

고속도로 교통사고 예방을 위한 에이전트 기반 속도관리 전략 (방법론 및 평가)

Agent-based Speed Management Strategy for Freeway Traffic Safety
(Methodology and Evaluation)

송 태 진

(한국교통연구원 교통취약성센터 연구원)

오 철

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 에이전트 기반 속도관리 전략
 - III. 적용 및 평가
 - 1. 적용구간 선정
 - 2. 시뮬레이션 정산 및 검증
 - 3. 시뮬레이션 시나리오
 - 4. 평가결과 및 논의
 - IV. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교통안전, 교통상충, 속도관리 시스템, 마이크로 시뮬레이션, 운전자 행태
Traffic Safety, Traffic Conflict, Speed Control System, Micro Simulation, Driving Behavior

요 약

교통사고 발생이 교통류와 밀접한 연관을 가지는 고속도로의 경우 교통류를 안정화하여 교통안전을 향상시키기 위한 교통류 관리전략이 필수적이다. 본 연구에서는 실시간 교통안전을 고려한 속도관리 전략을 제안하였다. 제안된 속도관리 시스템은 교통정보센터에서 검지기 및 개별차량 등으로부터 수집된 개별차량 주행궤적 자료를 가공하여 교통안전도(Safety Index)를 검지하고 집중관리구간(Hazard zone)에 진입하는 중차량을 제외한 개별차량에게 속도 정보를 제공하는 에이전트 기반의 시스템을 제시하였다. 수집된 개별차량 주행궤적 자료의 교통안전도를 평가하기 위하여 교통상충기법인 SD(Speed Differentiation)를 활용하였다. 또한, 실시간 교통류의 특성을 반영하기 위하여 교통 소통상황과 중차량 혼입율에 따른 차로별 속도제어관리전략을 수립하였다. 분석결과, 속도관리 구간에 진입하는 개별 차량들에게 교통 소통상황과 중차량의 혼입율을 반영한 속도정보를 제공하는 전략이 유의한 효과가 있는 것으로 분석되었다. 제시된 실시간 속도관리 시스템은 실시간으로 교통류의 안전성을 증진시키기 위한 교통류 운영 및 제어 전략에 효과적으로 활용될 것으로 판단된다.

This study proposed a speed management strategy for the enhancement of traffic safety on freeways. A novel feature of the proposed strategy is to provide desirable speed information to individual vehicles. A microscopic traffic simulator, VISSIM, was used for the performance evaluation. Vehicle trajectory data were used to evaluate the various speed management scenarios including the different levels of proportions of heavy vehicles. The proposed speed management strategy would be a useful precursor for developing an effective traffic control and operations system to prevent traffic accidents on freeways.

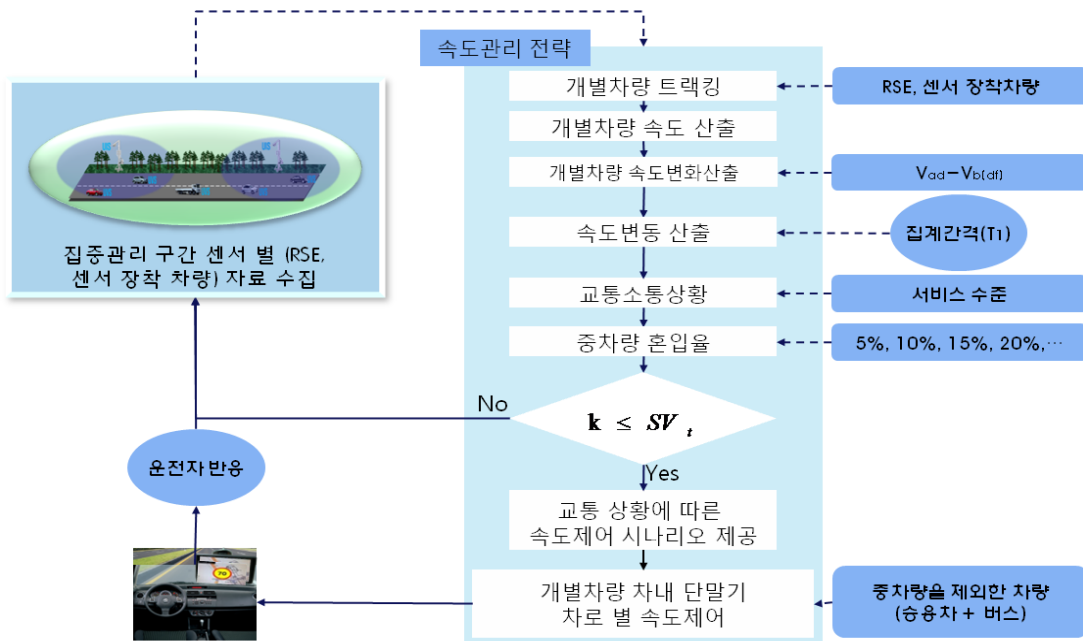
I. 서론

최근 센서 및 통신기술이 급속히 발달함에 따라 교통 분야에서는 이를 ITS를 비롯한 다양한 분야에 적용하고 있다. 특히 차량-차량 간, 차량-인프라 간, 인프라-인프라 간, 인프라-센터 간의 실시간 통신이 가능해지면서 개별차량 주행패턴 등의 자료 수집 및 분석이 가능하게 되었다. 심상우(2006)는 개별차량 주행패턴자료에서 순간속도를 산출하여 차량의 이동행태를 예측하는 기법을 통해 통행시간을 예측하였다. 박준형 외 연구진(2009)은 개별차량주행패턴자료를 이용하여 유비쿼터스 환경에서 예측적 구간통행시간 산출기법을 제안하였다. 또한 Rim et al(2010)은 유비쿼터스 환경에서 차로별 통행시간 정보를 생성하여 개별차량에게 제공하는 방법론을 구상하였다. 최근 호주의 Queensland 정부(2010)는 이를 현실화 하여 고속도로, 터널 및 교량에서 가변속도 관리 및 차로제어 전략에 대한 가이드라인을 매뉴얼 하였다. 여기서 차로별 속도제어 시 기존 속도 정보를 제공하는 경우 빈칸으로 정보를 제공(when is sign above is blank)하고, 다른 차로에 속도를 제공하는 경우 차로별 속도를 표출하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 차량별 차로별 수집 및 제어 등의 기술을 활용하여 교통안전 분야의 연구자 및 엔지니어는 교통사고를 최소화하기 위

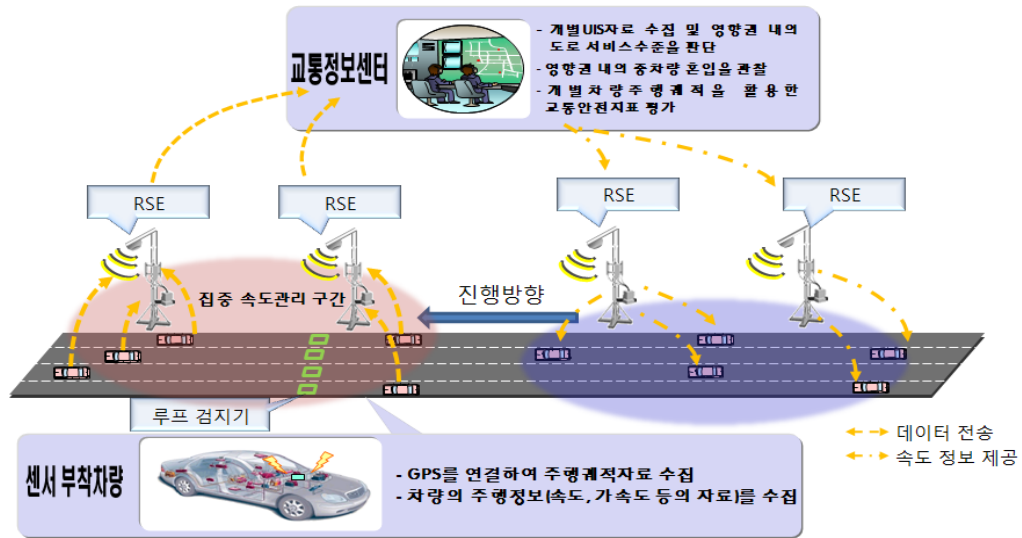
한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 차내 단말기의 이용률 증가에 따라 개별차량별 정보제공이 가능해지면서 개별차량의 교통류 관리가 현실화되고 있다.

고속도로에 교통사고가 많이 발생하는 지점에는 교통류(속도 변동, 가속소음 등)가 불안정할 경우 교통사고를 증가시킬 뿐만 아니라 사고의 심각도도 증가하게 된다(Abdel-Aty., 2006, 2008). 따라서, 사고다발구간을 집중관리구간으로 설정하여 실시간으로 정보를 제공함으로써 전방의 교통류 상황에 따라 교통류 관리를 하는 것은 고속도로 교통안전 증진을 위해 매우 중요하다. 실시간 교통류를 관리하기 위해서는 교통류의 패턴이 다른 교통류는 분리하여 관리해야 한다. 특히, 도로의 소통 상황에 따라 전혀 다른 교통류가 형성되기 때문에 소통 상황별 속도관리를 수행해야 한다. 또한, 고속도로에서 중차량의 경우 속도를 일반차량에 비해 20km/h이하하여 제한하고 있으므로 중차량의 혼입율이 교통류에 영향을 미친다고 할 수 있다. 이러한 중차량은 편도 3차로인 경우 3차로에서 주행하며, 추월차로인 1차로에서는 거의 주행 하지 않기 때문에 차로별로 발생하는 교통류가 다르다고 할 수 있다. 따라서 중차량의 혼입율에 따라 다른 교통류가 발생되기 때문에 차로별 교통류 제어를 하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 사고다발지점 및 교통류가 불안정한



〈그림 1〉 속도관리 전략 알고리즘



〈그림 2〉 실시간 속도관리전략 개념도

지점을 집중속도관리구간으로 설정하여 실시간으로 속도를 관리하는 실시간 교통류관리전략을 제안하였다. 또한 교통류의 패턴 변화를 고려하여 교통요인(교통소통상황, 중차량 혼입율)에 따른 차로별 속도제어를 반영하였다. 교통안전도 평가를 하기 위해 개별차량에서 수집된 주행 궤적 자료를 교통상충기법을 응용하여 교통사고 개연성을 계량화해서 나타낼 수 있는 Surrogate Safety Measure(SSM)을 도출하였다. 또한 도출된 SSM을 평가하여 속도관리 제공을 위한 방법론 및 기술적 이슈를 도출하고 향후 연구과제로 다루었다.

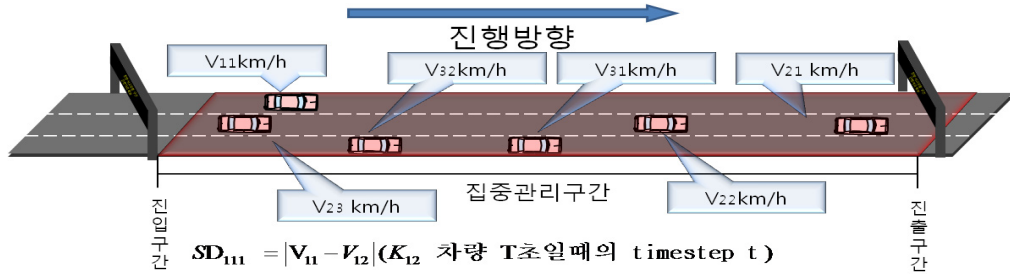
II. 에이전트 기반 속도관리 전략

개별차량의 주행궤적 자료의 수집이 가능해짐에 따라 미시적인 교통류 분석이 가능해졌고, 이 결과 실시간 교통류관리전략에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 교통안전뿐만 아니라 소통적인 측면을 모두 고려한 교통류 제어를 하기 위해서는 신뢰성 있는 정보의 개발 및 평가가 병행되어야 한다. 교통류를 제어하기 위한 연구로는 충돌잠재가능성을 모형화하여 교통안전을 검지하는 루프검지기기반의 가변속도제어시스템(Abel-Aty & Lian, 2006)을 비롯, 개별차량 패턴을 고려하여 동적속도구간을 반영한 가변속도제어시스템(Abel-Aty et al., 2008), 영상검지기 기반 경고정보시스템(오철 외

4명, 2009) 등이 있다. 본 연구에서 제안하는 속도관리전략은 두 가지 측면의 가정이 이루어질 경우에서 활용이 가능하다. 첫째, 개별차량과 RSE(Road Side Equipment) 및 센터 간의 통신이 원활한 상황이어야 한다. 두 번째, 모든 개별차량에 주행궤적 자료가 수집되는 환경이어야 한다.

본 연구에서는 SSM을 속도변동지표를 활용하여 연구에 반영하였다. 속도변동은 교통류흐름에 가장 대표적인 지표로서 Cunningham et al은 Critical Speed Variation을 7mph(약 11km/h) 이상인 경우 교통사고 발생 수 및 심각도가 증가하는 것으로 분석하고 있다. 또한 Abdel-Aty et al(2008)에서 제시한 가변속도제어시스템 관련 문헌에서도 속도변동이 증가할수록 사고 심각도가 증가하는 것으로 기술하였다. 따라서 속도변동을 감소시키는 것이 교통사고 및 심각도를 줄일 수 있는 방안이라 할 수 있다. 이를 반영하여 교통사고 다발지점 및 속도변동이 심한 구간을 집중 속도관리구간으로 설정하고 도로의 소통상황 및 중차량의 혼입율을 반영한 속도관리전략을 제안하였다. 위에서 제시하는 중차량은 실제 고속도로에서 속도를 90km/h로 제한하는 교통량정보제공시스템¹⁾에 제시된 12종 차종분류표 중 3종 이상이며 1.5톤 이상의 화물차로 정의하였다. 〈그림 1〉은 본 연구에서 제안하는 속도관리전략의 알고리즘이다. 본 연구에서 제안하는 속도관리전략은 시스템 설계에 따라

1) 교통량 정보제공 시스템 : <http://www.road.re.kr>



$$\begin{aligned}
 SD_{111} &= |V_{11} - V_{12}| (K_{12} \text{ 차량 } T\text{초일때의 timestep } t) \\
 SD_{112} &= |V_{11} - V_{12}| (K_{12} \text{ 차량 } T+1\text{초일때의 timestep } t+1) \\
 SD_{121} &= |V_{12} - V_{13}| (K_{13} \text{ 차량 } T\text{초일때의 timestep } t) \\
 SD_{122} &= |V_{12} - V_{13}| (K_{13} \text{ 차량 } T+1\text{초일때의 timestep } t+1) \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

<그림 3> 변수 정의

RSE 또는 센터에서 관리가 가능하다. <그림 2>는 본 연구에서 제시되는 에이전트 기반 실시간 속도관리전략의 개념도를 도식화한 것이다. 집중속도관리구간에 진입하는 중차량을 제외한 차량(승용차 + 버스)에게 개별 차량의 차내 단말기를 통해 적정수준의 가변 속도정보를 제공하여 교통안전지표를 최소화하는 방법이다.

본 연구에서 제시된 속도관리전략은 다음과 같은 흐름으로 진행된다. 첫째, <그림 1>에서와 같이 집중속도관리구간의 개별차량의 주행레적자료를 수집한다. 둘째, 수집된 주행레적자료에서 차로별, 차량 별, timestep별 SD(Speed Difference)(km/h)식(1)을 산출한다. 셋째, 집계간격 별로 집계하여 산출된 ASD(Average Speed Difference)(km/h)를 SSM으로 활용하며, 식(2)에 따라 산출 할 수 있으며, ASD가 산출되는 산출과정은 다음과 같다.

- 첫째, 집계간격 시간대에 집중속도관리구간에 진입하여 진출하는 차량 n대의 j 차량 추종 상황 별 timestep별 SD값을 산출한다.
- 둘째, 집계간격 시간대에 산출된 모든 SD값을 합한다.
- 셋째, 산출된 SD 값의 빈도수(즉, 검지된 모든 timestep 수 : 식(2)의 t_{nij})를 모두 합한 값에 나눈다.

$$SD: |V_{ad} - V_{b(df)}| \quad (1)$$

$$ASD = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \sum_{t=1}^j SD_{nij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \sum_{t=1}^j t_{nij}} (km/h) \quad (2)$$

SD_{nij} (Speed Difference) : 시간 T time step 일때 n차량, i차로, j차량 추종상황일때의 상대 속도차(km/h)

ASD(Average Speed Variation) : 집중관리구간 시간동안의 평균 상대속도차(km/h)

K_{ij} : i차로 j번째 차량

V_{ad} : d거리에 주행중인 a차량의 속도(km/h)

$V_{b(df)}$: a차량의 후행에 존재하는 b차량의 속도(km/h)

i : 차로

j : 차량추종건(건)

n : 관리구간의 집계시간 범위내에 존재하는 차량수(대)

t : T시간 일때의 time step

t_{nij} : T시간 일때의 n차량, i차로, j차량 추종때의 time step수(예, 1건, 2건, 3건...)

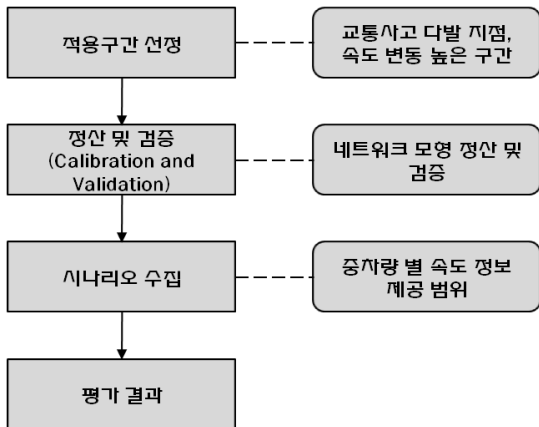
집중속도관리구간의 집계간격별 ASD가 산출되었으면 일정 수준(임계치 K) 이상일 경우 ASD를 최소화하기 위한 속도관리 전략을 실행하여 해당차로를 주행하는 개별차량의 속도제어정보를 차내 단말기를 통해 제공한다. 관련 변수에 대한 설명은 <그림 3>에 도식화하여 설명하였다.

본 연구에서 제시되는 속도관리전략은 교통류의 패턴에 따라 능동적인 시나리오를 제공해야 한다. 또한, ASD를 감소시키기 위한 최적의 시나리오를 제공해야 한다. 다음 장에서는 본 연구에서 제안하는 속도관리전략의 타당성을 평가하고 최적의 속도제어 시나리오를 도출하기 위하여 미시적 시뮬레이션을 이용한 분석을 수행하였다.

III. 적용 및 평가

새로운 교통류 관리전략을 평가하기 위해서는 전략 시행 시 도로에서 관측되는 교통안전 및 교통소통측면의 효율성을 분석해야 한다. 그러나 현장에서 수행되는 ITS 사업 및 관리전략 시행에 대한 사전·사후 평가는 검증되지 않은 전략을 실제 도로에서 실험하는 것으로 도로를 운전하는 운전자에게 위험을 야기할 수 있다. 또한 전략을 제시하기 위해서는 검지기, 로컬 통신기, 교통정보센터 등의 여러 시스템 등이 설치 및 구축되어 있어야 하기 때문에 구축의 한계로 인하여 분석하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 분석의 어려움에 따라 많은 교통공학 연구자들은 가상의 시나리오를 설정하여 분석이 가능한 마이크로 시뮬레이션을 활용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로 시뮬레이션인 VISSIM 5.1을 활용하여 속도관리시스템 적용 전·후의 교통안전 향상을 평가하였다. 본 연구에서 제시되는 시스템은 <그림 4>의 연구절차에 따라 적용 및 평가를 수행하였다.



<그림 4> 적용 및 평가 연구절차

1. 적용구간 선정

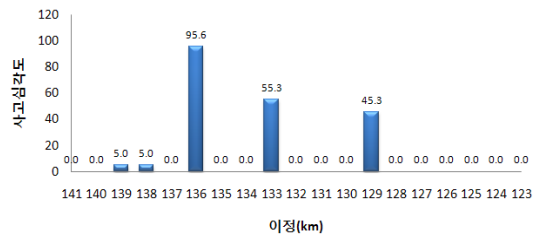
본 연구에서 제안하는 교통류관리전략을 수립하기 위하여 실제로 운영되고 있는 고속도로 중 중차량의 혼입율이 높으며, ASD가 높고 사고다발지점인 구간을 선정하여 적용하였다. 분석대상구간은 중부내륙 고속도로 마산 방향으로 낙동(이정 140+000)~선산(123+000) 분기점까지이다. 분석대상구간의 도로는 편도 2차로이며 제한속도가 110km/h이다. 아울러 이 구간은 터널

진입 직전 지점에서 교통사고 발생 시 사망사고가 주로 발생하는 지점이다(<그림 5>).

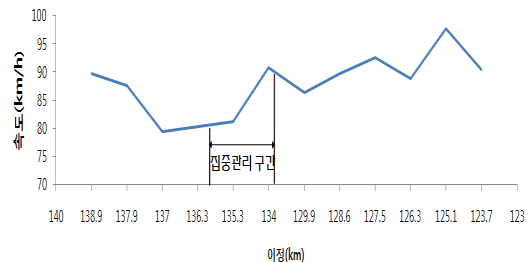
또한, 고속도로에서 제한속도가 90km/h 제한되는 중차량의 혼입율이 항상 25% 이상 분포되어 있다. 따라서, 중차량의 혼입율이 증가함에 따라 일반차량과 중차량과의 제한속도의 차이로 인한 속도 차가 증가되는 구간이다. 분석대상구간의 2006년~2008년의 교통사고 이력자료를 활용하여 분석한 결과 <그림 6>과 같이 이정 136+000~134+000까지 다른 구간에 비해 사고가 비교적 많이 발생하며, 사고 발생시 사고 심각도가 높은 것으로 분석되었다. 또한 <그림 7>은 분석대상구간의 이정별 루프검지기의 연평균 속도이다.



<그림 5> 적용평가 대상구간의 공간적 범위



<그림 6> 분석구간의 1억대-km당 사고심각도 지수



<그림 7> 이정별 루프검지기 연평균 속도

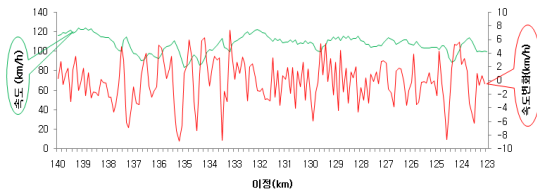


(a) GPS Receiver를 장착한 Probe차량 (b) 실제 주행중인 Probe차량

〈그림 8〉 Probe 차량

분석 결과 이정 137+900~137+000과 135+300~134+000에서 속도가 급변하는 것을 알 수 있다. 〈그림 6〉에서 분석된 사고 심각도 지수와 비교해서 분석해보면 심각도 지수가 높게 나타난 136+000과 거리의 차가 있는 것으로 나타났다.

그러나, 속도의 변화로 인하여 교통사고에 영향을 미칠 수 있기 때문에 인접지점에서의 교통류 패턴을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 〈그림 8〉에 제시된 바와 같이 개별주행궤적 자료를 1초마다 수집 가능한 DGPS(Differential Global Positioning Systems)를 장착한 Probe차량을 이용하여 분석구간의 교통류 자료를 수집하였다. 분석의 시간적 범위로는 2009년 7월 6일 오전, 오후 각각 2회를 왕복하여 개별차량주행궤적 자료를 수집하였다. 자료 수집 결과 〈그림 9〉에 제시된 바와 같이 이정 138+000~133+000까지 개별차량의 속도의 패턴이 불안정한 것으로 분석되었다. 따라서 분석대상 구간이 실제 속도의 불안정함과 연관됨을 알 수 있으며, 이 구간을 집중속도관리구간으로 설정하였다.



〈그림 9〉 분석구간의 속도 및 속도변화

2. 시뮬레이션 정산(Calibration) 및 검증(Validation)

시뮬레이션을 활용하여 전략 시행에 따른 효과를 분석하기 위해서는 시뮬레이션 내의 가상 네트워크가 실제 도로와 동일하게 묘사되어야 한다. 이를 위해서 수행하는 것이 바로 정산(Calibration)과정이다. 이러한 모형

정산의 기본적인 목적은 모형수행에 필요한 여러 가지 계수들을 조정하여 교통성능 특성과 운전자 행태의 보정을 통하여 실제 도로와 가능한 동일한 상황을 유지시키는 것이다. 따라서 분석 및 평가를 수행하기 전에 반드시 시뮬레이션 정산을 수행해야 한다.

이러한 정산은 고속도로의 경우 교통량 및 속도 등을 효과적으로 사용하고 있다(Richard Downing, 2004), (Elmar Brockfel, 2006). 본 연구에서는 교통류의 흐름을 관리하는 전략을 제안하기 때문에 속도를 효과적으로 사용하여 정산을 수행하였다. 낙동분기점~선산분기점까지 존재하는 12개 지점의 루프검지기에서 측정되는 속도와 시뮬레이션하여 산출되는 속도를 비교하는 방법을 활용하였다. 또한 교통류의 패턴에 영향을 미치는 중차량의 혼입율과 혼잡상황을 고려하여 18~19시로 시간을 선정하여 정산을 수행하였다. 실제 도로의 도로기하구조요인을 반영하기 위하여 설계도면의 평면 및 종단선형을 파악하여 가상의 네트워크를 코딩하였다. 또한 실제 도로의 교통류 패턴을 반영하기 위하여 VISSIM 5.10에서 조절이 가능한 변수들을 조정하여 정산을 수행하였다. 조절 가능한 변수로는 운전자 행태(차량추종행태, 차로변경행태), 차량 종류, 차량별 혼입율, 차종별 파워, 차종별 속도 등이다. 본 연구의 정산에 반영된 변수는 〈표 1〉과 같다. 차량의 종류는 승용차(4.1m~4.8m), 버스(12.1m), 화물차(소형: 5.1~5.6m, 중형: 8.5~11m, 대형: 11~16.7m)로 구분하였다.

차종별 속도는 승용차 90~155km/h, 버스 95~120km/h, 화물차 80~110km/h로 분포시켰다. 이러한 속도를 분포시킨 이유는 실제 도로에서 제한속도를 110km/h 제어 중이라 하더라도 운전자의 특성에 따라 각기 상이한 주행을 하기 때문이다. 따라서 이를 반영하여 위의 차종별 속도를 정규분포화하여 속도를 분포시켰다. 또한 차량 파워의 경우 VISSIM 5.10에서 제시되는 default 값에 화물차의 경우 언덕을 올라가는 crawl speed를 반영하여 화물차의 마력을 400~800kw로 설정하였다. 운전자의 행태는 VISSIM 5.10에서 고속도로의 경우 Widman99 모형을 적용하고 있다. 차량 추종의 경우 CC0~CC9까지의 변수를 설정하며, 본 연구에서는 default 값을 적용하였다. 또한, 차로변경 행태는 〈표 2〉와 같이 적용하였다.

정산이 완료된 네트워크를 확인 및 검증(Validation)하기 위하여 2008년 3월~4월 루프검지기에서 수집된

〈표 1〉 정산(Calibration) 차량 특성 변수

고려변수	설정
차량 종류	· 승용차, 버스, 화물차
차량 크기	· 승용차: 4.8m · 버스: 12.1m · 소형 화물차: 5.1~5.6m · 중형 화물차: 8.5~11m · 대형 화물차: 11~16.7m
차량 속도	· 승용차: 90~155km/h · 버스: 95~120km/h · 화물차: 80~110km/h
차량 파워	· 승용차: 200~300kw · 버스: 250~400kw · 화물차: 400~800kw

〈표 2〉 정산(Calibration) 차로변경행태 변수

고려변수	차로변경 변수	설정 값
필수적 차로변경	최대감속도	-4m/s ²
	-1m/s ² 감속당 거리	100m
	허용 감속도	-1m/s ²
선택적 차로변경	혼동대기시간	30s
	최소 차두거리	2m
	안전거리 감소 factor	0.8
	차로변경을 하기 위한 최대 감속도	-3m/s ²

이정별 속도자료를 활용하였다. 검증방법은 식(3)의 U-value를 적용하였다. U-value값이 0.05 미만인 경우 두 개의 시나리오는 일치한다고 판단할 수 있다 (ElmarBrokcfel, 2006). 분석 결과 평균 U-value값은 0.025로 분석되었으며, 12개 지점 모든 구간에서 0.05보다 작은값으로 모두 만족하는 것으로 분석되었다.

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (V_i - \hat{V}_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N V_i^2 + \sum_{i=1}^N \hat{V}_i^2}} \quad (3)$$

V_i : 실제 속도(km/h)

\hat{V}_i : 시뮬레이션 속도(km/h)

3. 시뮬레이션 시나리오

본 연구에서 진출한 에이전트기반 속도관리전략을 제안하기 위하여 두 가지 요인을 고려하였다. 첫째, 도로의 소통상황을 서비스 수준으로 구분하여 시나리오를 수립

하였다. 이는 서비스 수준에 따라 운전자가 반응하는 교통상황이 다르기 때문이다. 또한 본 연구에서는 LOS B와 LOS D 수준을 반영하여 평가를 수행하였다. 이러한 이유는 혼잡상황의 경우 구간에 가변적으로 속도를 제어할 경우 전략의 효과가 미비하기 때문이다(Abel-Aty et al, 2006). 따라서 혼잡상황이 시작되는 지점인 LOS D를 반영하였다. 또한 LOS A의 경우 자유속도로 주행하며 다른 교통류에 거의 영향을 받지 않기 때문에 전략에 영향을 크게 미치지 않는다. 따라서 혼잡상황이 아닌 경우에는 LOS B 수준에서의 평가를 수행하였다. 둘째, 중차량의 혼입율에 따라 ASD이 최소화 하는 시나리오를 수립해야 한다. 전술한 바와 같이 1.5톤 이상의 화물차의 경우 고속도로의 제한속도가 90km/h이므로 혼입율에 따라 교통류의 패턴이 다르게 나타날 수 있기 때문이다.

속도정보의 경우 Abdel-Aty(2008)는 10mph(16km/h) 이상 속도 감소시 오히려 교통사고의 심각도가 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 16km/h 이하의 정보를 반영하는 것이 효과적이다. 그러나 본 연구의 분석구간은 제한속도가 110km/h이고 중차량의 제한속도가 90km/h이기 때문에 교통류의 패턴을 유지하기 위하여 20km/h 감소하는 전략도 본 연구에 반영하여 평가를 수행하였다. 단, 국내에서는 속도정보를 5단위로 감소하는 것은 큰 효과 없이 불필요한 운전자의 추가적인 작업 부하만(workload)을 요구할 수 있으므로 시나리오에서 제외하였다. 따라서 해당차로에 주행하는 개별차량에게 정보를 제공하기 위한 방법으로는 10km/h와 20km/h를 감소시키는 것으로 전략을 수립하였다. 따라서 〈표 3〉에 제시한 바와 같이, 해당차로별로 110km/h, 100km/h, 90km/h의 속도제어를 조합한 결과 총 6개

〈표 3〉 시나리오 수립

고려변수	CASE		
교통소통상황	LOS B, D		
화물차 혼입율(%)	20, 30, 40, 50		
속도 정보 제공량 (km/h)	차로	1차로	2차로
	case1	no case (110)	no case (110)
	case2	110	100
	case3	110	90
	case4	100	100
	case5	100	90
	case6	90	90
정보제공시간(분)	5		

의 case가 제시되었다. 또한, 교통상황 LOS B, LOS D와 중차량의 혼입율 20, 30, 40, 50%를 분류한 결과 총 48(서비스수준(2) × 중차량 혼입율(4) × 속도제어(6))개의 시나리오가 수립되었다.

4. 평가결과 및 논의

본 연구에서 설정한 집중속도관리구간에 진입하는 차량에게 개별차량 및 차로별 속도제어를 구현하기 위해서 VISSIM 5.10의 VAP(Vissim Application Programming)을 활용하였다. VAP파일은 차로별, 차량의 종류별, 시간대별 속도제어가 가능하도록 코딩하여 분석에 반영하였다. 분석시나리오는 <표 3>에 따라 수집된 총 48개의 시나리오를 반영하여 분석하였으며, <표 4>에 제시된 바와 같이 시나리오를 구성하였다. 예를 들어 시나리오 1~6은 LOS B이며 중차량의 혼입율이 20%인 경우에 대한 속도제어이다. 시나리오 6~12는

LOS B이며, 중차량의 혼입율이 30%일 때에 대한 속도제어를 말한다. 수립된 시나리오를 시뮬레이션하여 수집된 자료를 분석하기 위해서는 수집된 자료의 유의성을 확보해야 한다. 유의성을 확보하기 위하여 각 시나리오별 5회의 시뮬레이션 실험을 수행하여 각 시나리오별 ASD를 산출하였다. 또한, 통계적 유의성을 확인하기 위하여 동일한 교통상황의 시나리오에 대한 ANOVA test를 수행하였다. 이를 반영하여 각 시나리오를 분석한 결과는 <표 4>에 나타냈으며, 회색부분이 최적의 시나리오로 나타났다.

분석 결과, LOS B의 경우 신뢰구간 95%(p-value < 0.05)에서 모든 시나리오가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 반면, 서비스 수준이 LOS D인 교통상황에서는 통계적으로 유의하지 못한 결과가 나타났다. 위의 결론은 Adel-Aty와 Lian(2006)이 제시한 결과와 동일하게 나타났다고 할 수 있다. 즉, 교통량이 많아지는 경우에는 차량의 속도선택에 대한 자유도가 충분히 확보되지

<표 4> 교통상황별 속도관리 전략

서비스 수준	시나리오 구성	중차량 혼입율 (%)	속도제어(km/h)		실제속도(km/h)	ASD	서비스 수준	시나리오 구성	중차량 혼입율 (%)	속도제어(km/h)		실제속도(km/h)	ASD
			1차로	2차로						1차로	2차로		
LOS B	sc1	20	no case(110)		104.94	7.6	LOS D	sc25	20	no case(110)		96.18	7.32
	sc2		110	100	104.82	6.51*		sc26		110	100	96.44	7.23
	sc3		110	90	104.54	7.02		sc27		110	90	95.99	7.20
	sc4		100	100	104.38	7.32		sc28		100	100	95.63	7.14
	sc5		100	90	104.28	7.97		sc29		100	90	95.35	7.09
	sc6		90	90	103.73	7.39		sc30		90	90	94.58	7.13
	sc7	30	no case(110)		103.16	6.85		sc31	30	no case(110)		98.99	6.03
	sc8		110	100	102.90	6.26		sc32		110	100	98.95	5.96
	sc9		110	90	102.60	6.67		sc33		110	90	98.74	5.96
	sc10		100	100	102.27	6.22		sc34		100	100	98.14	6.04
	sc11		100	90	101.89	5.50*		sc35		100	90	98.08	5.93
	sc12		90	90	101.15	6.85		sc36		90	90	96.75	6.06
	sc13	40	no case(110)		102.37	5.69		sc37	40	no case(110)		99.38	5.32
	sc14		110	100	102.1	4.91		sc38		110	100	99.39	5.22
	sc15		110	90	101.87	4.51*		sc39		110	90	99.23	5.22
	sc16		100	100	101.65	5.70		sc40		100	100	98.62	5.22
	sc17		100	90	101.32	4.51*		sc41		100	90	98.488	5.19
	sc18		90	90	100.50	5.65		sc42		90	90	97.55	5.27
	sc19	50	no case(110)		101.40	5.29		sc43	50	no case(110)		99.32	4.67
	sc20		110	100	101.29	4.40		sc44		110	100	99.442	4.68
	sc21		110	90	101.01	4.37*		sc45		110	90	98.87	4.69
	sc22		100	100	100.85	4.40		sc46		100	100	98.42	4.65
	sc23		100	90	100.64	5.29		sc47		100	90	98.34	4.64
	sc24		90	90	99.9	5.07		sc48		90	90	97.50	4.83

주 : * 표시는 시나리오별 ANOVA Test 분석결과 신뢰구간 95%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석된 것을 말함

않은 상태이기 때문에 속도제어의 효과가 미비한 것으로 판단 할 수 있다. 반면에, LOS B의 경우 교통량이 적어 운전자의 속도선택의 자유도가 높기 때문에 교통안전 측면에서 속도제어는 효과적이라고 할 수 있다.

LOS B일 때 차량 속도는 100~105km/h로 분포되었으며, ASD는 4~8사이로 나타났다. 또한 중차량의 비율이 낮은 경우(20%) 2차로를 주행하는 차량의 제한속도를 10km/h 상향 조정하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 또한 중차량 혼입율이 30%일 때는 모든 차로에 제한속도를 10km/h 하향 조정하여 운영하는 것이 효과적으로 나타났다. 또한 중차량 혼입율이 40%인 경우 1차로에는 110km/h 또는 100km/h와 2차로의 경우 90km/h로 제어하는 것이 ASD를 가장 감소시키는 것으로 나타났다. 마지막으로 중차량이 50%인 경우 2차로에만 트럭의 제한속도인 90km/h로 제어하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

이러한 결과가 도출된 원인은 크게 2가지 상황으로 분류할 수 있다. 첫째, 중차량의 혼입율이 일정수준 이하여서 차로변경이 용이한 상황이다. 이러한 상황은 두 가지 유형으로 다시 나뉘지는데, 중차량의 혼입율이 낮은 (20% 이하) 경우는 중차량의 영향을 받지 않고, 자유로운 차량추종 및 차로변경이 가능하기 때문에 오직 상충상황만이 ASD에 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 이러한 경우에는 1차로와 2차로에 동일한 속도를 제공해야 할 것이다(no case 제공). 다음으로 중차량의 혼입율이 20%~40%미만인 경우는 승용차량이 1차로에서 2차로로 차로변경 시 중차량과의 추종관계가 발생하게 된다. 1차로를 주행하던 승용차가 2차로에 진입 시 2차로에서 90km/h로 주행하는 중차량과 다른 속도로 주행하고 있었기 때문에 두 차량 간의 속도차이가 발생하게 되고, 2차로에서 중차량의 주행속도에 영향을 받아 90km/h로 주행하던 승용차가 1차로로 차로를 변경할 경우에도 1차로에서 주행하던 승용차와 속도차이가 발생하게 된다. 이러한 경우 차로변경 시 ASD가 증가하기 때문에 1차로와 2차로 간의 속도차이를 감소시키는 제어 전략을 제시하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 그리하여 본 연구에서는 중차량의 혼입율이 20%와 30%인 경우 1차로와 2차로의 속도차이를 10km/h로 감소시키는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

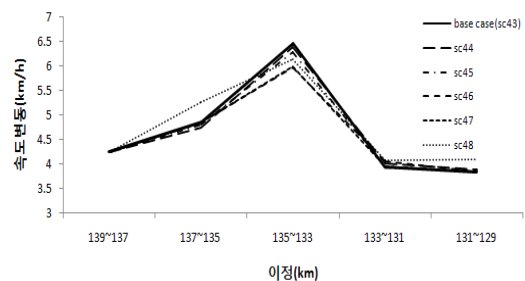
둘째, 중차량의 혼입율이 높아 차로변경이 용이하지 않은 상황이다. 예를 들어 중차량의 혼입율이 40%인 경우 2차로에서만 주행가능한 중차량의 특성상 2차로 전

체 교통량의 약 80%가량을 중차량이 점유하게 된다. 따라서 승용차가 2차로로 차로를 변경하는 것은 쉽지가 않다. 이와 같이 차로변경이 제한적인 경우 1차로는 기본 제한속도를 주행하는 차량군이 형성될 것이기 때문에 1차로에는 기본 제한속도를 제공하고, 2차로는 중차량이 대부분의 차량군을 형성할 것이므로 중차량의 주행속도를 감안한 90km/h로 속도를 제어하면 차로별로 교통류가 분리되어 차로변경을 감소시키기 때문에 ASD가 감소될 것으로 판단된다.

한편, LOS D의 경우의 차량 속도는 94~100km/h로 분포되었다. 또한 중차량의 혼입율에 관계없이 1차로의 제한속도를 10km/h 하향 조정하여 100km/h로 운영하며, 2차로의 경우 90km/h로 운영하는 것이 ASD를 줄일 수 있는 방안인 것으로 확인되었다.

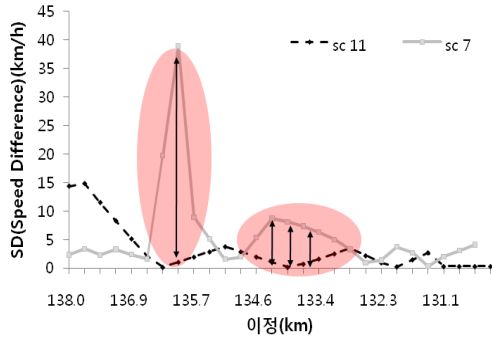
더욱 세분화된 분석을 수행하기 위하여 분석 시나리오 중 중부내륙고속도로의 실제 적용상황인 LOS D, 즉 중차량이 50%인 경우에 대해 추가분석을 수행하였다. 집중속도관리구간의 ASD 감소여부를 판단하기 위하여 <그림 10>과 같이 이정별 ASD를 분석하였다. 분석 결과, 집중속도관리구간인 이정 135~133km에서 약 0.7km/h 감소하는 것으로 파악되며 실제 속도 제어 시 ASD가 효과적으로 감소하는 것으로 분석되었다.

결론적으로 집중관리구간에서 ASD가 감소된 것으로 분석되었다. 그러나 t 시간일 때의 집중관리구간에서 선·후행차량의 상대 속도 차가 직접적으로 감소해야 ASD 감소효과가 있다고 판단 할 수 있다. 본 연구에서는 개별차량의 속도 차이 감소 여부를 확인하기 위하여 교통상황이 LOS B이며 중차량 혼입율이 30%인 경우와 LOS D이며 중차량 혼입율이 20%인 경우를 표본으로 하여 분석을 수행하였다. 비교 방법은 속도관리를 하지 않은 base case 경우와 속도 관리 시 가장 효율적으로 ASD를 감소시키는 시나리오를 차로별로 비교하였

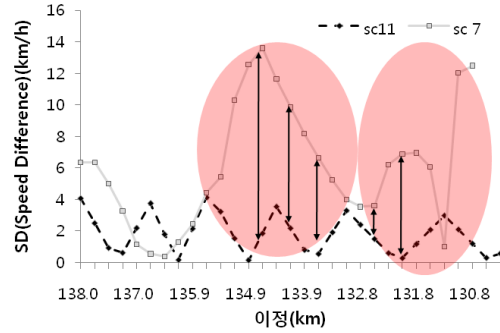


<그림 10> 적용구간 개별차량 ASD

LOS B 중차량 30% 상황 비교

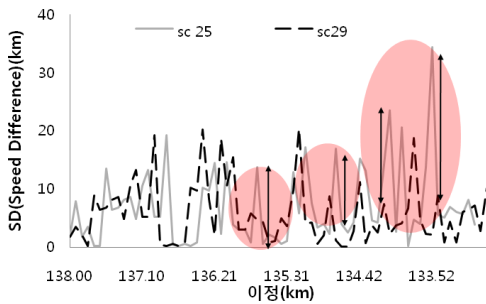


(a) 1차로 속도관리 전·후 비교

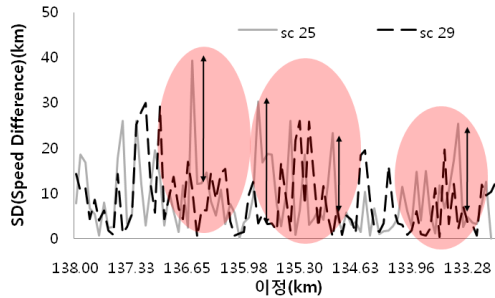


(b) 2차로 속도관리 전·후 비교

LOS D 중차량 20% 상황 비교



(a) 1차로 속도관리 전·후 비교



(b) 2차로 속도관리 전·후 비교

〈그림 11〉 t시간 일 때의 집중관리 구간 속도관리 전·후 비교

다. 분석 범위는 분석시간 1400초 일 때 집중관리구간에 존재하는 선·후행 차량을 대상으로 하였다.

시나리오 분석결과 〈그림 11〉과 같이 나타났다. 〈그림 11〉에서 y축(SD)이 0에 가까울수록 교통류가 정온화 된다고 볼 수 있다. 따라서 0에 가까울수록 교통안전도가 향상 된다고 말할 수 있다. 분석된 바와 같이 ASD가 가장 많이 감소하는 시나리오의 개별차량 SD는 집중관리구간에서 속도제어를 하지 않은 경우 SD에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 결론적으로 LOS B, LOS D의 교통상황에서 〈그림 11〉에 표시된 화살표의 크기만큼 선·후행 차량의 SD가 감소하는 것으로 나타났다.

IV. 향후 연구과제

도로의 교통안전을 향상시키기 위해서는 교통류를 관리함으로써 교통사고를 유발하는 요인을 제거해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 개별차량 주행궤적 자료를 수집 및 반영한 에이전트 기반의 실시간 속도관리시스템을

제시하였다. 또한, 실시간 교통류의 패턴을 반영하기 위하여 도로의 소통상황과 중차량의 혼입율에 따른 속도제어관리 방안을 제시하였다. 분석 결과, 소통상황이 원활한 경우에 중차량의 혼입율을 고려한 속도정보를 제공하는 것이 교통안전도를 향상 시키는 것으로 나타났다. 특히, LOS B 상황에 중차량 혼입율이 20%인 경우를 제외하고 중차량의 제한속도인 90km/h로 속도를 제어하는 것이 집중관리구간(사고심각도가 높은 구간)에서 ASD를 감소시키는 것으로 나타났다.

전술한 바와 같이 SSM을 실시간으로 추출하여 교통류를 관리하는 새로운 개념의 속도관리시스템을 구성하고 평가한 것이 본 연구의 의의라고 할 수 있다. 그러나, 시스템을 적용하여 운영 및 관리하기 위해서는 향후 다양한 연구가 필요하다. 첫째, 교통사고 발생과 관련성이 높은 다양한 형태의 SSM을 추가로 도출하고 분석해야 한다. 여러 가지 SSM을 동시에 고려하여 위험도수준을 평가하는 통합지표 및 분석방법론에 대한 추가 연구가 필요하다. 둘째, 소통상황 및 중차량의 혼입율 뿐만 아니

라 좀 더 다양한 요인을 반영한 속도제어 시나리오를 수집해야 할 것이다. 셋째, 속도정보 제공시 운전자의 반응에 대한 규제여부에 따른 반응을 추후 연구해야 할 것이다. 마지막으로 정산 및 검증 시 개별차량 속도에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다. 모든 차량에 대해 주행계획자료의 수집이 이루어져야 하기 때문에 향후에는 이를 반영하여 좀 더 현실적인 검증을 수행해야 한다. 본 연구를 반영하여 가치 있는 연구를 도출한다면 향후 교통안전 향상을 위한 능동적인 관리시스템으로 활용 할 수 있을 것이라 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제62회 학술발표회 (2010. 2. 20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 심상우·최기주(2006), “혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발”, 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.7~18.
2. 박준형·오 철·김태형·김원규(2009), “유비쿼터스 환경에서 돌발상황 발생 시 예측적 통행시간 추정기법”, 한국ITS학회지, 제8권 제2호, 한국ITS학회, pp.14~26.
3. 송태진·오 철·오주택(2009), “실시간 교통안전 경고정보 제공을 위한 이용자 선호도 분석 연구”, 대한교통학회지, 제27권 제4호, 대한교통학회, pp.7~16.
4. 오 철·김준형·송태진·박준형·임희섭(2009), “실시간 교통안전 분석·평가 기술개발 3차년도 중간보고서”, 교통체계효율화사업(U-safety 교통안전 감시 및 분석시스템 개발).
5. Abe, G. and Richardson, J(2005), “The influence of alarm timing on braking response and driver trust in low speed driving”, Safety Science 43, pp.639~654.
6. A. Hamish Jamson, Natash a Merat(2005), “Surrogate in-vehicle information systems and driver behaviour: Effects of visual and cognitive load in simulated rural driving”, Transportation Research Part F 8, pp.79~96.
7. Anttila, V. and Luoma(2005), “Surrogate in-vehicle information systems and driver behavior in an urban environment : A field study on the effects of visual and cognitive load”, Transportation Research Part F 8, pp.121~133.
8. Campbell, J.L., Richman, J. B., Carney, C., and Lee, J.D(2004), “In-Vehicle Display Icons and Other Information Elements Volume I : Guidelines”, FHWA-RD-03-065, pp.6~4.
9. Ellen C. Haas and Judy Edworthy(1996), “Designing urgency into auditory warnings using pitch, speed and loudness”, Computing & Control Engineering Journal, pp.193~198.
10. Emeli Adell, Andras Varhelyi, Magnus Hjalmdahl(2008), “Auditory and Haptic systems for in-car speed management - A comparative real life study”, Transportation Research Part F 11, pp.445~458.
11. Geva Vashitz, David Shinar, Yuval Blum (2008), “In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnels”, Transportation Research Part F 11, pp.61~74.
12. Koji SUTO, Junyi ZHANG and Akimasa FUJIWARA(2008), “Effect of an In-vehicle Warning Information System on Driver’s Behavior When They Approach a Large-Scale Crest-Shaped Intersection”, Transportation Research Board 87th Annual Meeting.
13. Raymond J. Kiefer, David J. LeBlanc, Carol A. Flannagan(2005), “Developing an inverse time-to-collision crash alert timing approach based on drivers’ last-second braking and steering judgments”, Accident Analysis and Prevention 37, pp.295~303.
14. Queensland Government(2010), “Traffic & Road Use Management Manual-Guidelines

- for the permanent placement of variable speed limit and lane control signs for motorways, long bridges and tunnels”, Queensland Government Manual, <http://www.tmr.qld.gov.au>.
15. Rim Heesub, Cheol Oh, Kyungpyo Kang, Seongho Kim(2010), “Estimation of Lane-Level Travel Times(L2TT) in V2X-based Traffic Information System”, Transportation Research Board 89th Annual Meeting.
 16. Tatsura Daimon, Hironao Kawashima, Satoshi Yamada(2001), “Study on Human Interface for Multi-Information Environment of In-vehicle Information Systems : Integration of Headway Warning and Blind-spot Warning Information”, 7th Annual World Congress on Intelligent Transport Systems, Sydney.
 17. Wan-Hui Chen, Szu-Wei Lee, Kui-Chuan Kao, Jeng-Min Chiou(2007), “Young Driver Preferences and Experimental Investigation of Audio and Visual Interface Designs for In-Vehicle Information Systems”, Transportation Research Board 86th Annual Meeting.

- ✉ 주 작 성 자 : 송태진
- ✉ 교 신 저 자 : 오 철
- ✉ 논문투고일 : 2010. 10. 20
- ✉ 논문심사일 : 2010. 12. 28 (1차)
2011. 4. 14 (2차)
2011. 5. 27 (3차)
2011. 7. 11 (4차)
- ✉ 심사판정일 : 2011. 7. 11
- ✉ 반론접수기한 : 2011. 12. 31
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필