실시간 차량정보 및 도로교통상황을 고려한 실시간 안전정보 제공에 관한 연구

A Study on Provision of Real-Time Safety Information Considering Real-Time Vehicular Data and Road Traffic Condition

고한검* · 이진수** · 김지호***

Ko, Han-Geom · Lee, Jin-Soo · Kim, Ji-Ho

Abstract

In order to lead safe driving, it is better to provide dynamic and detailed information on how the driver using the relevant road should behave as concerning movements of individual car rather than providing monotone and static information of reducing of speed to unspecified drivers. Assuming road and communication of highway where real-time collection and transfer of information on vehicles and road traffic status is possible, the purpose of this study was to provide real-time safe distance by considering road traffic condition such as road condition and driving condition, travel speed and distance between preceding/following vehicles. We intended to provide basic information about dangerous situation by defining different values of condition based column ($C_{condition}$) in accordance with the road surface condition, based on which Real-time Safety Distance Index(RSDI) is to be calculated comprehensively reflecting speed of preceding and following vehicles, distance between vehicles, vertical alignment and road surface condition on the scope of expression column (C_n). We intended to enable the driver to secure safety by providing the calculated Real-time Safety Distance Index (RSDI) so that the driver can intuitively sense and sufficiently cope with a dangerous situation where collision of vehicles may occur. The calculated RSDI value is comprised of 30 unit columns and will be provided to the driver being divided into risk evaluation grades of 3 predetermined steps, 'warning', 'dangerous' and 'normal'.

Keywords : road traffic condition, RSDI, smart highway, gap distance, hazard grade, VSL

요 지

보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 불특정 운전자에게 확실적이고 정적인 감속정보를 제공하기보다는 개별차량 움직임을 고려하여 해당 도로를 이용하는 운전자가 어떻게 행동해야 하는지에 대해 개별 운전자 중심의 동적이고 구체적인 정보를 제공하여야 한다. 본 연구에서는 실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되었을 때를 가정하여, 노면상태 및 주행상태 등의 도로교통상황, 선·후행차량의 통행속도 및 차간거리를 고려하여 실시간으로 차량 안전거리 정보 제공을 목적으로 하였다. 노면상태에 따라 상태기준컬럼($C_{condition}$)의 값을 달리 정의하여 기본적인 위험상황정보를 제시하고자 하였으며, 이를 기준으로 표현컬럼(C_n)의 범위에 선·후행차량의 통행속도, 차량간격, 종단경사, 노면상태 등을 종합적으로 반영하여 실시간 안전거리 지수(RSDI)를 산출하도록 하였다. 산출된 실시간 안전거리 지수(RSDI)를 운전자에게 제공함으로써, 운전자가 차량간 충돌(추돌) 가능 위험상황에 대해 직관적으로 인지하고 충분히 대응할 수 있도록 하여 안전을 도모하도록 하였다. 산출된 RSDI의 값은 30개의 단위컬럼으로 이루어지고, 사전에 정한 '경고', '위험', '보통'의 3단계 위험도 평가 등급으로 구분되어 운전자에게 제공되게 된다.

핵심용어 : 도로교통상황, 실시간 안전거리지수, 스마트하이웨이, 차량간격, 위험도등급, 가변속도제어

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로 차량의 충돌을 방지하기 위한 선행차량과의 안전거리는 각 차량의 속도에 따라 정해지게 된다. 즉 차량의

속도가 낮은 경우는 짧은 거리의 제동거리가 필요하지만, 고속으로 운행하는 차량은 보다 긴 거리의 제동거리가 필요하게 된다. 만일 차량간격이 제동거리만큼 유지되어 있지 않을 경우에는 충돌을 피할 수 없게 되기에, 차량의 충돌방지 및 안전운행을 위해서는 선행차량의 돌발적 상황에 대처하기 위

*정회원 · 교신저자 · (주)제일엔지니어링 건설교통연구원 대리, 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (E-mail : hankommi@empal.com)

** (주)제일엔지니어링종합건축사사무소 교통 · ITS사업부 차장 (E-mail : jinsoo999@hanmail.net)

***정회원 · (주)제일엔지니어링종합건축사사무소 교통 · ITS사업부 부사장 (E-mail : tra2000@ccheileng.com)

그림 1. 운전자 안전운전 정보 제공 방안

한 안전거리 확보가 필연적으로 필요하게 된다.

일반적으로 고속도로를 주행할 때 운전자는 획일적인 ‘제한속도’ 또는 ‘안전거리 확보’와 관련한 도로 표지판 정보를 통해 제시받으며, 가변제한속도 적용¹⁾ 등의 가변적인 도로교통상황에서 도로전광표지(이하, VMS) 등을 통해 감속운행을 지시하는 정보만을 제공받고 있을 뿐이다.

최근에는 개별운전자에게 본인 차량의 즉각적인 속도를 알려주어 과속을 자제하도록 하는 과속 경고 시스템이 도입되어 운영 중이기도 하다.

하지만, 보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 운전자에게 단순한 감속정보를 제공하기보다는 운전자가 어떻게 행동해야 하는지에 대한 구체적인 정보를 제공하여야 하며, 전방상황에 대한 단순한 도로정보제공을 넘어서 개별차량 움직임에 따른 구체적인 정보제공이 필요하다.

1.2 연구의 내용 및 방법

차량의 충돌방지 및 안전운행을 위해서는 선행차량의 돌발적 상황에 대처하기 위한 안전거리 확보를 위해 필요한 신뢰성 있는 기초데이터를 기반으로 충돌(추돌) 가능 여부 산출이 필요하며 이를 사전에 효과적으로 도로 운전자 및 운전자에게 전달될 수 있어야 한다.

본 연구에서는 실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되었을 때를 가정하여, 제한속도 및 선·후행차량의 통행속도를 고려하여 실시간으로 필요 차량 안전거리를 산출하는 알고리즘을 개발하고 이를 운전자에게 제공하는 것을 목적으로 하였다.

이를 위해 주행방향 전방의 노면상태정보(건조, 습윤, 결빙, 적설 등), 주행상태정보(가변제한속도 적용 등), 도로상태정보 등을 노변장비(RSE)를 통해 제공받아 안전거리 지수를

산출하고, 이를 운전자에게 제공하는 방안에 대해 제시하도록 한다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1 안전도 지표(Safety Indicator)

2.1.1 SDI(Stopping Distance Index)

선·후행 차량간 안전거리가 미확보된 상황을 불안전 이벤트로 정의하고, 선·후행 차량의 정지거리를 비교하여 안전도를 평가한다. 후행차량의 정지거리가 선행차량의 정지거리보다 길 경우, 두 차량은 충돌가능성이 있는 ‘unsafe’로 표출되게 된다.

$$SDI = \begin{cases} 0(safe), & \text{if } d_L - d_F > 0 \\ 1(unsafe), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$d_L = V_L \times h + \frac{V_L^2}{254(F \pm G)} + l_L \quad (2)$$

$$d_F = V_F \times t_R + \frac{V_F^2}{254(F \pm G)} \quad (3)$$

여기서, d_L : 선행차량 정지거리(m)

d_L : 후행차량 정지거리(m)

V_L : 선행차량의 속도(kph)

V_F : 후행차량의 속도(kph)

F : 타이어노면 마찰계수

G : 종단경사

t_R : 인지반응시간(1.7s)

h : 차두시간

l_L : 선행차량의 길이(m)

2.1.2 RSI(Real-Time Safety Index)

RSI는 검지영역을 주행하는데 걸린 총시간 대비 누적된 SDI값의 비율로서 누적 안전도 평가지표값으로 표현하는 실시간 안전성지표로 정의한다. 즉, 관찰영역을 주행한 차량이 불안정한 상황에 노출되는 시간의 비율을 의미한다.

$$RSI = \frac{\text{관찰영역의 총 unsafe 시간}}{\text{관찰영역의 총주행시간}} = \frac{\sum SDI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} \quad (4)$$

2.1.3 TTCI(Time to Collision Index)

선행차량과 후행차량이 속도변화 없이 현재의 속도를 유지할 경우 후행차량의 속도가 더 빠르다면 충돌이 발생하게 되며, 현재시점(t)과 충돌시점($t+K$) 간의 시간차이 K 를 TTC로 정의한다.

선·후행 차량의 속도를 산출하여 후행차량의 속도가 더 크고 gap이 0보다 큰 경우에만 TTC를 산출하며, TTC값은 두 차량의 속도차이를 이용하여 산출하며, 임계치(K)와의 비교를 통해 안전(safe, 0), 불안전(unsafe, 1)으로 나타내는 안전도지표 TTCI를 정의한다.

$$TTC_i = \frac{\Delta d(t)}{V_i(t) - V_{i-1}(t)}, \quad \forall V_i(t) > V_{i-1}(t) \quad (5)$$

$$TTCI = \begin{cases} 0(safe), & \text{if } TTC > K \\ 1(unsafe), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

1) 현행 도로교통법에서는 “비나 안개, 눈 등 악천후 시에는 20~50% 감속운행해야 한다”고 규정하고 있으며, 경찰청에서는 날씨에 따라 ‘가변제한속도 제도’를 점진적으로 도입하기로 하였음

여기서, $\Delta d(t)$: 선·후행 차량 거리(m)

$V_i(t)$: 후행차량의 t 시간일때의 속도

$V_{i-1}(t)$: 선행차량의 t 시간일때의 속도

2.1.4 RSTI(Real-Time Safety TTC Index)

누적 TTC값을 이용하여 검지영역을 주행하는데 걸린 총 주행시간동안 차량의 TTC가 불안전(unsafe, 1)한 상황에 노출되는 시간의 비율은 RSTI라고 정의한다.

$$RSI = \frac{\text{관찰영역의 총 unsafe 시간}}{\text{관찰영역의 총주행시간}} = \frac{\sum TTCI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} \quad (7)$$

2.2 속도제한에 관한 연구

가변속도제어(VSL)에 대한 교통사고 발생가능성 등의 안전도에 대한 연구(Allaby, 2007; Mohamed Abdel-Aty, 2006; Lee, 2004; Mason, 1998 등)와 통행시간 및 통행시간의 변화에 대한 연구(박준영, 2011; 박준형, 2008; 장정아, 2010; 박지은, 2009; Papageorgiou, 2008 등)가 주로 이루어졌다.

Allaby 등(2007)은 가변제한속도를 산정하는 기준(100km/h, 80km/h, 60km/h 중 선택)을 제시하고, 그에 따라 실시간(20초 단위) 검지기 데이터를 기반으로 가변속도제어를 실시하였다. Mohamed Abdel-Aty 등(2006)은 사고잠재율 산출모형을 이용해 고속주행차량이 통과하는 비정체구간과 저속주행차량이 통과하는 정체구간에 대하여 분석을 수행하였다. Lee 등(2004)은 고속도로 구간에서 차량의 평균속도에 따라 가변적으로 속도제어를 적용하되 이때 잠재적인 충돌위험을 판단하여 실시간으로 속도제어를 수행하는 Real-Time Crash Prediction Model을 개발하였다. Mason 등(1998)은 Car-Following model을 기반으로 혼잡상태일 때 통행시간의 감소와 사고지점으로 접근하는 교통류의 안전도에 대한 속도조정의 잠재적 효과에 대하여 연구하였다.

박준영(2011)은 고속도로 공사구간에 PVMS(Portable Variable Message Sign)를 일정 간격으로 설치하여 VSL을 구현하는 교통류 제어전략을 수행하였다. 박준형 등(2008)은 사고위험도 예측모형에 따른 제한속도 변화와 도로환경조건의 변화에 따른 제한속도 조정 방안을 제안하였다. 장정아 등(2010)은 단일구간에 대한 시간적 흐름에 따른 교통환경 및 도로노면상태 변화에 따른 안전속도를 안전권고속도로라 정의하고, 차량간의 안전거리, 통계적 차량속도, 노면상태 정보를 기반으로 한 산정 모형을 개발하였다. 박지은(2009)은 VISSIM을 이용하여 추출한 이력자료를 토대로 가변속도제어의 운영효과를 분석하고, 이를 교통류 모형과 충격과 이론을 이용하여 개선효과에 대한 이론적 검증을 수행하였다. Papageorgiou 등(2008)은 고속도로에서 가변속도제어 시행으로 차량들 사이의 속도 표준편차를 감소시켜 개별차량 속도의 균질한 효과를 가져와 교통류의 와해를 방지하는 것을 확인하였다. 스웨덴에서는 VIKING 프로그램의 일환으로 고속도로, 지방부 도로 및 교차로에 날씨, 교통조건 및 2차 교통상황에 근거하여 제한속도를 달리 적용하며, 도로노면의 표지판을 이용하여 정보를 제공하고 있다(장정아, 2010).

2.3 경고정보 제공에 관한 연구

운전자에게 제공되는 경고정보제공 방식과 내용에 따른 운전자의 선호도 및 반응에 대한 연구(김태진, 2010; 전용옥, 2009; 송태진, 2009a, 2009b; 박재홍, 2009 등)가 주로 이루어지고 있다.

김태진 등(2010)은 교통류의 상충위험을 알리는 상황정보보다는 직접적인 행동을 요구하는 행동정보 메시지와 간결한 텍스트로 구성된 경고정보 메시지의 가치가 높은 것으로 평가하였다. 전용옥 등(2009)은 충돌방지정보를 두 단계로 나누어 연속으로 제공할 경우에 사고발생을 낮추는 데에 효과가 있다는 것을 밝혀냈다. 송태진 등(2009a)은 VMS를 이용하여 위험구간에 대한 상황과 위험상황 회피를 위한 속도제한정보를 2개의 정보현시로 표출해주는 것을 선호하는 것으로 분석하였다. 송태진 등(2009b)은 긴급영향권에서는 ‘음성+이미지+text’와 경고음+text’로 구성되고, 일반영향권에서는 ‘경고음+음성+이미지+text’로 구성된 경고정보를 제공하는 것이 가장 효과적임을 밝혀냈다. 박재홍 등(2009)은 TEXT와 ‘픽토그램 또는 기호’는 점멸효과와 적색으로 경고정보를 제공하며, ‘픽토그램 또는 기호’와 ‘TEXT’를 동시에 제공하는 것이 효과적임을 밝혀냈다.

2.4 경고정보제공 매체

국내외 경고정보제공 매체에 관한 연구를 검토한 결과 매체별 운전자의 반응에 대한 연구(Maroney 등, 1987; Carlson 등, 2000; Pesti 등, 2002; Mitsuru 등, 2003; 최봉수, 2005)가 주류를 이루고 있다.

Maroney 등(1987)은 traffic sign을 이용하여 운전자 자신의 속도를 알려주는 기법은 제한속도 준수율을 높이는데 있어 효과적이며, 이 감속 효과는 장비 제거 후 한동안 지속되는 효과가 있다고 평가하였다. Carlson 등(2000)은 지방부 고속도로에서 일시적 공사로 차로가 폐쇄되었을 때 3가지 시설물(normal traffic control, speed trailer and speed advisory sign, radar done and speed advisory sign)을 설치하였을 때의 효과를 분석하였다. 분석 결과 speed trailer와 radar done을 통해 운전자에게 속도를 모니터링 해주었을 때 평균 속도와 과속 비율을 감소시키는데 효과적임을 밝혀내었다. Pesti 등(2002)은 SMD(Speed Monitoring Displays)의 효과에 대하여 설치기간 동안에는 감속 및 이의 유지 효과가 있는 것으로 분석하였다. Mitsuru 등(2003)은 고속도로 작업구간에 3가지 조건으로 나누어 속도에 대한 영향을 분석하였다. 조건 1(SMD를 설치하지 않은 경우) 3mph, 조건 2(SMD를 설치한 경우) 7mph, 조건 3(경찰차를 배치한 경우) 9mph의 속도감소효과가 나타남을 밝혔다. 최봉수(2005)는 어린이보호구역 내 DFS(Driver Feedback Sign, 과속경보시스템) 설치를 통해 도입효과를 분석한 결과, 속도감소효과가 있는 것으로 분석하였다. 시간대별 속도감소효과에 대해 주간에 비해 야간의 효과가 더 큰 것으로 평가하였다.

2.5 마찰력과 교통사고와의 관계

기존의 많은 연구에서 마찰계수가 낮을수록 사고율이 높은 경향을 나타내는 사고율과 마찰계수간의 관계를 제시하고 있다.

2) 날씨상황에 따라 110km/h에서 60km/h로, 교통상황에 따라 90km/h에서 70km/h, 50km/h, 30km/h로 변경할 것을 제한함

미국 캔터키주 교통국과 B. E. Sabey, Holbrook, Road Research Laboratory(1964), Schulz 등(1976)은 노면 마찰력과 교통사고의 관계를 분석한 결과 노면마찰력이 감소할 경우 교통사고율이 증가하는 것을 밝혀내었다(권재석, 2009). 조형은(2010)은 국내의 도로종류별 노면상태별 치사율에 대한 검토 결과, 고속도로에서 노면의 상태가 적설, 결빙일 경우가 건조할 경우보다 치사율이 높은 것으로 나타나 노면상태가 좋지 않은 상태에서 고속으로 운전할 경우 더욱 주의가 기울여야 함을 제시하였다.

2.6 통행속도와 안전과의 관계

국내외의 많은 연구에서 차량의 속도와 안전 사이의 관계에 대해 차량의 속도, 속도 분산, 교통량의 변화, 점유율, 상류부와 하류부의 속도 차이 등이 사고 발생확률과 관계있다고 제시하고 있다.

Solomon(1964), Cirillo(1968)는 평균 속도 및 개별차량의 속도로 사고 연루확률을 나타내는 U자 형태의 곡선을 발견하였다. Finch 등(1994) 및 Baruya(1998), Quimby 등(1999)과 Kloeden 등(2001, 2002)은 차량의 속도가 증가함에 따라 사고 위험이 증가함을 제시하였다. Lave(1985), Garber 등(1989), Garber 등(2000)은 도로 내 차량들의 속도 분산 값이 사고에 많은 영향을 미친다고 주장하였다. 송성준 등(2011)은 추돌사고율은 속도차이의 제곱에 비례하며, 상류부와 하류부의 속도차이가 증가할수록 사고위험도가 커지는 것을 알아내었다. Golob과 Rucker(2003)는 선형 및 비선형 통계분석을 통해 추돌 사고 확률은 낮은 속도에서 교통량 변화가 클 때 발생한다는 것을 알아냈다. Abdel-Aty 등(2004)은 하류부 속도의 변동계수와 상류부의 점유율이 사고와 밀접한 관련이 있는 매개변수임을 알아냈다. Yeo(2010)는 고속도로 구간의 교통류 상태를 4가지로 나누고, 각 상태마다의 사고율을 추정하는 방법을 도입하였다(송성준, 2011).

2.7 본 연구의 주안점

국내외 연구고찰을 통해 마찰계수가 낮을수록 사고율이 높은 경향을 보이고 있었으며, 차량의 속도와 안전 사이에는 유의한 관계가 있음을 알 수 있었다. 이러한 이유로 사고 감소를 위하여 사고 발생의 위험이 높은 상황에서 감속을 유도할 수 있는 경고정보제공 방법 및 매체에 대한 다양한 연구들이 수행되어 왔다.

경고정보제공 매체를 통해 개별 운전자의 감속을 유도하는 연구의 경우 제한속도 초과 시 감속을 위한 목적으로 설치되며 대부분의 경우 감속에 효과적인 것으로 분석되었다. 하지만 VMS, 노면 안내장비나 차량내 단말기를 이용하여 개별 운전자 특성이 반영되지 않은 공통적이고 일반적인 위험 정보를 전달되는 수준의 안전운전 유도방안이 대부분을 이루고 있었다.

운전자가 장애물이나 사고 등의 돌발상황을 발견하고 이에 대해 판단하여 행동을 결정할 때까지 어느 정도 시간이 필요하다. 이러한 인지반응시간이 길어지게 될 경우 운전자의 제동거리는 길어지게 되며 돌발상황에 대해 적절한 대처를 하지 못하게 된다. 따라서, 운전자에게 미리 전방의 상황 정보를 제공하여 운전자가 빠른 판단 및 대처가 가능할 수 있

도록 하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

그러므로, 보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 운전자에게 어떻게 행동해야 하는지에 대한 구체적인 정보를 제공하여야 하며, 전방상황에 대한 단순한 도로정보제공을 넘어서 개별차량 움직임 등을 추가로 고려한 개별운전자 중심의 구체적인 정보제공이 필요하다.

이에, 실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 도로 및 통신환경이 조성이 조성될 경우, 주행 구간의 도로상태정보 및 노면상태정보를 실시간으로 제공받아 차량간 충돌(추돌) 가능 위험상황을 미리 예측할 수 있는 기법이 개발되어야 하며, 제공된 경고정보를 운전자가 직관적으로 인지하고 이를 수용하여 충분히 대응할 수 있도록 경고정보를 제공하는 연구가 필요하다.

3. 실시간 안전거리 지수(RSDI) 산출알고리즘 개발

3.1 실시간 안전거리 지수(RSDI) 개요

3.1.1 실시간 안전거리 지수(RSDI)

실시간 안전거리 지수(Real-time Safety Distance Index, 이하 RSDI)는 노면상태 및 기하구조 등의 도로교통상황, 선·후행차량의 통행속도 및 차간거리를 고려한 실시간 차량 안전거리 정보를 나타내는 지수라 정의하였다. RSDI는 노면상태별 기준컬럼³⁾($C_{condition}$)과 표현컬럼(C_n)으로 구성되며, 운전자에게 제공되는 RSDI의 정보제공형태는 운전자가 직관적으로 인지하고 이를 수용하여 충분히 대응할 수 있어야 한다.

$$RSDI = C_{condition} + C_n \quad (8)$$

여기서, $C_{condition}$: 노면상태별 기준컬럼

C_n : 표현컬럼

$C_{condition}$ 은 노면상황에 따라 변화하며, C_n 은 선·후행 차량의 통행속도 및 차량간격, 노면상태 및 종단경사 등에 따라 실시간으로 변하게 된다. 이 때, 컬럼의 급격한 변화는 운전자에게 혼동을 줄 수 있으므로 이에 대한 보완이 추가로 필요하다.

후행차량이 안전거리 이내로 접근할 경우에는 표현컬럼은 정(+)의 방향으로 증가($C_n > 0$)하여 운전자에게 위험을 경고한다. 반면에 후행차량이 선행차량의 안전거리 이상으로 이격되었을 경우에는 표현컬럼(C_n)은 부(-)의 방향으로 감소($C_n < 0$)하여 비교적 안전한 상태임을 운전자에게 알리게 된다.

3.1.2 안전도 평가 정보제공 기준

안전정보 제공을 통한 적정한 안전거리 유지를 함으로써 추돌위험을 감소시키기 위해서는 객관적으로 운전자의 적정 안전거리 유지 상태를 나타낼 수 있는 안전도 판단기준이 필요하다. 예를 들어, 현재의 안전거리가 추돌 사고의 가능성이 있을 정도로 좁은 경우이나 지수의 값이 위험상황임을

3) RSDI는 도로교통요인(선·후행 차량의 통행속도 및 차간거리, 도로상태정보 및 노면상태정보 등)을 이용하여 필요 안전거리를 확보할 수 있도록 1~30 사이의 지수의 형태로 수치로 표현하며, 이 때의 30개의 지수값을 컬럼이라고 정의하였음

그림 2. RSDI 정보 제공 형태

표현하지 못한다면 해당 지수는 적절하지 못한 것이다. 즉, 선행차량과 운전자 차량간의 주행속도, 차량간격, 현재의 노면상태나 도로상태 등을 파악하여 안전에 위험이 발생할 상황일 경우 적정 안전거리 유지를 위한 감속 등의 조치가 필요하다.

RSDI는 총 30의 킬럼으로 구성되며, 1~20까지를 ‘보통 상황’으로, 20~25까지를 ‘주의 상황’으로, 25를 초과할 경우를 ‘경고 상황’으로 정의하여 해당 위험도 점수를 운전자에게 전달하도록 하였다. 즉, 운전자가 위험상황이 되었을 경우 ‘주의’ 정보를 주어 운전자의 주의 환기 및 안전운전을 유도하게 되며, 이 보다 더 큰 위험상황이 될 경우 ‘경고’ 정보를 제공하도록 하는 방법이다.

선행차량이 존재하지 않거나 안전거리가 충분히 확보된 경우 안전상태로서, 기본 안전거리 지수값(RSDI 5)을 제공하도록 한다. 반면, 전방에서 돌발상황이 발생하였을 경우 RSE를 통해 돌발정보를 수신하게 되며, 이러한 돌발정보는 차량의 속도와 차간거리와 상관없이 위험도 등급에 가장 우선하여 점별로 표출(RSDI 30)되게 하였다.

본 연구에서는 ‘경고’ 상황이 시작되는 표현킬럼인 ‘25’를 기준으로 하여 각 위험도 등급별 RSDI의 범위를 선정하였

으며, 이에 대한 구체적인 설명은 3.2.4절에서 자세히 다루도록 한다.

3.1.3 RSDI 산출 시 고려사항

3.1.3.1 차량정지거리 산출

선행차량과 후행차량의 통행속도를 이용하여 선·후행차량의 최소정지거리를 각각 산출한다. 산출된 최소정지거리를 이용하여 최소정지거리 대비 차간거리가 짧을 경우 후행차량이 감속이 요구된다.

차량의 정지거리는 선·후행 차량속도와 노면마찰계수 및 종단구배 등에 의해서 산출되며 상황별 안전거리와 비교되어 표출하기 때문에 scale에 맞도록 변경되어 표현되어야 한다.

3.1.3.2 차량정지거리 산출 범위

차량정지거리 산출 결과는 기존문헌고찰의 연구결과를 바탕으로, 정체상황에서는 운전자에게 제공하지 않도록 한다⁵⁾. 즉, 고속도로에서 혼잡 상황 시 서행운전을 하게 되며, 이러한 상황에서의 안전거리는 큰 의미가 없게 된다. 운전자는 일반적으로 지정체가 발생한 상황에서는 앞차와의 거리파악이 고속일 때 보다 용이하게 되어 시각적인 거리 정보가 차량 안전거리정보보다 더 신뢰성이 있을 수 있기 때문이다.

표 1. RSDI에 따른 안전도 평가 정보제공 기준

위험도 등급	RSDI 범위
돌발상황	$RSDI = 30$ (점멸)
경 고	$25 < RSDI$
주 의	$20 < RSDI \leq 25$
보 통	$1 \leq RSDI \leq 20$
안 전(default)	$RSDI = 5$

표 2. 운전자 정보제공 범위

구분	정체	서행	소통원활
속도	~30km/h ⁴⁾	30~70km/h	70km/h 이상
정보제공	×	○	
RSDI	20(주의정보) -Default	산출 RSDI 값

그림 3. 안전도 평가 정보제공 기준

- 4) 현재 한국도로공사의 고속도로 정체판단기준은 40km/h이나, 기존의 연구 결과 등을 종합적으로 고려하여 기존의 30km/h를 기준으로 하였음
- 5) Mohamed Abdel-Aty(2006)는 VSL 시행 시 정체구간에서는 명확한 소통능력의 향상이 이루어지지 않은 것으로 분석하였으며, 박준영(2011)은 일정 기준(LOS C) 이상의 원활한 교통패턴인 경우 VSL의 시행이 효과적인 것으로 분석되었음

이에, 정체상황 시에는 RSDI 20을 표출하여 운전자에게 주의정보를 제공하도록 하였다.

3.2 RSDI 산출 알고리즘 개발

3.2.1 RSDI 산출 알고리즘⁶⁾

먼저 RSDI 산출 알고리즘의 기초자료로서, 기 설정된 인지반응시간(t_R) 및 노변장비(RSE)로부터 수신된 노면마찰계수(f), 도로종단경사(s) 및 해당구간 제한속도(V_{limit})와 함께, 선·후행차량속도(V_L , V_f)와 차량간격(D_{gap})을 산출한다.

표현컬럼 C_n 은 차량간격에 영향을 받을 때(Case 1)와 받지 않을 때(Case 2), 그리고 제한속도에 영향을 받을 때(Case 3)로 구분되어 산출된다. 반면, 앞서 살펴본 바와 같이 통행속도가 30km/h 이하인 정체상황에서는 별도로 RSDI 값을 산출하여 제공하지는 않도록 한다.

각 상황별로 RSDI가 산출되면 실시간으로 차량내의 정보 제공장치에 표현되어 적정안전거리를 유지하며 주행할 수 있도록 운전자에게 정보를 제공하게 된다.

3.2.1.1 Case 1 : 차량간격에 영향을 받는 경우

후행차량의 속도가 제한속도 이하일 때, 차량간격(D_{gap})이 정지거리($D_{safetygap}$)보다 같거나 작은 경우($D_{gap} \leq D_{safetygap}$)에는 추가적인 안전거리의 확보가 필요하다. 이 경우에는 다음의 수식으로 RSDI를 산출한다.

$$C_{n(case 1)} = \frac{(D_{safetygap} - D_{gap})}{D_{unitc}} \quad (9)$$

$$RSDI_{case 1} = C_{condition} + \frac{(D_{safetygap} - D_{gap})}{D_{unitc}} \quad (10)$$

$$D_{safety gap} = \frac{V_F}{3.6} t_R + \frac{V_F^2}{254(f \pm s_F/100)} - \left(V_L \times h + \frac{V_L^2}{254(f_L \pm s_L/100)} + l_L \right) \quad (11)$$

3.2.1.2 Case 2 : 차량간격에 영향을 받지 않는 경우

선행차량이 존재하지 않거나 차량간격(D_{gap})이 일정 수준

의 정지거리($D_{safetygap}$)를 초과할 경우($D_{gap} > 2 \times D_{safety gap}$, 변경 가능) 안전거리가 충분히 확보된 상태로, 이 경우에는 기본 RSDI값을 제시하도록 한다.

3.2.1.3 Case 3 : 제한속도에 영향을 받는 경우

후행차량의 속도(V_f)가 해당구간의 제한속도 이상인 경우($V_f \geq V_{limit}$)에는, 제한속도 이내로 주행할 수 있도록 감속을 유도할 필요가 있다. 제한속도를 기준으로한 상대적 안전거리($D_{limit safetygap}$)를 설정하여 RSDI를 산출한다.

$$C_{n(case 3)} = \frac{(D_{limit safetygap} - D_{gap})}{D_{unitc}} \quad (12)$$

$$RSDI_{case 3} = C_{condition} + \frac{(D_{limit safetygap} - D_{gap})}{D_{unitc}} \quad (13)$$

$$D_{limit safetygap} = \frac{V_F}{3.6} t_R + \frac{V_F^2}{254(f_F \pm s_F/100)} - \left(\frac{V_{limit}^2}{254(f_L \pm s_L/100)} \right) \quad (14)$$

3.2.1.4 Case 4 : 정체 상황시

후행차량의 속도(V_f)가 앞서 제시한 표 2와 같이 지·정체 상황을 가정한 기준속도(30km/h, 변경 가능)보다 큰 값을 가지는지 비교해 이 기준속도 이하인 경우 지체 또는 정체 상황이다. 이 경우에는 운전자가 차량 안전거리 확보 및 감속에 민감하게 반응하고 있는 상황으로, 안전거리제공이 운전자에게 작업 과부하를 주는 등 실질적인 도움이 되지 못할 수 있으므로 일정한 속도 이하에서는 정보를 제공하지 않도록 한다.

3.2.2 단위컬럼(D_{unitc}) 정의

일반적으로 차량속도별로 정지거리가 상이하므로 단위컬럼(D_{unitc}) 개념을 사용하여 안전거리 지수의 급격한 변화를 막고자 한 것으로, 속도에 따라 1 단위컬럼(D_{unitc})에 해당하는 실제거리는 달라지게 된다. 즉, 단위컬럼당 거리는 속도에 따라 변화가 되며 상황별 안전거리 bar의 크기는 급격한 변화가 없어야 하므로 차량의 일반적인 가속도를 고려하여 단위컬럼의 크기를 고려하도록 한다.

운전자는 개개인에 따라 운전의 경험 및 숙련 정도, 위기 대처능력 등이 다양하여 운전자가 장애물을 발견한 후 브레이크를 밟을 것인가를 판단하고 나서 브레이크를 밟을 때까지의 동작시간에 대하여 각종 실험이 실시되고 있지만 그 결과는 매우 다양하다. 본 논문에서는 운전자가 장애물을 발견하고 브레이크를 밟을 때까지의 반응시간(Braking Reaction Time)으로 1.8초⁷⁾를 적용하였다.

차량이 감·가속 주행을 할 경우에 급격한 표현컬럼의 움직임 보정하기 위해 표준 차량감속도를 설정하여, 컬럼의 급격한 변동으로 인한 운전자의 혼란을 방지하고자 한다. 이

그림 4. RSDI 산출

6) SMART 도로·자동차 연계기술 개발 2단계 보고서(2012)를 인용하여 재구성하였음

7) 이수범 등(2002)은 alerted 조건 하에 조사된 85th 백분위수에 해당하는 운전자 인지반응시간을 1.804초로 제시하였으며, 본 연구에서는 운전자에게 실시간 차량간격 정보를 제공하고 있는 상황임으로 1.8초를 적용함

표 3. 정상가속도 및 감속도

속도변화 (kph)	가속도		감속도	
	(kph/sec)	(m/sec ²)	(kph/sec)	(m/sec ²)
0~30	5.5	1.53	7.5	2.08
30~40	2.0	0.56	6.7	1.86
40~50	1.4	0.39	5.0	1.39
50~60	1.0	0.28	5.0	1.39
60~70	0.8	0.22	5.0	1.39
70~80	0.8	0.22	5.0	1.39

자료) 교통공학원론(상), 도철웅

에 단위컬럼의 변화에 대한 적절한 기준이 필요하며, 본 논문에서는 5kph/sec의 감속도를 적용하도록 한다.

또한 차량이 감·가속 주행을 할 경우에 다음 절에서 제

표 4. 노면상태에 따른 마찰계수

구 분	노면 마찰계수 범위	적용값
건 조 (dry)	0.80~1.00	0.80
습 윤 (wet)	0.50~0.80	0.50
적 설 (snow)	0.20~0.30	0.20
결 빙 (ice)	0.05~0.10	0.05

자료) 노면상태별 교통사고 및 미끄러짐저항값, 한국건설기술연구원, 2004

시되는 표현컬럼(C_n)의 급격한 움직임을 보정하기 위해 표준 차량감속도를 설정하여, 컬럼의 급격한 변동으로 인한 운전자의 혼란을 방지하고자 한다. 이에 단위컬럼의 변화에 대한 적절한 기준이 필요하며, 본 논문에서는 5kph/sec의 감속도를 적용하여 주행속도에 따른 도로위험 정보를 표준화시키 고자 하였다.

그림 5. 도로교통상황을 고려한 RSDI 산출 알고리즘

이를 위해 1초 동안 5kph의 감속이 이루어질 때의 제동 거리 대비 필요주행속도에 따른 단위컬럼의 거리를 D_{unitc} 으로 정의하였다.

$$D_{unitc} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254(f \pm s_f/100)} = \frac{V_f^2 - (V_2 - \Delta V)^2}{254(f \pm s_f/100)} \quad (15)$$

여기서, V_f : 후행(following)차량속도
 ΔV : 감속에 의한 속도변화량(기본값 5km/h설정, 변경가능)
 f_f : 후행차량의 미끄럼마찰계수
 s_f : 후행차량의 종단경사(%)

이 때, 노면상태에 따른 마찰계수는 표 4와 같이 노면상태별 대표노면마찰계수로 적용하였다.

3.2.3 표현컬럼(C_n) 산출

RSDI 산출 알고리즘에 의거하여 선행차량과 후행차량은 등속으로 운행한다는 가정 하에 알고리즘 구성 변수들의 값을 변화시키는 시나리오를 구상하여 표현컬럼의 산출 범위를 도출해 보았다. 이때의 표현컬럼은 식 (2), 식 (6)에서 제시한 바와 같이 필요안전거리($D_{safetygap} - D_{gap}$ 또는 $D_{limit\ safetygap} - D_{gap}$)과 단위컬럼(D_{unitc}) 사이의 비를 나타낸다.

표 5에서와 같이 선행차량과 후행차량의 속도는 30~120 km/h까지 10km/h 간격으로 변화한다고 설정하고 차간거리를 10~100m까지 10m씩 변화시키면서 적정 차량간격 및 표현컬럼의 값의 변화를 분석하였다. 이 때 현실적인 도로 주행여건을 반영하기 위하여 선행차량과 후행차량간의 통행속도차가 $\pm 30\text{km/h}$ 이내⁸⁾에 해당하는 경우만을 분석대상으로 하였다. 또한 종단경사를 -10%에서 10%까지 1%씩 증가시키고, 노면마찰계수를 0.05~1.00까지 0.05씩 증가시켜 종단경사와 노면마찰계수로 인한 각각의 영향도 고려하였다.

위의 시나리오를 바탕으로 산출된 표현컬럼(C_n)의 경우 노면상태에 따라 그 범위가 달리 산출되었다. 종단경사의 경우 내리막 경사시 안전거리가 추가로 필요한 것으로 분석되었나, 종단경사에 대한 영향은 그리 크지 않은 것으로 분석되었다.

그림 6은 마찰계수(f) 0.8이고, 평지에서 주행 시의 표현컬럼의 분포를 예로 나타내었다.

제어변수를 변화시켰을 때 산출된 정(+)의 표현컬럼의 최대값은 노면 건조 시의 16.2, 최소값은 결빙 시의 7.0이었다. 표현컬럼의 경우 필요 안전거리와 단위컬럼 사이의 비율이기에, 단위컬럼의 값이 상대적으로 큰 노면 결빙 시의 표현컬럼의 값이 작게 표현되게 된다.

표 5. 제어변수 변화율

구 분	범 위	증가율
통행속도	30km/h~120km/h	10km/h
차량간격	10m~100m	10m
종단경사	-10%~10%	1%
노면마찰계수	0.05~1.00	0.05

8) 예를 들어, 선행차량의 통행속도가 80m/h일 경우 후행차량의 통행속도는 50~110km/h인 것으로 분석을 수행하였음

그림 6. 표현컬럼 산출 범위 예시($f=0.8$, $s=0\%$ 일 때)

표 6. 표현컬럼(C_n) 범위

구 분	표현컬럼(C_n) 범위			
	건 조	습 윤	적 설	결 빙
최소값	-16.4	-13.9	-9.2	-3.3
최대값	16.2	13.5	10.2	7.0

3.2.4 상태기준컬럼($C_{condition}$) 정의

본 연구에서는 선·후행 차량의 주행속도 및 차간거리에 따른 안전거리 정보를 운전자에게 제공하는데 초점을 맞추고 있기에 표현컬럼(C_n)이 RSDI의 범위인 0~30에 걸쳐 골고루 분포하여야 한다.

이 때, ‘위험’ 또는 ‘경고’ 상황임에도 표출되는 정보가 해당 상황임을 인지시키지 못하게 될 경우 오히려 본 정보 제공으로 인해 사고발생 위험을 초래하게 되는 문제가 발생하게 된다. 앞서 분석한 제어변수 변화율에 따라 산출된 표현컬럼의 범위가 안전 상황임을 나타내는 ‘보통’과 위험 상황임을 알리는 ‘주의’와 ‘경고’의 범위를 모두 나타낼 수 있도록 기준이 되는 상태기준컬럼($C_{condition}$)의 적절한 선정이 필요한 이유이다.

상태기준컬럼 대비 표현컬럼의 부(-)의 값은 안전상황을 나타내고 있어 기준 선정에 있어 제약이 적은 편이기에, 상태기준컬럼은 표현컬럼의 정(+)의 값을 이용하여 산정하도록 하였다.

각 노면상태별 상태기준컬럼을 기준으로 정(+)의 표현컬럼

그림 7. 노면상태별 표현컬럼 분포와 상태기준컬럼

표 7. 상태기준컬럼($C_{condition}$) 정의

구 분	표현컬럼(C_n) 범위		상태기준컬럼($C_{condition}$) (b) ^{주)}
	3사분위수(Q3)	적용값(a)	
건 조 (dry)	7.95	8	17
습 윤 (wet)	5.98	6	19
적 설 (snow)	4.36	5	20
결 빙 (ice)	3.97	4	21

주) $b(\text{상태기준컬럼}) = 25 - a(\text{표현컬럼 적용값})$

을 나열하였을 때 ‘경고’ 상황이 시작되는 표현컬럼인 ‘25’에서 상위 제3사분위수(75백분위수)가 위치하도록 하였다⁹⁾. 앞서 분석한 제어변수 변화율에 따른 표현컬럼의 상위 25%가 RSDI의 값 ‘25’를 넘도록 하여 위험 상황에 대해 경고 정보를 적절히 제공하도록 하고자 함이다.

경고상황인 ‘25’를 기준으로 노면상태별 3사분위수에 해당하는 표현컬럼을 빼주어 상태기준컬럼($C_{condition}$)을 선정하였다. 노면상태에 따른 상태기준컬럼은 건조(C_{dry}) 17, 습윤(C_{wet}) 19, 적설(C_{snow}) 20, 결빙(C_{ice}) 21로 선정하여, 노면상태가 좋지 않을수록 상태기준컬럼값을 크게 하여 운전자로 하여금 주의를 요하도록 하였다.

노면상태가 좋지 않을수록 상태기준컬럼값을 크게 설정한 이유는 국내외 연구고찰을 통해 마찰계수와 사고율간의 관계를 살펴본 결과 마찰계수가 낮을수록 사고율이 높아지는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 국내의 도로종류별 노면상태별 치사율에 대한 검토 결과 역시 노면의 상태가 적설, 결빙일 경우가 건조할 경우보다 치사율이 높은 것으로 나타났다. 즉, 본 논문에서는 도로노면상태에 따라 후행 차량이 필요한 안전거리를 확보할 수 있도록 안전정보를 제공하는데 연구의 목적이 있으며, 마찰계수가 상대적으로 높은 건조시 보다는 사고발생 위험도가 증가하는 적설이나 결빙시에 보다 강도 높은 위험정보를 제공하여 운전자로 하여금 더욱 주의를 기울이게끔 할 필요가 있다.

이에 상태기준컬럼($C_{condition}$)의 값을 노면상태에 따라 달리 정의하여 기본적인 위험상황정보를 제시하고자 하였으며, 상태기준컬럼을 기준으로 표현컬럼(C_n)의 범위를 선·후행차량의 통행속도, 차량간격, 종단경사, 노면상태 등의 제어변수의 변화를 통해 도출하여 운전자에게 필요 안전거리 정보를 제공하여 안전을 도모하도록 하였다.

4. 모형의 적용성 평가

4.1 적용성 평가 개요

모형의 적절성을 부여하기 위해서는 안전거리 정보 제공 방법이 운전자에게 실질적으로 받아들여져 운전자가 안전거리를 확보 및 감속을 위해 쓰일 수 있는지에 대한 검토가 필요하다. 이를 통해 안전거리 정보 제공에 따른 도로 안전도 향상 효과를 분석 할 수 있기 때문이다. 그러나, 본 연

9) 각 등급의 퍼센트를 낮은 값에서 높은 값으로 점차적으로 누적인 퍼센트와 표현컬럼의 관계를 표현컬럼 누적곡선을 이용하여 3사분위수에 해당하는 표현컬럼을 산출

그림 8. 적용성 평가를 위한 시뮬레이션 환경

구는 실제 운전자에게 정보를 제공하는 구현 단계가 아닌 초기 단계의 연구로, 일차적으로 개발된 지수에 대한 타당성 확보가 선행되어야 할 것으로, 시뮬레이션 분석을 통해 타 지수와의 비교분석을 수행하여 지수에 대한 적절성을 검토하도록 하였다.

실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능하다고 가정된 도로 및 통신환경하에서 RSDI 산출 모형에 대한 적용성을 평가하기 위하여 미시적 교통 시뮬레이션인 VISSIM 5.1을 기반으로 분석을 시행하였다.

그림 8과 같이 편도 2차로(5km)의 고속도로 네트워크를 구축하고, v/c 0.9인 교통상황에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때, 선·후행차량의 연속적인 주행자료(통행속도, 차량간격) 등의 필요 자료 수집을 위하여 편도 2차로 고속도로에서의 차선변경을 금지시켰다.

입력된 교통량의 흐름이 안정화되어 실제 도로상황을 반영하여 타당한 결과를 도출하기 위하여 초기 1800초는 Warm-up time¹⁰⁾으로, 1800~5400초(1시간) 동안의 차량 데이터를 사용하였다. 이 때, 시뮬레이션 시나리오 제어변수 이외의 기타 변수 및 운전자 행태 파라미터는 VISSIM에서 제공하고 있는 default값을 준용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2 시뮬레이션 수행결과

4.2.1 RSDI 산출 결과

시뮬레이션 수행 결과를 바탕으로 Vehicle Record파일(*.fzp)로부터 수집된 개별차량의 위치, 속도, 차량간 거리 자료 등을 기반으로 하여 노면상태에 따라 RSDI가 어떻게 변화하는지 적용¹¹⁾하여 보았다.

선행차량 평균통행속도는 77.86km/h, 후행차량 평균통행속도는 78.21km/h, 평균 차량간격(Gap)은 27.33m로 분석되었으며, 1초당 선·후행 차량의 속도, 간격 등의 데이터를 근간으로, 검토 대상차량에 대한 RSDI를 산출한 결과 노면이 미끄러워 사고 발생 위험이 높은 결빙, 적설, 습윤, 건조의 순으로 RSDI의 값이 높게 분석되어, 노면상태가 좋지 않을수록 운전자로 주의를 요하도록 하는 본 연구의 목적에 부합하는 결과가 도출되었다.

10) Warm-up time이란 실제 교통상황과 동일한 MOE를 수집하기 위하여 시뮬레이션을 수행하기 전에 일정량의 교통량을 네트워크에 투입하여 Steady-State Condition이 되도록 초기화 시키는 시간을 의미함

11) 본 연구에서는 도로교통정보의 수집·가공·제공과정의 통신 시간이 지체 없이 정해진 시간 내에 이루어진다는 가정을 두고 있으며, 실시간으로 수집된 도로교통정보는 노변기지국으로 전송되어 서버 연산 시간을 거쳐 차량 장비(OBU)를 통해 운전자에게 실시간으로 제공되는 것을 가정하였음

표 8. 시뮬레이션 수행 결과

구분	노면상태			
	건조	습윤	적설	결빙
평균	20.025	21.099	21.161	21.677
최소값	15	17	17	18
Q1	19	20	20	21
Q3	21	22	22	22
최대값	26	27	26	27
시뮬레이션 수행조건	선행차량 평균통행속도 = 77.86km/h 후행차량 평균통행속도 = 78.21km/h 평균 차량간격(Gap) = 27.33m			

표 9. 노면상태에 따른 실시간 안전거리 지수(RSDI) 비교

이 중 일부 시간대에서는 주의상황을 넘어 경고 상황에 해당하는 위험성을 가지고 있는 것으로 분석되어, 감속이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

4.2.2 타 안전도 지표(Safety Indicator)와의 비교

앞서 수행한 VISSIM 시뮬레이션 분석으로부터 산출된 선·후행차량의 통행속도, 차량간격 자료를 이용하여 기존의 안전도 지표와 비교를 통하여 RSDI의 특징에 대하여 고찰해보도록 하였다.

평가 결과, 기존 안전도 지표 중 SDI와 TTC는 충돌가능성에 대하여 0 또는 1의 값으로만 표출이 되기에, 위험 정

표 10. 안전도 지표별 시뮬레이션 수행 결과 비교

구분	노면 상태			
	건조	습윤	적설	결빙
RSDI	20.0	21.1	21.2	21.7
SDI	118	111	96	92
RSI(%)	73.8	69.4	60.0	57.5
TTCI ¹²⁾	84	84	84	84
RSTI(%)	61.3	61.3	61.3	61.3

도를 제대로 표현할 수 없었다. 즉, 운전자 측면에서는 충돌 가능성이 어느 정도 되는지 정확한 수치를 알 수는 없으며, 얼마의 감속을 필요로 하는지에 대한 직관적인 추정을 통한 행동을 할 수 없는 단점이 존재하였다.

RSI와 RSTI의 경우 정해진 시간간격(1초, 30초, 1분 등) 별로 집계하여 주행 차량이 불안정한 상황에 노출되는 시간의 비율로 표출이 되기에 집계시간 간격별로 위험정도를 알 수 있는 장점이 존재하지만, 운전자가 안전을 확보하기 위해 어느 정도의 감속을 필요로 하는지에 대한 행동정보를 제공할 수 없는 단점이 존재하였다.

한편, SDI와 RSI의 경우 선·후행 차량의 정지거리를 비교하여 안전도를 평가하기에 노면상태 및 종단경사 등의 요인을 고려하여 위험도를 측정하는 장점을 가지고 있었지만, TTCI와 RSTI의 경우 선·후행차량이 속도와 차간거리를 통해 충돌 가능성을 평가하고 있기에, 노면상태나 종단경사가 변한다 하더라도 이를 반영하고 있지 못하는 단점이 존재하였다.

본 연구에서 제안하고 있는 RSDI의 경우 노면상태 및 종단경사 등의 도로교통요인을 고려한 위험정도를 운전자가 인지할 수 있도록 1~30 사이의 지수(컬럼)의 형태로 수치로 표출하기에 실시간으로 실질적인 위험도 정보를 제공할 수 있으며, 위험 상황에 대해 운전자가 직관적으로 받아들여 이후 감속 등의 행동 결정을 쉽게 할 수 있을 것이라는 장점을 가지고 있는 것으로 판단된다. 기존 안전도 지표와 비교

표 11. 안전도 지표별 특성 비교

구분	특 성	비 고				
		①	②	③	④	⑤
SDI	• 후행차량의 정지거리가 선행차량의 정지거리보다 길 경우, 두 차량은 충돌 가능성이 있는 'unsafe'로 표출		○			
RSI	• 검지영역을 주행하는데 걸린 총시간 대비 누적된 SDI값의 비율 • 비율로서 표현되기에 위험상황의 정도를 바로 알지 못함			○	○	○
TTCI	• 두 차량의 속도차이를 이용하여 산출 • 후행차량의 속도가 더 빠르면 충돌이 발생		○		○	○
RSTI	• 검지영역을 주행하는데 걸린 총시간 대비 TTCI가 불안정한 상황에 노출되는 시간의 비율 • 비율로서 표현되기에 위험상황의 정도를 바로 알지 못함			○	○	○
RSDI	• 1~30의 값으로 표현 • 충돌가능성에 대한 위험정도에 대한 수치 제공	○			○	○

주) ① : 지수로 표현, ② : 0 또는 1의 값으로 표현, ③ : 비율(%)의 값으로 표현, ④ : 도로교통상황(종단경사, 노면마찰계수 등) 고려, ⑤ : 선·후행 차량의 속도 고려

12) TTC를 기반으로 하는 안전도 분석을 위해 임계값 K는 기존의 연구(Hirst and Graham, 1997)에서 제시하고 있는 3초를 적용하였음(오철, 2007)

(a) 선·후행차량 속도 및 차량간격

(b) RSDI 산출 결과

그림 9. 노면상태별 RSDI 산출 결과

그림 10. 안전도 지표별 시뮬레이션 수행 결과 (적설 시)

하였을 때 실시간의 선·후행 차량의 통행속도 및 차간거리, 도로상태정보 및 노면상태정보를 이용하여 필요 안전거리를 측정하는 유사한 방법론을 사용하고 있고, 유사한 측정변수를 이용하여 위험도를 산출하였다고는 하나, 도출되는 결과와 표출되는 형태가 다르고, 그 활용성 또한 명확히 구분되기에 타 지표와는 다른 특성을 가진 새로운 지표라 판단된다.

4.2.3 적용성 평가의 한계

본 시뮬레이션 평가의 결과로 다양한 도로노면상태에 따른 선·후행 차량의 통행속도 및 차량간격의 변화를 확인할 수 있었지만, 시뮬레이션 평가가 가지고 있는 한계점은 존재하고 있다.

실시간 안전거리 정보를 운전자에게 제공하였을 때의 운전자 반응을 반영한 시뮬레이션 상에서 감속 행태를 구현하지 못하였다. 즉, 안전거리 정보의 제공에 따라 운전자가 필요

안전거리를 확보하기 위한 차량의 속도변화를 시뮬레이션 모형에서 반영하지 못하였다. 이에 따라 안전거리 정보를 제공함으로 인한 실제 안전도 향상 효과를 제시하지는 못하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결론

보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 전방상황에 대한 단순한 도로정보제공을 넘어서 개별차량 움직임에 따른 구체적인 정보제공이 필요하다. 특히 실시간으로 차량 및 도로 교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경하에서는 이러한 안전정보 제공으로 인한 안전증진 효과가 더 클 것으로 기대하고 있다.

본 연구에서는 주행 구간의 도로상태정보 및 노면상태정보를 실시간으로 제공받아 실시간 안전거리 지수(RSDI)를 산출하여 운전자에게 제공함으로써, 운전자가 차량간 충돌(추

들) 가능 위험상황에 대해 직관적으로 인지하고 충분히 대응할 수 있도록 하는 경고정보 제공방안에 대한 연구를 수행하였다.

RSDI의 단위컬럼의 수는 30개로 이루어지고, 단위컬럼당 거리는 속도에 따라 변화가 되며 상황별 안전거리 bar의 크기는 차량의 일반적인 감속도를 고려하여 단위컬럼의 크기를 조정하여 급격한 변화로 인한 운전자의 혼란을 방지하고자 하였다.

운전자 정보제공의 경우 총 컬럼 수 30을 기준으로 하여 1~20까지를 '보통 상황'으로, 20~25까지를 '주의 상황'으로, 25를 초과할 경우를 '경고 상황'으로 정의하여, 해당 점수에 따라 운전자에게 메시지를 전달하도록 하여 운전자로 하여금 감속을 유도하게끔 하였다.

본 논문에서는 도로노면상태에 따라 후행 차량이 필요한 안전거리를 확보할 수 있도록 하는데 연구의 목적이 있으며, 마찰계수가 상대적으로 높은 건조시 보다는 사고발생 위험도가 증가하는 적설이나 결빙시에 보다 강도 높은 위험정보를 제공할 필요가 있다. 이에 노면상태에 따라 상태기준컬럼($C_{condition}$)의 값을 달리 정의하여 기본적인 위험상황정보를 제시하고자 하였으며, 상태기준컬럼을 기준으로 표현컬럼(C_n)의 범위를 제어변수(선·후행차량의 통행속도, 차량간격, 중단경사, 노면상태 등)의 변화에 따라 실시간으로 도출하여 운전자에게 필요 안전거리 정보를 제공하여 안전을 도모하도록 하였다.

RSDI 산출 모형에 대한 적용성을 평가하기 위하여 VISSIM 시뮬레이션 자료를 바탕으로 평가해 본 결과 노면이 미끄러워 사고 발생 위험이 높은 결빙, 적설, 습윤, 건조의 순으로 RSDI의 값이 높게 분석되었다.

타 안전도 지표(Safety Indicator)와 비교하였을 때, SDI와 TTC와 같이 단순히 위험하다는 정보만을 표출(0 또는 1)하거나 RSI와 RSTI와 같이 위험비율 정보를 제공하는 방법론 보다는, 본 논문에서 제시하고 있는 RSDI의 경우 노면상태 및 중단경사 등의 도로교통요인을 고려한 위험정도를 운전자가 인지할 수 있도록 1~30 사이의 지수(컬럼)의 형태로 수치로 표출하기에 실시간으로 실질적인 위험도 정보를 제공할 수 있으며, 위험 상황에 대해 운전자가 직관적으로 받아들이어 이후 감속 등의 행동 결정을 쉽게 할 수 있을 것이라는 장점을 가지고 있는 것으로 판단된다.

5.2 향후 연구과제

첫째, 모형의 적절성을 부여하기 위해서는 안전 정보 제공방법이 운전자에게 실질적으로 받아들여져 운전자가 안전거리를 확보 및 감속을 위해 쓰일 수 있는지에 대한 검토가 필요하다. 이를 통해 안전거리 정보 제공에 따른 도로 안전도 향상 효과를 기대할 수 있기 때문이다. 이를 위해 제공되는 안전 정보에 대한 운전자 순응경향 및 운전자 행태에 대한 지속적이고 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

둘째, 지수의 타당성에 검토 후 안전거리 정보 제공에 따른 실제적인 안전도 향상 효과에 대한 연구가 필요할 것이다. 실제 주행을 통한 효과분석의 경우 바로 실제 운전상황에 적용하기에는 위험을 내포하고 있기에 Driving Simulator 등을 이용한 모의실험을 통해 모의 테스트 및 feedback을

지속적으로 거쳐 간접적으로 효과를 평가하여야 할 것이다. 이 과정에서 실제 운전자들의 요구사항 분석 및 만족도 평가를 통해 운전자에게 더 효과적이고 매력적인 정보제공 방법에 대해서도 연구를 수행할 필요가 있다. 이러한 과정을 거친 후 숙련된 운전자를 대상으로 한 주행 테스트 등을 통해 실제 운전 시 안전거리 정보제공을 통한 충돌 감소 효과 및 안전도 증진 효과에 대해 연구가 가능할 것으로 판단된다.

셋째, 안전도 평가 기준의 경우 노면상태, 선·후행차량의 통행속도, 차량간격 등의 요인을 고려하여 운전자에게 필요 안전거리 정보를 지수의 형태로 표현할 수 있도록 범위를 선정하였으나, 다소 임의적이고 운전자들이 이 지수에 대해 사전 설명이 없을 경우 바로 인지를 하는데 어려움이 있을 것으로 생각된다. 그러하기에 안전도 평가 기준에 대해 보다 타당한 근거 제시가 필요하며, 운전자들에게 해당 기준에 대한 충분한 설명을 통해 이해를 시켜야 할 필요가 있을 것이다.

넷째, 실시간으로 수집된 도로교통정보가 연산과정을 거쳐 바로 운전자에게 제공됨을 가정하였으나, 실제 도로교통정보의 수집·가공·제공과정의 통신 시간(또는 지체) 및 서버 연산 시간 등을 고려하고 이를 반영하여 안전운전에 최적의 효과를 줄 수 있는 적절한 정보 수집 및 제공 주기에 대한 추가 연구가 필요하다(장정아, 2010).

마지막으로, 본 연구는 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되었을 때, 즉 도로교통정보가 실시간으로 차량간에 전송이 가능한 상황을 가정하여 이루어졌다. 점차적으로 도로교통 감지기술이 발달되고 있으나, 아직까지는 이용자의 요구에 부응하고 있지 못하고 있는 실정으로, 보다 신뢰성 있는 교통정보 수집 및 제공 기술이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2008년도 건설핵심 기술연구개발사업(07기술혁신A01)의 지원으로 이루어졌습니다.

알림: 본 논문은 대한교통학회 제65회 학술발표회(2011. 10. 21)에서 발표된 내용을 수정보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

- 공주택(2002) **고속도로 교통사고에 미치는 차량결합의 특성분석에 관한 연구 - 타이어 사고를 중심으로**, 석사학위논문, 한양대학교, 대한민국.
- 권재석(2009) **강우시 고속도로 물고임 현상에 영향을 미치는 변수규명에 관한 연구**, 석사학위논문, 한양대학교, 대한민국.
- 김상엽(2011) **차량속도와 교통사고분석을 통한 다차로도로 안전성 평가기준 개발**, 박사학위논문, 서울시립대, 대한민국.
- 김용석, 조원범(2007) **도로선형 및 노면안전성 분석모형 개발**, 한국건설기술연구원.
- 김태진, 오철, 오주택(2010) **AHP 기반 다기준 가치함수를 이용한 교통안전 경고정보 메시지 선정기법**, 한국ITS학회 논문집, 한국ITS학회, 제9권 제2호, pp. 1-11.
- 대한토목학회(2008) **「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」해설 및 지침**, 국토해양부.
- 송성준, 여희수(2011) **교통류 상태에 따른 충돌사고율 추정 방법**

- 에 관한 연구, 제 65회 대한교통학회 학술대회 논문집, 대한교통학회, pp. 275-280.
- 송태진, 오철, 오주택(2009) 실시간 경고정보 제공을 위한 이용자 선호도 분석 연구, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제27권 제4호, pp. 7-16.
- 송태진, 오철, 오주택, 이청원(2009) In-vehicle 교통안전 경고정보 제공에 따른 운전자 반응특성 분석, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제27권 제5호, pp. 63-74.
- 박재홍, 오철, 송태진, 오주택(2009) Portable Variable Message Signs(PVMS)를 이용한 교통안전 경고정보 메시지 이용자 선호도 분석, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제27권 제5호, pp. 51-62.
- 박준영(2011) 다기준 의사결정 기반 고속도로 공사구간 VSL전략에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교, 대한민국.
- 박준형, 황효원, 오철, 장명순(2008) 고속도로 교통사고 예방을 위한 가변제한속도 적용방안 연구, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제26권 제4호, pp. 111-121.
- 박지은(2009) 연속류에서의 가변속도 제어 운영효과, 석사학위논문, 서울시립대학교, 대한민국.
- 이수범, 김원철, 홍다희, 오동섭(2002) 차량주행속도에 따른 운전자 인지반응시간 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제22권 제6D호, pp. 1105-1116.
- 오철, 조정일, 김준형, 오주택(2007) 영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제25권 제5호, pp. 173-182.
- 장정아, 김현숙(2010) 실시간 차량정보를 이용한 안전권고속도 산정방안에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제30권 제5D호, pp. 443-451.
- 전용욱, 大文樹(2009) 고속도로의 전방 장애물 충돌방지정보 제공이 운전행동에 미치는 영향, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제27권 제4호, pp. 137-143.
- 조형은(2010) 눈길·빙판길 서행운전, ROTA 웹진 59호, 도로교통공단.
- 한국건설교통기술평가원(2012) SMART 도로-자동차 연계기술 개발 2단계 보고서(스마트하이웨이사업단 핵심 3과제).
- 한국건설기술연구원(2004) 노면상태별 교통사고 및 미끄럼저항값. NCHRP 3-59 (2004) Variable Speed Limit Implementation Issues, Transportation Research.
- Abdel-Aty, M., Uddin, N., Adballa, M., Pande, A., and Hisa, L. (2004) Predicting freeway crashes based on loop detector data using matched case-control logistic regression, Transportation Research Record, No. 1897, pp. 88-95.
- Mason, A.D. and Woods, A.W. (1998), The Effects of Speed Controls on Traffic, Mathematics in Transport Planning and Control, pp. 351-360.
- Ali S. Al-Ghamdi (2007) Experimental evaluation of fog warning system. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, pp 1065-1072.
- Baruya, A. (1998) Speed-Accident Relationships in European Roads, 9th International Conference on Road Safety in Europe, Bergisch Gladbach Germany.
- Cirillo, J.A. (1968), Interstate System Accident Research Study II, Interim Report II, *Public Roads*, Vol. 35, No. 3, pp. 71-75.
- Lee, C., Hellinga, B., and Saccomanno, F. (2004) *Assessing safety benefits of various speed limits*, TRR, No. 1897, pp. 183-190.
- Finch, D.J., Kompfner, P., Lockwood, C.R., and Maycock, G. (1994) *Speed, Speed Limits and Crashes*, Project Record S221G/RB/Project Report PR 58, Transportation Research Laboratory.
- Garber, N.J. and Gadiraju, R. (1989) *Factors affecting speed variance and its influence on accidents*, Transportation Research Record, No. 1213, pp. 64-71.
- Garber, N.J. and Ehrhart, A.A. (2000) *Effects of speed, flow and geometric characteristics on crash frequency for two-lane highways*, Transportation Research Record, No. 1717, pp. 76-83.
- Golob, T.F. and Rucker, W.W. (2003) Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather and lighting conditions, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, pp. 342-353.
- Kloeden, C.N., McLean, A.J., and Glonek, G. (2002) *Reanalysis of travelling speed and the rate of crash involvement in Adelaide South Australia*, Report No. CR207, Australia Transport Safety Bureau ATSB.
- Lave, C. (1985) Speeding, coordination, and 55mph limit, *The American Economic Review*, Vol. 75, No. 5, pp. 1159-1164.
- Mohamed Abdel-Aty, Rami Harb, Essam Radwan, and Xuedong Yan (2006) Light Truck Vehicles (LTVs) Contribution to Rear-end Collisions, *Accepted for Presentation at the Annual TRB Meeting*.
- Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., and Papamichail, I. (2008) *Effect of variable speed limits on motorway traffic flow*, TRR, No. 2047, pp. 37-48.
- Persaud, B. and Dzbic, L. (1992) *Accident prediction models for freeways*, Transportation Research Record, No. 1401, pp. 55-60.
- Quimby, A., Maycock, G., Palmer, C., and Buttress, S. (1999) *The Factors that Influence a Driver's Choice of Speed - a Questionnaire Study*, TRL Report, No. 325, Transportation Research Laboratory.
- Solomon, D. (1964) *Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver and Vehicle*, Technical Report, U.S. Department of Commerce/Bureau of Public Roads.
- Yeo, H., Jang, K., and Skabardonis, A. (2010) Impact of traffic states on freeway collision frequency, *98th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

(접수일: 2011.12.22/심사일: 2012.1.22/심사완료일: 2012.5.17)