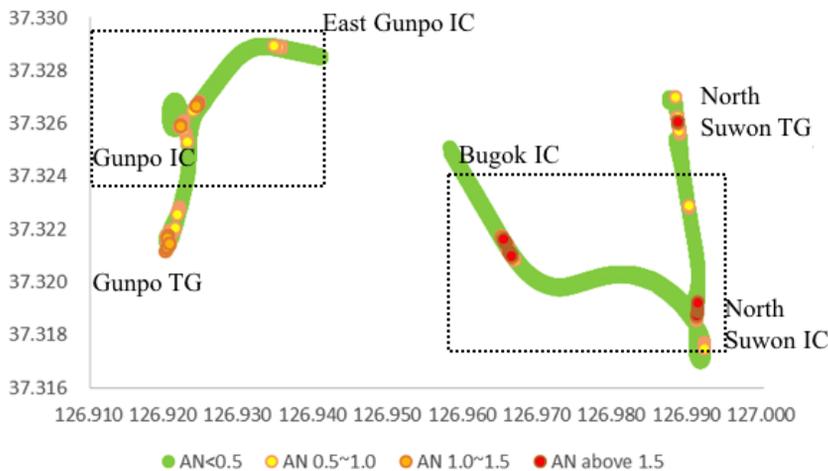


Figure 4. Acceleration noise value distribution in the experiment section of Yeongdong expressway

Table 11. Proportion rate of acceleration noise value above critical value

Sort		North Suwon - Bugok	East Gunpo - Gunpo
Front vehicle	time above critical value (sec)	75.2	51.6
	proportion rate of time above critical value (%)	4.27	3.81
Behind vehicle	time above critical value (sec)	146	97.4
	proportion rate of time above critical value (%)	8.28	7.19

도로주행안전을 위협하는 상충지점들이 분포하는 지역을 찾아낼 수 있다는 점이 본 연구가 채택하고 있는 안전대리변수 분석법의 가장 주요한 목표이며, 본 연구의 방법론을 통해서 안전대리변수를 측정하여 분석대상구간에서의 차량 거동에 대한 면밀한 검토가 가능하다.

3. DRAC 산출결과분석

DRAC의 경우 다른 변수와 달리 대부분의 주행구간에서 임계값에 가까운 산출값(Figure 5 참조)은 나타나지 않았다. DRAC의 경우 임계값을 AASHTO(2004)와 Cunto(2008)에서 $3.35m/s^2$, $3.4m/s^2$ 로 설정하고 있는데, 대부분의 지점에서 1미만의 변수값을 보이고 있다는 점에서 DRAC를 이용하여 설명할 수 있는 상충이 적게 일어났음을 의미한다. 그러나 복수원 TG, 군포

Table 12. Deceleration rate to avoid collision statistics during the measurement

	North Suwon - Bugok	East Gunpo - Gunpo
mean (m/s^2)	0.063	0.072
std.dev. (m/s^2)	1.018	0.364
c.v.	16.06	5.00

TG 부근에서 TG 통과후 가속하는 과정에서 발생한 DRAC 임계값 초과지점들의 경우, 실제 요금소 통과 후 가속하며 합류하는 과정에서 발생하는 Conflict를 반영하고 있음을 의미한다. 여기서 측정된 DRAC 값의 기초 통계량은 Table 12에 정리하였다.

본 연구방법론을 이용한 분석에서 이와 같은 conflict를 얻을 수 있다는 점에서, 분석하고자 하는 네트워크 링크의 특성에 맞게 각 변수의 유용성을 판단하는 것은 의미가 있을 것으로 판단된다.

4. 종합분석

1) 인천방향

본 실험에서 영동고속도로 인천방향 주행구간에서는 하류부의 돌발적인 정체여파로 인하여 동군포IC-군포IC 구간에서의 속도변동성이 크게 발생하고 있었다. 이로 인해 사고다발구간이 대조군에 비하여 안전대리변수를 이용한 주행안전도 측정변수가 위험하게 나타날 것이라는 가정과는 달리 대조군인 동군포IC-군포IC에서 주행안전도 측정변수로 선정하였던 안전대리변수의 변동계수

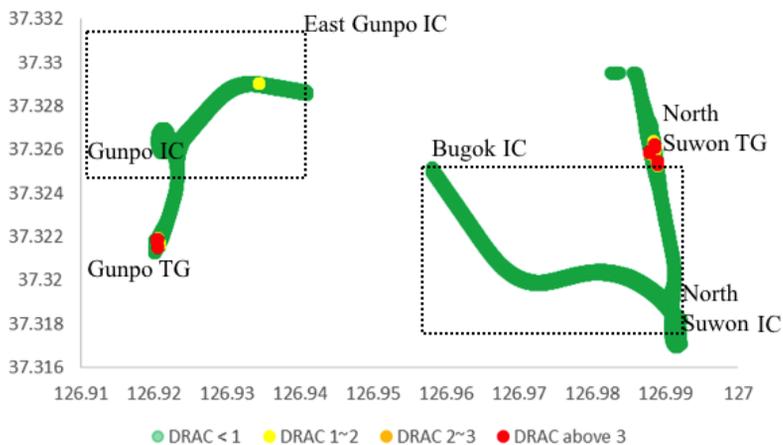


Figure 5. Deceleration rate to avoid collision value distribution during the experiment

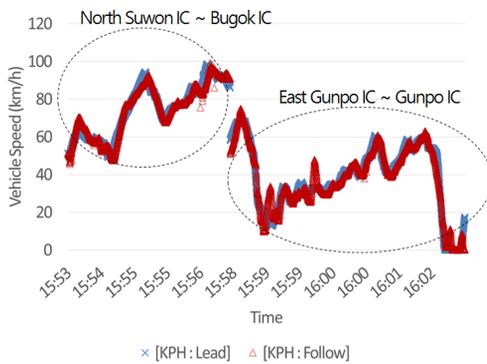


Figure 6. Driving speed plot(1st trial, for Incheon)

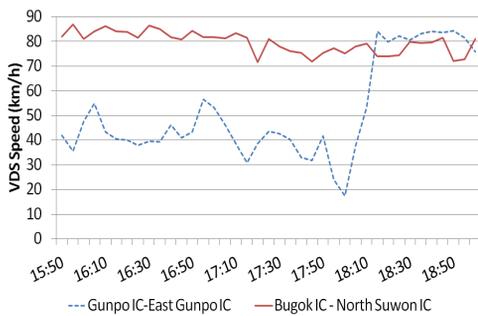


Figure 7. VDS 5min aggregated data on traffic speed (for Incheon, 2014. 12. 23.)

가 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC에 비하여 높다 (Table 13 참조). 이러한 현상은 정체 여파로 인해 동군포IC-군포IC 구간에서 가다서다 현상을 반복하고 있기 때문에, 상대적으로 해당시점에 상충이 발생할 확률이 더 높음을 의미한다. 실제 주행상황에서도 해당구간에서의 속도가 비교적 상류부인 북수원IC-부곡IC구간에 비하여 낮았다.

Figure 6에서 확인할 수 있듯이 시간대 별 단절구간을 통해 첫 번째 주행에서 두 구간 사이의 속도차이가 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인 할 수 있다. 이와 같은 현상이 인천방향으로 지속적으로 나타나며, 앞서 제시하였던 Figure 7의 VDS자료를 통하여서도 알 수 있다.

또한 실제 주행 실험에 참가하였던 운전자 인터뷰 결과, 선두차량, 후행차량 운전자 모두 인천방향 주행시 동군포IC-군포IC 구간에서의 주행안정성이 더 떨어졌다고 평가하고 있다는 점을 고려할 때, 산출된 안전대리변수 변수를 이용한 주행안전측정변수는 비교적 설명력을 갖는다고 볼 수 있다. 분석결과 인천방향의 경우 측정시점에서 동군포IC-군포IC 구간이 북수원IC-부곡IC 구간보다 주행안전도가 더 낮음을 추론할 수 있다.

Table 13. Estimating safety measure (for Incheon)

	TTC (sec)	AN (m/s ²)	DRAC (m/s ²)
North Suwon - mean	155.78	0.522	0.04
Bugok (High-risk) std.dev.	914.9	0.75	0.199
c.v.	5.87	1.45	4.08
East Gunpo - mean	166.84	0.65	0.07
Gunpo (Low-risk) std.dev.	1164.51	0.827	0.37
c.v.	6.97	1.26	4.92

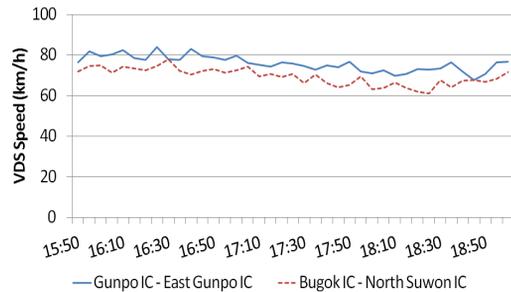


Figure 8. VDS 5min aggregated data on traffic speed (for Gangneung, 2014. 12. 23.)

2) 강릉방향

인천방향과는 달리 정체의 영향이 최소화되어 속도변동이 크게 발생하지 않았다. 두 구간의 본선부에서는 앞서 Figure 8의 VDS 자료에서 확인할 수 있듯이 시속 60km와 80km 사이의 주행속도가 지속적으로 유지되고 있다. 그리하여 본 실험에 목표하고 있는 사고다발구간과 안전도가 낮을 것으로 판단되는 대조구간(동군포IC-군포IC)에서 산출된 안전대리변수 변수들의 변동성이 크게 나타나고 있다. 강릉방향의 경우 사고다발구간이라고 기대하였던 북수원IC-부곡IC 구간에서의 안전대리변수의 변동계수가 동군포IC-군포IC 구간에서의 변동계수보다 높다는 점에서 북수원IC-부곡IC 구간에서의 안전변수의 변동성이 높아 대조구간인 동군포IC-군포IC 구간보다 더 위험할 것으로 추정된다.

기대한 것과 같이 강릉방향에서의 주행에서는 주행안전에 위협이 될만한 상황이 나타나지 않고, 비교적 수월하게 주행할 수 있었기 때문에, 인천방향에서의 결과보다 가정에 적합한 결과 값이 도출 되었다. Table 14에서 산출된 주행안전변수인 안전대리변수의 변동계수를 살펴 본 결과 북수원IC-부곡IC 구간에서 동군포IC-군포IC 구간보다 더 높은 것으로 확인된다.

Table 14. Estimating safety measure (for Gangneung)

		TTC (sec)	AN (m/s ²)	DRAC (m/s ²)
North Suwon - Bugok (High-risk)	mean	256.42	0.66	0.072
	std.dev.	1713.02	0.89	0.65
	c.v.	6.68	1.35	4.92
East Gunpo - Gunpo (Low-risk)	mean	227.89	0.68	0.064
	std.dev.	1372.05	0.88	0.23
	c.v.	6.02	1.29	3.64

결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존 지점기반 SSM 연구의 한계점을 극복하기 위하여 RTK-DGPS를 이용하여 주행구간특성과 차량의 궤적 정보를 수집하고, 구득자료로부터 궤적기반 TTC, DRAC, AN 등의 SSM을 산출하는 방법론을 검토하였다. 해당 방법론을 적용하여 영동고속도로 북수원IC-군포IC 구간에서 실험수행결과 정체 등의 외부적 요인이 없을 경우 High-risk로 가정된 사고다발구간에서 안전대리변수의 변동성이 높았다. 반면 정체와 같은 외부적 요인의 영향이 있는 경우, 해당 구간에서 안전대리변수 변동성이 더 높아 불안정함을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과를 놓고 볼 때, 실험 당시의 교통상황에 따라 주행안전도가 변화할 수 있다는 점도 확인할 수 있었다. 이에 따라, 측정 시점에 따른 차량의 주행구간에서의 궤적기반 위험도 평가가 가능하다.

앞으로 분석의 공간적 범위 및 시간적 범위를 넓혀 자료를 수집하여 다양한 공간적 특성 및 운전자 행태에 따른 분석을 수행하고, 기존의 지점기반 안전대리변수와 비교분석을 수행하여 본 연구에서 활용하고 있는 궤적기반 안전대리변수의 활용성을 넓히기 위한 연구를 수행할 수 있다. 또한 미시교통류 이론인 차량추종이론에서 추정하는 stability parameter와 안전대리변수와의 관계를 검토함으로써, 차량거동의 미시적 행태에 따른 변동성을 함께 검토해볼 수 있을 것으로 판단된다. 특히 이러한 연구가 RTK-DGPS를 활용하여 수행되고 있음을 고려할 때, 유사한 자료로 추출된다는 점에서 개별차량에 대한 위험도 분석과 같은 미시적 행태 분석도 가능할 것이다.

향후 교통공학이론에서 설명하고 있는 교통류 안정성과 안전대리변수가 합리적으로 위험성을 설명하고 있는지를 확인하여 다양한 주행구간 특성 및 운전자 특성에

따른 위험상황을 설명하는 연구를 수행하고, 위험구간 감지 및 위험한 운전행태의 감지를 통한 예방에 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

Almquist S., Hyden C., Risser R. (1991), Use of Speed Limiters in Cars for Increased Safety and a Better Environment, TRR, 1318, 34-39.

American Association of State Highway and Transportation Officials (2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D.C.

Archer J. (2005), Methods for the Assessment and Prediction of Traffic Safety at Urban Intersection and Their Application in Micro-simulation Modeling, PhD Thesis, Dept. of Infrastructure, Royal Institute of Technology, Sweden.

Chin H. C., Quek S. T. (1997), Measurement of Traffic Conflicts, Safety Science, 26(3), 169-185.

Cooper D. F., Ferguson N. (1976), Traffic Studies at T-junctions –a Conflict Simulation Model, Tfc Eng. and Ctrl., 17, 306-309.

Cunto F. J. (2008), Assessing Safety Performance of Transportation Systems Using Microscopic Simulation, Ph.D Thesis, Dept. of Civil Eng., Univ. of Waterloo, Ontario, Canada.

Drew D. R., Dudek C. L., Keese C. J. (1967), Freeway Level of Service as Described by an Energy-Acceleration Noise Model, TRR, 162, 30-85.

Gettman D., Head L. (2003), Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models, TRR, 1840, 104-115.

Google Inc. (2013), Google Earth (Build 7.1.2.2041)

Guido G., Vitale A., Astarita V., Saccomanno F., Giofre V. F., Gallelli V. (2012), Estimation of Safety Performance Measures From Smartphone Sensors, Procedia – Soc. and Behavioral Sci. 54, 1095-1103.

Hayward J. (1972), Near Miss Determination through Use of a Scale of Danger, Report No.TTSC 7115, The Pennsylvania State University, Pennsylvania.

Herman R., Montroll E. W., Potts R. B., Rothery R. W.

