

교통안전을 고려한 고속도로 가변제한속도 운영구간 우선순위 결정 연구

최새로나¹ · 이기영² · 오철^{1*}

¹ 한양대학교 교통·물류공학과, ² 한국도로공사 도로교통연구원

Prioritizing Freeway Segments for Variable Speed Limit (VSL) Operations based on Traffic Safety

CHOI, Saerona¹ · LEE, Keeyong² · OH, Cheol^{1*}

¹ Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

² Expressway and Transportation Research Institute, Gyeonggi 445-812, Korea

Abstract

Variable speed limit(VSL) is a useful speed management tool for alleviating traffic congestion and enhancing traffic safety. The purpose of this study is to identify promising freeway segments for safety enhancement through VSL operations. An ordered probit model was adopted to capture factors affecting freeway crash severity that can be used to support decision making for selecting the promising segments. Pseudo elasticity and marginal effects, which are outcomes of the ordered probit analysis, were used to determine priority of promising segments for traffic safety. The results of this study would be useful in installing VSL systems and developing traffic control and operations strategies in practice.

최근 고속도로에서 운전자가 교통운영 및 안전상 적정한 속도로 운행할 수 있도록 기상, 교통사고, 혼잡 등에 효과적으로 대응할 수 있는 교통류 관리전략에 대한 필요성이 증가하고 있다. 새로운 교통시스템을 적용하기에 앞서 해당 시스템의 효과를 극대화할 수 있는 운영구간을 결정하는 기준에 대한 연구가 선행되어야 하며, 교통사고자료를 활용한 통합적인 분석을 통하여 운영구간 우선순위 결정 기준을 마련할 수 있다. 본 연구에서는 향후 국내 가변제한속도 도입 시 교통안전을 고려하여 우선적으로 설치해야할 운영구간을 선정하기 위한 방법론을 제시하였다. 순서형 프로빗 모형을 이용한 분석결과, 교통안전을 고려한 가변제한속도 운영구간 우선순위는 교량 및 터널구간, 내리막구간, 승합차 또는 화물차의 비율이 높은 구간, 야간시, 이상기후시 차량의 평균속도가 높은 구간, 차량간 속도분산이 높게 나타나는 구간 순으로 나타났다. 본 연구의 결과는 기상대응을 목적으로한 국내 가변제한속도 시스템 도입 시 운영구간 우선순위 도출에 효과적으로 활용할 수 있다.

Key Words

Traffic Safety, Variable Speed Limit, Freeway Crash, Injury Severity, Ordered Probit Model
교통안전, 가변제한속도, 고속도로 교통사고, 사고심각도, 순서형 프로빗 모형

* : Corresponding Author
cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-436-8147

I. 서론

고속도로를 이용하는 차량 대수는 해마다 증가하는 추세이며 이에 따라 기상, 교통사고, 혼잡 등을 효과적으로 관리하고, 고속도로에서 운전자가 교통운영 및 안전상 적절한 속도로 운행할 수 있도록 유도하는 속도관리 전략에 대한 필요성이 증가하고 있다.

가변제한속도(Variable Speed Limit)는 제한속도를 혼잡관리, 기상대응 등의 운영목적에 따라 유연하게 변화시켜 고속도로의 이용효율성 및 안전성을 증대시키기 위하여 적용하는 교통류관리전략이다. 고속도로의 하류부에 시인성 및 노면상태 저하를 유발하는 기상조건, 지정체, 공사구간 또는 교통사고로 인한 병목현상 등이 발생할 경우 상류부 차량의 속도를 감소시켜 도로 혼잡 및 용량저하, 2차사고 등을 최소화하는데 그 목적이 있다.

국외에서는 이러한 가변제한속도를 활용하여 각 고속도로 구간의 특성에 따라, 즉 안개갇은구간, 혼잡발생구간, 사고다발구간, 장기 공사구간 등에 적용하여 운영하고 있다. 운영목적에 따른 알고리즘 개발, 가변제한속도 운영구간의 교통안전, 교통운영에 대한 효과분석 등 관련 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

국내 고속도로에서는 가변차로제, 버스전용차로제, 램프미터링 등 수요관리 측면의 교통운영전략을 시행하고 있으며 그에 대한 연구 또한 활발히 진행되어 왔다. 그러나 악천후, 사고발생, 혼잡, 공사구간 발생 등의 교통상황에 유연하게 대응할 수 있는 속도관리전략에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

새로운 교통시스템을 적용하기에 앞서 해당 시스템의 효과를 극대화할 수 있는 운영구간을 결정하는 기준에 대한 연구가 선행되어야 한다. 예를 들어, 기상대응을 목적으로 한 가변제한속도 시스템의 경우 강우, 강설로 인하여 사고 발생빈도가 높거나 사고발생시 사고심각도가 높게 나타나는 구간 등에 선적용할 수 있다. 또한 교통사고자료를 활용한 통합적인 분석을 통하여 운영구간 우선순위 결정 기준을 마련할 수 있다. 우선적으로 운영해야 할 구간이 선정되면 국내 실정에 맞는 시스템 설치, 운영, 평가 등에 대한 연구가 수행되어야 한다.

본 연구의 목적은 국내 고속도로 가변제한속도 도입시 교통안전을 고려하여 우선 운영구간을 결정하기 위한 방법론을 제시하는 것이다. 실제 고속도로에서 수집한 사고자료, 교통자료와 기상자료를 이용하여 분석 데이터 베이스를 구축하였다. 순서형 프로빗 모형을 이용하여

속도관리전략이 필요한 도로·교통조건 관련 요인을 도출하고, 한계효과 및 탄력성 검토를 통하여 가변제한속도 운영구간 우선순위를 선정하였다. 최종적으로 교통안전을 고려한 가변제한속도 운영구간 우선순위 결정방법론을 제시하였다.

II. 기존문헌고찰

본 연구에서는 가변제한속도 관련 국내외 연구동향 및 교통시스템 운영 우선순위 선정 관련 연구와 본 연구에서 사용한 분석 방법론인 순서형 프로빗 모형에 대한 기존 연구를 검토하였다.

1. 가변제한속도 운영 및 평가

가변제한속도와 관련된 국내외 연구는 가변제한속도 운영을 위한 알고리즘 제안 및 교통안전 및 운영상 효과 평가에 대한 연구가 주를 이룬다. 기상대응, 지정체 완화, 공사구간 병목현상 감소 등의 운영목적에 따른 운영 알고리즘을 이용하여 실제 현장적용에 대한 평가 또는 거시적 또는 미시적 교통시뮬레이션을 통한 시나리오 평가를 수행하였다. 평가방법은 크게 운영효율성 및 안전성의 두 가지로 구분된다.

Geistefeldt(2011), Nissan et al.(2011), Papageorgiou et al.(2008)은 실제 고속도로 현장에 적용된 가변제한속도 시스템에 대한 효과평가를 수행하였다. 가변제한속도의 적용이 운영효율성 측면인 용량, 서비스수준 등에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. Geistefeldt의 연구에서는 가변제한속도 적용 결과 용량의 분포함수의 분산이 감소하는 것으로 나타났으며, Nissan et al.은 가변제한속도의 적용이 용량, 서비스수준 등의 교통상황에 유의한 영향을 미치지 않는다고 제시하였다. Papageorgiou et al.의 연구에서는 도로 시설의 용량과 가변제한속도 시스템의 영향은 관련이 없는 것으로 나타났으며 실시간으로 수집된 점유율 데이터를 이용한다면 더 효과적이고 강력한 가변제한속도 제어 전략을 수립할 수 있다고 제시하였다.

거시적 또는 미시적 교통시뮬레이션을 이용한 가변제한속도 평가에 대한 연구도 수행되었다. Radwan et al.(2011)은 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여 공사구간에서 합류가 일어나는 차로에서 가변제한속도의 운영 평가를 위한 분석을 수행한 결과, 공사구간

에서 가변제한속도 적용시 평균 통과교통량은 교통수요에 따른 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 공사구간에서 가변제한속도 시스템의 적용으로 인하여 운영효율성이 증가하였음을 시사하는 결과이다. Abdel-Aty et al.(2006)은 CORSIM을 이용하여 가변제한속도 시행시 도로 안전도에 대한 분석을 수행하였다. 가변제한속도의 운영으로 인하여 뚜렷한 안전도 향상 결과가 나타났으나 정체구간에서는 명확한 결과는 나타나지 않았다고 제시하였다.

또한, Allaby et al.(2007)은 PARAMICS를 이용하여 도시부 고속도로를 대상으로 가변제한속도에 대한 분석 및 효과를 평가한 결과 가변제한속도 시행시 통행시간은 증가하고 안전성은 일반적으로 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 비첨두시에는 안전성이 감소하는 결과를 보였다. Hegyi et al.(2005)은 거시적 교통류 모형인 METANET을 이용하여 고속도로 교통 네트워크에서 가변제한속도와 램프미터링 최적 운영을 통하여 차량 네트워크에서 소요되는 총 시간을 최소화하기 위한 연구를 수행한 결과, 동적인 속도제한의 사용은 혼잡 및 총 통행시간이 감소하는 것으로 나타났다. Lee et al.(2004)는 PARAMICS를 이용하여 가변제한속도 적용시 통행시간 및 잠재사고율을 고속도로를 대상으로 분석한 결과 잠재사고율은 낮은 경계값을 적용할 때 큰 폭으로 감소하고 짧은 가변제한속도 주기는 잠재사고율을 증가시키는 것으로 나타났다. 가변제한속도 시행시 잠재사고율이 가장 크게 감소하는 구간은 혼잡이 가장 많은 것으로 나타난 램프 상류부로 도출되었다.

가변제한속도 운영을 위한 알고리즘 및 모델링 기법 개발에 관한 연구도 수행되었다. 조영태(2010)는 다수의 스테이션들 사이의 연계를 통해 가변제한속도로 얻을 수 있는 효과를 높이는 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서 제시한 알고리즘이 도로의 안전성 향상에 기여하고 이동시간에는 최소한의 영향을 미친다고 제시하였다. Lee et al.(2006)은 안전도를 향상시키기 위하여 가변제한속도 알고리즘에 CP(Crash Potential)값을 도입하는 것을 제안하였다. 실시간으로 측정된 CP를 기반으로 안전도를 측정하여 가변제한속도를 결정하고, 제안된 가변제한속도 알고리즘이 안전도 향상에 기여함을 증명하였다. Heydecker et al.(2010)은 가변제한속도를 적용시 교통류에 대한 속도와 점유율에 대한 분석 및 모델링 방안을 개발하였다. 영국의 M25 고속도로를 대상으로 차로별 분석을 통하여 모형에 대한 통계적인 평가

를 수행한 결과, 속도와 점유율 관계는 속도의 제어에 따라 달라진다고 제시하였다.

2. 교통시스템 운영 우선순위 결정

본 연구에서는 국내 교통시스템 운영을 위한 우선순위 결정 연구에 대한 기존 연구를 검토하였다. 주로 다수 대안에 대한 다면적 평가기준을 통한 의사결정지원 방법인 계층분석법(Analytic Hierarchy Process)를 활용한 분석이 수행되었다.

최기주 등(2009)은 국내 여건을 반영한 램프미터링 도입 우선순위 선정에 관한 연구를 수행하였다. 계층분석법을 통한 분석 결과, 교통량이 많고 혼잡이 심할수록 도입 우선순위가 높은 것으로 나타났다.

이철규 등(2002)은 다기준의사결정 문제인 국도에서의 첨단교통관리시스템의 구축 우선순위 결정을 위하여 퍼지적분기법을 적용한 분석을 수행하였다. 계층분석법을 이용하여 평가기준에 대한 가중치를 산출하고 이를 퍼지 측도 산정에 이용하여 평가기준간 내재하는 상호작용을 고려하였으며, 최종적으로 퍼지적분에 의해 종합평가함으로써 보다 신뢰성 있는 의사결정 방안을 도출하였다.

강승립 등(2004)은 고속도로 대상 구간에 대한 합리적인 평가에 필요한 결정요소 및 평가지표를 선정하고, 계층분석법을 활용한 의사결정과정 등을 통해 결정요소 및 평가지표의 중요도를 산출하여 설치 대상구간에 대한 우선순위를 선정하였다. 결정요소로는 안전성, 지역적 형평성, 투자비용의 경제성, 물리적 설치가능성을 적용하였다.

정현영 등(2005)은 계층분석법을 활용하여 지하철상아이동 편의시설 설치시 역사 및 역사의 출입구에 대한 우선순위 선정을 위한 평가항목과 가중치를 도출하였다. 선정 결과, 상하이동 편의시설 설치 후 가장 큰 편의를 제공받을 것으로 판단되는 장애인에 높은 가중치가 산정되었다.

3. 순서형 프로빗 모형의 활용

순서형 프로빗 모형은 종속변수가 3개 이상의 가치를 지니는 이산 선택형 변수, 즉 특정 행위의 강도, 선택에 대한 선호도 등인 경우 사용하기 적합한 모형이다. 교통공학에서는 주로 사고 심각도 또는 이용자 만족도 등에 영향을 미치는 도로·교통 관련 요인을 분석시 유용하게 사용된다.

교통사고분석에의 순서형 프로빗 모형을 적용한 사례 연구를 살펴보면, Tarko et al.(2011)은 경찰사고데이터 및 병원 수검 데이터를 이용하여 보행자 부상 심각도 요인을 분석하였다. Lemp et al.(2011)은 대형트럭 사고발생시 부상심각도에 미치는 요인을 도출하였다. 트레일러의 개수, 트럭의 길이, 차량의 중량 등급 등이 부상 심각도 증가 요인으로 도출되었다. 홍지연 등(2011)은 공사장 사고 특성을 규명하고, 도로 요인과 공사로 인한 특수한 환경적 요인들을 변수화하여 공사장 교통안전에 미치는 영향을 분석하였다. Christoforou et al.(2010)은 속도 및 교통량과 관련된 교통특성들이 차량 탑승자의 부상심각도에 미치는 영향을 분석하였다. 하오근 등(2005)은 교차로 교통사고 자료를 이용하여 사고 심각도에 미치는 요인을 분석하였다. Kockelman et al.(2002)은 사고유형에 따른 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요소를 도출하였다.

강경우 등(2010)은 이용자 만족도 분석에 순차적 의미를 주는 선택, 선호와 관련된 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 적용하였다. 이용자들이 자전거 도로를 이용하면서 느끼는 만족도로 자전거도로의 서비스수준을 정의하였다.

4. 시사점

기존문헌 고찰 결과, 교통류의 속도, 점유율, 통과교통량 등 고속도로의 운영 효율성 측면에서 가변제한속도 시스템의 효과 평가에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 운영효율성 및 안전성과 관련된 다양한 효과척도를 이용한 시스템 적용 전·후에 대한 효과평가가 수행되었다. 그러나 국내 실정이 반영된 가변제한속도 시스템 도입을 위한 선행연구는 부족한 것으로 나타났다.

램프미터링, 지능형 교통시스템 등의 도입을 위하여 국내 실정을 반영한 우선순위 결정 연구에서는 주로 계층분석법을 활용한 연구가 수행되었으나 본 연구에서는 통계적 모형을 이용하여 교통사고 심각도 영향요인을 도출하였으며, 이를 통하여 고속도로 가변제한속도 도입을 위한 우선순위 결정 방안을 제안하였다.

III. 분석개요

본 연구는 고속도로상 가변제한속도 도입시 교통안전을 고려하여 시스템 운영구간 우선순위를 도출하는 방법

론을 제시함에 그 목적이 있다. 통계적 모형을 이용하여 교통사고 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 독립변수를 도출하고, 각 독립변수별로 사고심각도 발생확률 증가에 미치는 영향의 정도를 분석한다. 한 독립변수가 교통사고 심각도 증가에 대단히 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었을 경우, 교통안전측면에서 속도관리와 같은 교통류 관리전략의 적용을 통한 사고 감소 대책마련이 우선적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 순서형 프로빗 모형을 이용하여 교통사고 심각도 모형을 도출하고 각 독립변수별 심각도 증가 영향의 정도를 분석하였다. 분석방법론으로 순서형 프로빗 모형을 이용한 것은 종속변수가 교통사고 심각도와 같이 순위가 있는 이산형 변수이고 다양한 요인이 작용하는 교통현상에 대한 분석시 유용하게 사용할 수 있으며 한계효과 및 탄력성 검토를 통하여 각 독립변수들이 종속변수의 확률적 증가에 미치는 영향의 정도를 분석할 수 있기 때문이다.

본 연구의 분석 절차는 <Figure 1>과 같다. 기상자료, 속도 및 교통량자료, 교통사고자료를 매칭하여 분석에 사용할 통합 데이터 베이스를 구축하였다. 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 기상특성을 반영한 독립변수들을 설정하고 순서형 프로빗 모형을 수립하여 교통안전 영향 요인들을 도출하였다. 한계효과 및 탄력성을 검토하여 요인별로 사고심각도 증가에 미치는 영향의 정도를 평가하였으며, 최종적으로 교통안전증진효과 기반의 가변제한속도 적용을 위한 우선순위를 결정 방법론을 제시하였다.

Step 1. Establishment of dataset

- Matching weather and traffic data including speed, volume, and crashes

Step 2. Derivation of factors affecting traffic safety

- characteristics according to human
→ driver characteristics

Step 3. Evaluation of the level of importance by factors

- Analyzing pseudo-elasticity and marginal effects

Step 4. Determining priority of VSL operation segment

<Figure 1> Process of analysis

1. 데이터 베이스 구축

본 연구에서는 대상 노선의 최근 3년간(2008~2010년) 고속도로 사고자료, 검지기자료, 기상자료를 수집하였으며 교통사고 사고 케이스에 대한 기상 및 교통특성 자료를 매칭하여 데이터 베이스를 구축하였다. 각 자료의 분석기간, 분석구간, 분석단위에 대한 개요는 <Table 1>에 제시하였으며, 데이터 베이스 구축절차는 다음과 같다.

첫째, 분석대상 노선을 선정하였다. 대상 노선의 경우 전국 고속도로를 대상으로 강우 또는 강설이 잦은 노선, 강우-강설시 사고발생이 잦은 노선, 강우-강설시 발생한 사고 중 과속사고가 많아 속도관리가 필요하다고 판단되는 노선을 종합적으로 고려하여 선정하였다. 선정결과, 남해선, 영동선, 중부선(대전-통영)이 대상 노선으로 선정되었다.

둘째, 대상노선의 사고자료를 수집하였다. 사고자료에서 본선일반구간, 터널, 교량 이외의 램프, IC, JC, 톨게이트에서 발생한 사고의 경우, 차량의 엇갈림이 발생하는 기하구조로 인하여 사고특성이 본선구간과 다르므로 본 연구에서 제외하였다. 일반적으로 사고자료에서는 사고심각도 및 기상별 데이터의 불균형문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 데이터 불균형문제를 보완하고자 경부선, 중부내륙선, 외곽순환선의 사고 케이스를 추가하여 사고자료를 구성하였다.

셋째, 사고자료의 케이스별 시간 및 공간적 범위가 일치하는 검지기자료를 매칭하였다. 본 연구에서 활용한 검지기 자료는 고속도로 루프검지기 수집 자료를 15분

의 집락간격으로 가공한 속도, 교통량자료이다. 사고자료와 매칭시 활용할 교통자료의 시간적 범위는 사고발생 시간 15분전, 15분후이며 공간적 범위는 사고발생지점의 최근접 상류부, 하류부로 설정하였다. 따라서 교통자료 매칭과정에서는 사고자료의 각 케이스별로 사고발생 15분전·후의 최근접 상·하류부에 대한 속도, 교통량, 즉 총 8개의 교통자료가 매칭된다.

넷째, 검지기자료와 마찬가지로 기상자료 또한 사고자료의 시간 및 공간적 범위를 고려하여 매칭하였다. 기상청에서 제공하는 강우, 강설자료는 집락간격이 1시간으로 나타난다. 사고발생 최근접 기상대에서 수집된 기상자료 중 사고시간이 포함된 1시간 강수량, 1시간전, 2시간전 강수량까지 총 3개의 강수량자료를 각 사고자료에 매칭하였다.

다섯째, 자료 수집시 이상치 및 결측치가 발생한 자료에 대하여 보정을 실시하였다. 사고자료내 속도 및 교통량에 이상치 및 결측치가 발생한 경우, 동일시간대의 근접 상·하류부 검지기의 평균값을 이용하여 보정하였다. 근접 검지기에도 이상치 및 결측치가 발생한 경우 사고 케이스를 삭제하였다. 보정이 가능하더라도 이상치 및 결측치가 사고 케이스별로 50%가 넘는 경우 해당 사고 위치의 특성을 잘 반영하지 못한다고 판단하여 사고 케이스를 삭제하였다. 기상자료의 경우 이상치 및 결측치는 발생하지 않았으나 사고자료상의 기상상태와 기상자료의 강수량 측정값이 일치하지 않는 경우가 발생하였다. 예를 들어, 사고자료상에는 기상상태가 '비'로 나타났으나 기상자료에는 무강수로 나타나는 경우가 있었다. 이러한 경우 사고자료 기록상의 문제점으로 파악되어 사

<Table 1> Summary of database

Data	Analysis period	Analysis area	Unit of analysis
Accident data of freeway	2008~2010	Subject highway line	case
VDS data	2008~2010	The nearest VDS of an accident point	15 minute
Weather data	2008~2010	Whole area	1 hour

<Table 2> Crash frequencies by freeway line, weather and injury severity

Freeway line	Case of accident					
	Weather			Injury severity		
	Normal	Rain	Snow	A	B	C
Namhae	168	101	3	2	24	246
Youngdong	243	102	30	0	59	316
Jungbu	122	46	3	4	26	141
others	90	10	6	8	21	77
Total	623	259	42	14	130	780

고 케이스를 삭제하였다.

노선별 데이터 구성 개요를 제시한 <Table 2>와 같이 구축된 데이터 베이스의 자료 개수는 총 924개이며 기상조건에 따라 이 중 정상기후¹⁾는 623개, 비는 259개, 눈은 42개로 나타났다. 심각도별 개수는 심각도 A사고가 14개, B사고가 130개, C사고가 780개로 나타났다.

2. 분석방법론

본 연구에서는 분석방법론으로 순서형 프로빗 모형을 적용하였다. 순서형 프로빗 모형은 순서화된 다항의 선택을 다룰 수 있도록 고안된 확률선택모형 중 ϵ_i (오차항)의 분포를 정규분포로 가정하는 모형이다. 순서형 프로빗 모형의 기본적인 형태는 식(1)과 같다. 응답 가능한 항이 J 개라고 한다면 관찰 불가능한 변수 y_i^* 와 관찰 가능한 변수 y_i 과의 관계는 식(2)와 같이 가정한다. μ 는 각 설명변수 x 의 추정계수 β 를 취하여 추정할 수 있는 한계값이 된다. 또한 종속변수의 척도에 따른 각 선택대안에 대한 선택 확률 계산식은 식(3)과 같으며, 이를 통해 개개의 확률 값을 추정할 수 있다. ϕ 과 Φ 는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수이다.

본 연구에서 분석방법론으로 순서형 프로빗 모형을 이용한 것은 종속변수가 연속형이 아닌 리커트척도와 같은 순차적 다분변수일 경우 독립변수의 크기를 잘못 평가할 수 있는 선형회귀분석의 단점을 보완해 줄 수 있으며, 복잡한 원인의 교통사고 분석에 유용하게 사용되기 때문이다. 본 연구에서 사용한 고속도로 교통사고자료의 사고 심각도는 순위를 가진 이산형 변수로, 변수 형태는 심각도 A사고, 심각도 B사고, 심각도 C사고로 나타난다.

또한 순서형 프로빗 모형의 한계효과 및 탄력성 검토 결과는 설명변수들이 종속변수의 발생확률 증가에 미치는 영향의 정도를 나타낸다. 주로 탄력성은 명목형 변수일 때, 한계효과는 연속형 변수일 때 사용한다. Jou et al.(2010)은 i 번째 대상의 추정계수 β_n 를 갖는 n 번째 연속형 설명 변수를 x_{in} 라 할 때, 한계효과의 일반식을 식(4)와 같이 제시하였다. 설명 변수가 명목형 변수일 경우 사용하는 탄력성은 식(5)를 통하여 산출한다.

$$y_i^* = \beta'x + \epsilon \tag{1}$$

$$y = \begin{cases} 0, & \text{if } y_i^* \leq 0 \\ 1, & \text{if } 0 < y_i^* \leq \mu_1 \\ 2, & \text{if } \mu_1 < y_i^* \leq \mu_2 \\ 3, & \text{if } \mu_2 < y_i^* \leq \mu_3 \\ \vdots \\ J, & \text{if } \mu_{J-1} < y_i^* \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} P(y_i = 0) &= \int_{-\infty}^{-\beta'_i x_i} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i = \Phi(-\beta'_i x_i) \\ P(y_i = 1) &= \int_{-\beta'_i x_i}^{\mu_1 - \beta'_i x_i} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i \\ &= \Phi(\mu_1 - \beta'_i x_i) - \Phi(-\beta'_i x_i) \\ P(y_i = 2) &= \int_{\mu_2 - \beta'_i x_i}^{\mu_2 - \beta'_i x_i} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i \\ &= \Phi(\mu_2 - \beta'_i x_i) - \Phi(\mu_1 - \beta'_i x_i) \\ &\vdots \\ P(y_i = J) &= \int_{\mu_{J-1} - \beta'_i x_i}^{\infty} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i = 1 - \Phi(\mu_{J-1} - \beta'_i x_i) \end{aligned} \tag{3}$$

3. 변수 설정

분석을 위한 종속변수는 사고자료에 나타난 사고 심각도를 이용하여 순서형으로 설정하였다. 독립변수는 교통사고자료에 나타난 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 대한 변수를 설정하였다. 변수 설정 개요는 <Table 3>과 같다.

명목형 변수에 대한 설정은 교통사고 심각도 증가에 상대적으로 많은 영향을 미칠 것으로 판단되는 집단을 1로, 그렇지 않은 집단을 0으로 코딩하였다. 연속형 변수는 각 변수의 특성을 반영하여 설정하였다.

인적특성에서는 운전자의 성별과 연령을 변수화하였다. '성별(gender)'은 남성을 1로, 여성을 0으로 설정하였다. '연령(age)'의 경우 사고자료 나타난 연령대의 중앙값을 연속형으로 설정하였다. 예를 들어 30대로 나타

1) 본 연구에서는 운전자의 시인성 및 도로 노면마찰력에 아무런 영향이 없는 기상상태를 '정상기후'로, 강우 또는 강설로 인하여 운전자의 시인성을 저하시키고, 도로 노면마찰력을 감소시키는 기상상태를 '이상기후'로 정의하였다.
 2) 한국도로공사의 교통사고 심각도 등급분류 기준에 따라 사망 3명이상, 사상 10명이상, 부상 20명이상 사고는 심각도 A로, 사망 1명이상, 부상 5명이상 사고는 심각도 B로, 부상 1명이상 사고는 심각도 C로 분류된다.

<Marginal effects>

$$E_{x_{in}}^{Pr(y_i=j)} = \frac{\partial \ln \Pr(y_i=j)}{\partial \ln x_{in}} = \frac{\phi(\mu_{j-1} - \beta x_i) - \phi(\mu_j - \beta x_i)}{\Phi(\mu_j - \beta x_i) - \Phi(\mu_{j-1} - \beta x_i)} \beta_n x_{in} \quad (4)$$

<Pseudo elasticity>

$$E_{x_{in}}^{Pr(y_i=j)} = \frac{(\Phi[\mu_j - \{\beta x_i + \beta_n(1-x_{in})\}] - \Phi[\mu_{j-1} - \{\beta x_i + \beta_n(1-x_{in})\}])}{\Phi(\mu_j - \beta x_i) - \Phi(\mu_{j-1} - \beta x_i)} - \frac{[\Phi\{\mu_j - (\beta x_i + \beta_n x_{in})\} - \Phi\{\mu_{j-1} - (\beta x_i + \beta_n x_{in})\}]}{\Phi(\mu_j - \beta x_i) - \Phi(\mu_{j-1} - \beta x_i)} \quad (5)$$

<Table 3> Summary of variables

Variables	Name of variables	Description	
Dependent variable	injury severity	Injury severity of accident 0: C, 1: B, 2: A ²⁾	
Independent variables	Environment	day_night	0: day, 1: night ; regarding sunrise and sunset
		week	0: weekend(Saturday, Sunday), 1: weekday(Mon~Fri)
	Human	gender	0: female, 1: male
		age	median of age group
	Vehicle	non_auto	0: auto, 1: non-auto(ven, truck)
	Geometry	grade_up	0: non-up grade, 1: up grade
		grade_dn	0: non-down grade, 1: down grade
		curve	0: non-curve, 1: curve
		location	0: mainline, 1: bridge or tunnel
	Traffic	up_sp15b	average speed : average speed of 15 minutes before occurred accident which archived the nearest VDS point
		up_speeding	the value of speeding(up_sp15b-speed limit) ※ If the value of speeding was lower than zero, it set zero.
		df_sp15b	difference between up_sp15b and dn_sp15b
sp_cv		coefficient of variation of speed	
v/c ratio		volume/capacity ratio	

난 자료는 35(세)로 설정하였다.

기하구조특성에서는 오르막, 내리막, 평지로 나타난 종단선형을 각각 '오르막여부(grade_up)'와 '내리막여부(grade_dn)'로 설정하였다. 커브 500m 미만, 커브 500m 이상, 직선으로 나타난 평면선형은 '커브여부(curve)'로 변수화하였다. 본선일반구간, 터널, 교량 등의 '사고위치(location)' 변수는 교량 또는 터널을 1로, 본선 일반구간을 0으로 설정하였다. 차량특성의 '차종(non_auto)'은 승합차 또는 화물차의 중차량을 1로, 승용차를 0으로 설정하였다.

교통특성에서는 사고발생 위치 및 시간을 고려하여 사고발생 15분전 평균속도, 상류부 및 하류부 검지기의 사고발생 15분전 평균속도차, 속도의 변동계수, 제한속도 초과값 등을 이용하여 속도변수를 설정하였다. '상류

부15분전속도(up_sp15b)'는 사고위치의 최근접 상류부 검지기의 사고발생 15분전 평균속도(15분 단위)를 설정한 변수로, 변수에서 up은 상류부, sp는 속도(speed)의 약자이며 15는 15분전을 의미하고 b는 이전(before)의 약자로 사용하였다.

'상하류부속도차(df_sp15b)'는 상류부15분전속도와 하류부15분전속도 차이를 산출하여 설정한 변수이다. '속도의변동계수(sp_cv)'는 사고위치와 최근접한 상·하류부의 사고발생 15분/30분/45분/60분전 속도들, 즉 이들 8개 속도에 대한 변동계수(Coefficient of Variation)를 산출하여 설정한 변수이다.

'교통량-용량비(v/c ratio)'는 사고자료에서 사고위치에 해당하는 구간의 용량, 차로수, 중차량비율 등을 조사하고, 검지기자료의 교통량을 이용하여 산출하여 설정한

변수이다.

‘제한속도초과값(up_speeding)’은 ‘상류부15분전속도’가 기상조건을 반영한 제한속도를 초과한 값을 산출하여 설정한 변수이다. 먼저 도로교통법 시행규칙 제19조에 따라 해당 구간의 기상별 제한속도를 산출하였다. 도로교통법 시행규칙에서는 비가 내려 노면이 젖어있는 경우와 눈이 20밀리미터 미만 쌓인 경우에는 최고속도의 20%를 줄인 속도로 운행하며, 폭우·폭설·안개 등으로 가시거리가 100미터 이내인 경우, 노면이 얼어붙은 경우, 눈이 20밀리미터 이상 쌓인 경우에는 최고속도의 50%를 줄인 속도로 운행하도록 제시하고 있다. 따라서 기상대에서 측정된 강수량이 해당 도로구간에도 동일하게 적용되었다는 가정하에 무강수인 경우 해당 구간의 제한속도를 그대로 적용하고, 강수량이 20밀리미터 이하인 경우 제한속도의 80% 수준으로, 20밀리미터 이상인 경우 50% 수준으로 적용하였다. 예를 들어 제한속도가 100kph이고, 상류부15분전속도가 110kph일 경우 초과값이 10kph이므로 10으로 설정된다. 제한속도를 초과하지 않은 경우는 0으로 설정하였다.

통상적으로 통계기법을 이용한 모형 개발시 독립변수 간 상관성이 높은 변수를 같이 투입할 경우 다중공선성 문제가 발생할 우려가 있다. 다중공선성이란 두 변수가 서로 선형적인 관계에 있으며 강한 관련성을 보일 때 분산이 비정상적으로 커지는 현상을 말한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 다중공선성 문제를 예방하기 위하여 독립변수 간 상관관계를 분석하여 상관계수가 0.7 이상으로 높게 나타나는 변수들은 분석에서 제외하였다. 상관 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서 최종적으로 사용한 독립변수에 대한 기술통계를 <Table 4>에 제시하였다. 독립변수 중 명목형 변수에 대해서는 종속변수인 사고심각도의 집단별 케이스 수를 제시하였으며, 연속형 변수의 경우 사고심각도 집단별 평균값을 제시하였다.

4. 기상별 교통특성 분석

본 연구에서는 사고발생시 기상조건에 영향을 고려한 사고심각도 영향요인을 도출하기 위하여 <Table 5~7>과 같이 기상별 교통특성에 대한 분산분석을 수행하였

<Table 4> Data Description

Variables			Normal condition			Adverse condition			Total	
			A	B	C	A	B	C		
Dependent variable	injury severity		12	96	515	2	34	265	924	
Independent variables	Nominal variable	day_night	1	9	60	234	1	12	77	393
			0	3	36	281	1	22	188	531
		week	1	10	78	367	2	24	198	679
			0	2	18	148	0	10	67	245
		gender	1	12	88	443	1	33	242	819
			0	0	8	72	1	1	23	105
		non_auto	1	10	65	226	1	19	118	439
			0	2	31	289	1	15	147	485
		grade_up	1	6	37	180	0	9	86	318
			0	6	59	335	2	25	179	606
	grade_dn	1	4	37	216	2	22	111	392	
		0	8	59	299	0	12	154	532	
	curve	1	5	34	232	2	19	128	420	
		0	7	62	283	0	15	137	504	
	location	1	1	3	24	0	4	4	36	
		0	11	93	491	2	30	261	888	
	Continuous variable	age		41.67	43.96	40.32	40.00	40.59	42.51	-
		up_sp15b		97.83	93.00	92.85	88.00	84.29	84.61	-
		up_speeding		1.67	0.70	0.87	4.00	8.53	8.66	-
		df_sp15b		4.75	7.38	8.48	9.50	9.24	8.66	-
sp_cv		0.05	0.05	0.07	0.07	0.11	0.08	-		
v/c ratio		0.24	0.20	0.24	0.16	0.23	0.21	-		

다. 분석 데이터는 본 연구에서 구축한 데이터 베이스를 이용하였다.

기상에 따른 속도, 속도의 표준편차, 교통량-용량비를 분산분석을 이용하여 분석한 결과, 모두 유의확률이 0.05 이하로 나타나 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타난다. 이는 기상상태에 따른 속도, 속도의 표준편차, 교통량-용량비가 통계적으로 유의한 차이가 있음을 의미한다.

사후분석 결과표를 살펴보면 정상기후, 비, 눈으로 갈수록 속도(92→87→69kph) 및 교통량-용량비(8.3→6.3→5.9)는 감소하였으며, 속도의 표준편차(0.17→0.21→0.23)는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 속도의 경우 기상 그룹별로 잘 분류되었으며, 속도의 표준편차, 교통량-용량비는 정상기후, 비 그룹이 눈 그룹과 잘 분류되어 기상상태에 따라 각 그룹이 통계적인 차이가 있다는 결과를 보였다. 이는 도로내 기상상태의 영향으로 인하여 차량의 평균속도와 교통량-용량비는 감소하고, 차량간 속도분산은 증가한다는 기존 연구결과

와 일맥한다.

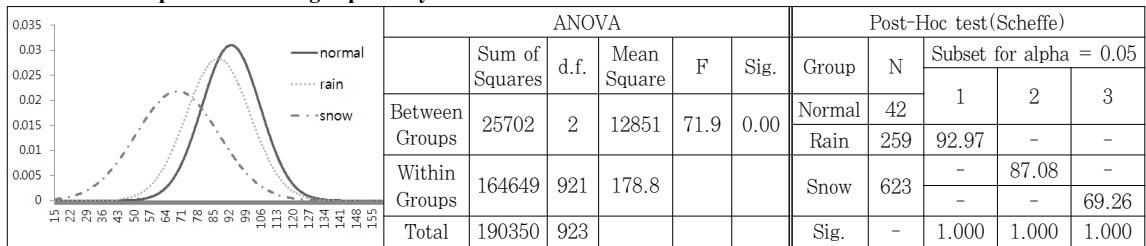
따라서 본 연구에서는 기상조건에 따라 교통특성이 달라진다는 결과를 활용하여 정상기후 및 이상기후시 교통사고 심각도에 영향을 미치는 도로기하구조 및 교통상황관련 요인을 각각 도출하여 비교분석하였다.

IV. 분석 결과

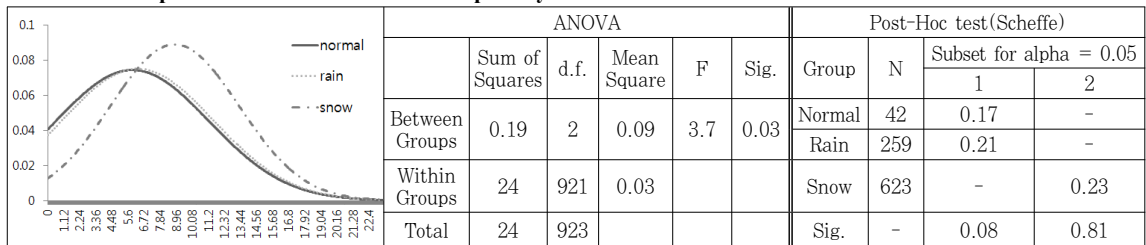
본 연구에서는 통계적 분석기법을 통한 교통사고 심각도 영향요인을 도출하여 고속도로 가변제한속도 우선 운영기간을 제시하고자 순서형 프로빗 모형을 이용한 분석을 수행하였다. 기상별 교통특성 분석에서 도출된 기상조건에 따라 교통특성이 달라진다는 결과를 활용하여 정상기후 및 이상기후에 대한 모형을 각각 수립하고 모형의 적합도 및 통계적으로 유의한 변수들을 비교분석하였으며, 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다.

분석결과는 <Table 8>과 같다. 정상기후시 심각도 영

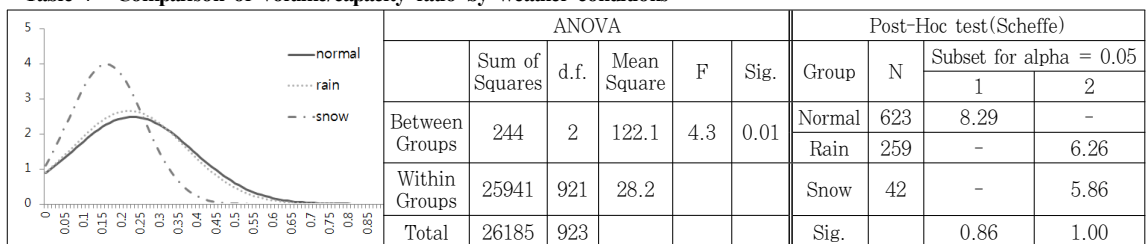
<Table 5> Comparison of average speeds by weather conditions



<Table 6> Comparison of standard deviation of speed by weather conditions



<Table 7> Comparison of volume/capacity ratio by weather conditions



향요인 분석에서 통계적으로 유의하게 도출된 변수는 '주야(day_night)', '차종(non_auto)', '속도의 변동계수(sp_cv)'변수로 나타났다. '주야(day_night)' 및 '차종(non_auto)'변수의 경우 계수가 양수로 나타나 야간에 사고발생시 주간보다 사고심각도가 증가하였으며 차종이 승합차 또는 화물차인 경우 승용차보다 사고심각도가 증가하는 것으로 나타났다.

이상기후시 심각도 영향요인 분석에서는 '차종(non_auto)', '내리막여부(grade_dn)', '사고위치(location)', '상류부15분전속도(up_sp15b)', '속도의 변동계수(sp_cv)'가 교통사고 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 변수로 도출되었다.

'차종(non_auto)', '내리막여부(grade_dn)', '사고위치(location)' 변수의 계수가 양수로 나타나 승합차 또는 화물차일 때, 기하구조가 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 경우 사고심각도가 증가하는 것으로 나타났다. '상류부15분전속도(up_sp15b)', '속도의 변동계수(sp_cv)'변수 또한 변수의 계수가 양수로 나타나 속도가 증가할수록, 속도의 변동계수가 증가할수록 사고심각도가 증가하는 것으로 나타났다.

통계적으로 유의하게 도출된 독립변수들에 대하여 종속변수의 확률적 증가에 미치는 정도를 분석하기 위하여

한계효과와 탄력성을 조사하여 <Table 9>에 제시하였다. 검토 결과를 살펴보면 정상기후 모형에서는 야간일 때 주간보다 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률이 각각 2배, 1.01배 증가하는 것으로 나타났다. 차종이 승합차 및 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률은 각각 3배, 1.3배 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 변동계수가 증가할수록 심각도 A사고와 B사고가 일어날 확률은 감소하였지만, 심각도 C사고가 발생할 확률은 4.8% 증가하는 것으로 나타났다.

이상기후 모형에서는 차종이 승합차 또는 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률은 각각 3배, 1.2배 증가하였다. 기하구조가 내리막일 때 심각도 A사고 및 B사고의 발생확률이 각각 25배, 5배 증가하였다. 사고위치가 교량 또는 터널일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률이 각각 48배, 6배 증가하는 것으로 나타났다. 속도가 증가할수록 심각도 A사고 및 B사고의 발생확률은 0.01%, 0.3%가 증가하였다. 속도의 변동계수가 증가할 때 심각도 A사고 발생확률은 약 4% 증가하며 심각도 B사고는 약 95% 증가하였다.

한계효과 및 탄력도 검토결과를 종합해보면, 정상기후에서는 야간시, 차종이 승합차일 경우 심각한 사고의 발생확률이 증가하였다. 속도의 변동계수가 증가할수록

<Table 8> Factors affecting injury severity by weather conditions

	Normal weather condition				Adverse weather condition			
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	Coef.	Std. Err.	t	P> t
day_night	0.4619	0.1436	3.22	0.001	0.2776	0.2288	1.21	0.225
weekend	0.2331	0.1538	1.52	0.130	0.0616	0.2414	0.26	0.798
gender	0.0993	0.2240	0.44	0.657	-0.0444	0.4102	-0.11	0.914
age	0.0053	0.0058	0.91	0.363	-0.0110	0.0097	-1.12	0.261
non_auto	0.5593	0.1444	3.87	0.000	0.4327	0.2336	1.85	0.064
grade_up	0.2058	0.1676	1.23	0.219	0.5015	0.3710	1.35	0.176
grade_dn	0.0637	0.1677	0.38	0.704	1.0118	0.3445	2.94	0.003
curve	-0.1728	0.1279	-1.35	0.176	0.2528	0.2121	1.19	0.233
location	-0.0310	0.3070	-0.10	0.920	1.4084	0.4684	3.01	0.003
up_sp15b	0.0094	0.0070	1.36	0.175	0.0204	0.0103	1.97	0.048
up_speeding	0.0027	0.0265	0.10	0.918	-0.0100	0.0143	-0.70	0.482
df_sp15b	0.0149	0.0108	1.39	0.166	-0.0217	0.0133	-1.63	0.103
sp_cv	-3.7566	1.8940	-1.98	0.047	6.3559	2.1167	3.00	0.003
v/c ratio	-0.2068	0.4633	-0.45	0.655	0.1285	0.7161	0.18	0.858
cut1	2.7461				3.9726			
cut2	3.9781				5.5026			
Log likelihood	-298.1499				-100.397			
Number of observation	623				301			
LR chi ² (14)	53.66				35.06			
Pseudo R ²	0.0826				0.1487			

심각한 사고 발생확률이 감소하였지만, 경미한 사고는 증가하였다. 이상기후에서는 차종이 중차량일 때, 기하 구조가 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때, 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고의 발생확률이 증가하였다.

식(6)의 우도비 검정(Likelihood ratio test)은 전체 모형에서 데이터를 구분하여 도출한 두 모형이 서로 통계적인 차이가 있는지를 검증하는 방법이다. 본 연구에서는 정상기후 및 이상기후 모형의 통계적인 차이를 검증하기 위하여 전체 데이터 베이스를 이용하여 도출한 전체모형과, 정상기후 및 이상기후 모형의 로그 우도를 비교한 D값을 산출하였다. 전체 모형의 로그 우도는 기상조건에 관계없이 924개의 케이스를 모두 이용하여 도출한 모형의 로그 우도를 말한다. 우도비 검정의 D값이 자유도 14일 때의 χ^2 값인 23.7 보다 큰 41.06으로 나타났다으므로 정상기후 모형과 이상기후 모형은 서로 통계적인 차이가 있다는 결과가 도출되었다.

교통사고 발생시 사고 심각도 증가에 통계적으로 유의한 영향을 미치므로 속도 관리 등의 교통류 관리전략이 반드시 필요한 요인은 이상기후시 승합차 또는 화물차 비율이 높은 구간, 내리막 구간, 교량 및 터널, 차량의 평균속도가 높은 구간, 속도의 변동계수가 큰 구간으로 나타났다. 정상기후일 경우에도 야간시, 승합차 또는 화물차 비율이 높은 구간에서는 사고발생시 심각도가 높

게 나타나므로 속도관리전략의 필요성이 대두되었다.

이 중에서도 교량 및 터널은 사고심각도 발생확률 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 교통안전상 최우선적으로 속도관리전략의 적용이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 교량 및 터널이 포함된 고속도로 구간에 가변제한속도를 우선적용한다면 다른 요인보다 교통안전상 가장 큰 효과를 얻을 수 있다. 다음으로는 심각도 증가 영향에 따라 내리막, 승합차 또는 화물차 비율이 높은 구간, 야간시, 속도의 변동계수가 큰 구간, 차량의 평균속도가 높은 구간 순으로 가변제한속도 운영구간 우선순위를 적용할 수 있다.

V. 결론 및 향후연구 과제

본 연구에서는 효과적인 속도관리전략 중 하나인 가변제한속도를 국내 고속도로에 도입시 운영지점 우선순위 결정에 대한 방법론을 제시하고자 통계적 기법을 이용하여 교통사고 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 독립변수를 도출하고, 각 변수별 심각도 증가 영향의 정도를 분석하였다.

기상자료, 속도 및 교통량자료, 교통사고자료를 이용한 통합 데이터 베이스를 구축하였다. 도로, 교통, 차량, 인적특성에 대한 독립변수를 설정하고 기상별 순서형 프로빗 모형을 수립하였으며 각 모형에서 유의하게 도출된

<Table 9> Marginal effects and Pseudo elasticity of models

Normal weather condition	Pseudo elasticity			Marginal effects		
	A	B	C	A	B	C
day_night	2.4193	1.0094	-0.1279	-	-	-
non_auto	3.4153	1.3203	-0.1509	-	-	-
sp_cv	-	-	-	-0.0061	-0.0415	0.0476
Adverse weather condition	Pseudo elasticity			Marginal effects		
	A	B	C	A	B	C
non_auto	3.0682	1.2234	-0.0890	-	-	-
grade_dn	25.7846	5.5087	-0.1968	-	-	-
location	48.6574	6.1140	-0.4564	-	-	-
up_sp15b	-	-	-	0.0001	0.0031	-0.0032
sp_cv	-	-	-	0.0377	0.9532	-0.9910

<Likelihood ratio test>

$$D = -2(LL_{(T)} - LL_{(a)} - LL_{(b)}) \tag{6}$$

$$D = -2(-419.0775 + 298.1499 + 100.397)$$

$$= 41.06 > 23.7$$

$LL_{(T)}$: 전체 모형의 로그 우도

$LL_{(a)}$: 정상기후 모형의 로그 우도

$LL_{(b)}$: 이상기후 모형의 로그 우도

변수를 비교분석하였다. 또한 한계효과와 탄력성을 조사하여 교통안전 측면에서 각 영향요인별 중요도를 평가하였다.

기상별 순서형 프로빗 모형을 도출하여 사고 심각도 영향요인을 분석한 결과 정상기후시에는 야간시, 차종이 중차량일 때, 속도의 변동계수가 작을수록 사고심각도가 증가하는 결과가 도출되었다. 야간시 주간보다 심각한 사고 발생확률이 큰 것으로 나타난 것은 주변 조도감소로 인한 운전자 시인성 저하 및 졸음운전으로 인한 것으로 판단된다. 따라서 야간에 사고빈도가 잦은 구간에는 속도관리의 필요성을 확인하였다.

승합차 또는 화물차의 경우 충돌시 차량 무게로 인한 운동에너지가 승용차에 비해 크게 발생하므로 사고심각도 증가 요인을 도출된 것으로 판단된다. 운동에너지는 물체의 속도의 제곱 및 질량에 비례하므로 승합차 또는 화물차 비율이 높은 구간에는 속도관리전략을 적용하여 사고발생시 심각도를 감소시킬 수 있다.

속도의 변동계수는 변수가 감소할수록 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 속도의 변동계수가 클수록 사고 심각도가 증가하는 것으로 알려져 있으나 정상기후 모형에서는 반대의 결과가 도출되었다. 속도의 변동계수는 속도의 표준편차를 속도의 평균으로 나눈 값으로, 분모인 속도의 표준편차가 작을수록, 분자인 속도의 평균이 클수록 그 값이 감소한다. 정상기후 모형에서 속도의 변동계수가 작을수록 사고심각도가 증가하는 결과는 데이터 베이스의 특성상 정상기후시 평균속도는 높은 반면 속도의 표준편차는 작은 경우가 많기 때문으로 판단된다. <Table 5>의 기상별 속도 비교 결과를 참고하면 정상기후시 사고발생시 15분전 상류부 평균속도는 강우 또는 강설시의 평균속도보다 평균 14.7kph 높은 92.8kph이며, <Table 6>의 정상기후시 속도의 표준편차는 강우 또는 강설시보다 평균 0.05 작은 0.17로 도출되었다. 본 연구에서 사용한 데이터 베이스의 경우, 정상기후시 차량의 속도 평균은 이상기후시보다 높고, 속도의 표준편차는 이상기후시보다 작은 특성을 갖는다.

정상기후와 달리 이상기후시 심각도 영향요인 분석에서는 내리막일 때, 교량 및 터널일 때, 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 사고심각도는 증가하는 것으로 나타났다.

이상기후발생으로 노면상태가 습윤 또는 결빙시 기하구조가 내리막일 경우 안전정지거리는 증가하게 되는데, 이때 운전자가 적절한 감속을 하지 못할 경우 사고발생

시 심각도는 증가하게 된다. 따라서 내리막 경사에서는 운전자의 원활한 감속을 유도하기 위한 속도관리전략이 필요하며, 노면마찰력 저하를 예방하기 위한 도로안전시설물의 추가적인 설치가 고려되어야 한다.

교량 및 터널에서 사고발생시 본선 일반구간보다 심각한 사고 발생확률이 매우 높게 나타난 것은 일반구간과 비교했을 때 상대적으로 구조물, 조명, 강풍 등으로 인한 시거제약이 발생하기 때문으로 판단된다. 그러므로 운전자에게 교량 및 터널에서 안전한 속도로 통과할 수 있는 속도관리전략이 필요하다.

속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고 발생확률이 증가하는 것으로 나타나, 차량의 속도 및 차량간 속도분산이 사고 심각도와 밀접한 관련이 있다는 기존 연구 결과를 확인하였다. 특히, 이상기후시 과속은 심각한 사고로 이어지고 차량간 속도분산이 클 경우 심각한 사고발생의 가능성이 높으므로 이상기후시 교통안전 증진을 위한 효과적인 속도관리 전략이 필요하다. 이상기후로 인한 시인성 및 노면상태가 급격히 저하되는 위험구간(내리막, 교량, 터널)에는 차량들의 평균속도를 안전속도로 유지하고 차량간 속도분산을 감소시키기 위한 강력한 속도단속 또는 가변제한속도운영 등의 대책이 필요하다.

가변제한속도 운영구간 우선순위는 사고 심각도 발생 확률 증가에 미치는 영향의 정도에 따라 교통안전상 가변제한속도 적용 효과가 높을 것으로 판단되는 순으로 도출하였다. 교량 및 터널구간, 내리막 구간, 승합차 또는 화물차의 비율이 높은 구간, 야간시, 이상기후시 차량의 평균속도가 높은 구간, 차량간 속도분산이 높게 나타나는 구간 순으로 도출되었다.

본 연구에서는 가변제한속도의 국내 도입시 우선 운영구간과 관련된 분석결과만을 제시하였으나 향후 가변제한속도 시스템 구성요소인 VMS, 각종 센서 등의 설치 지점 및 설치간격, 가변제한속도 운영 알고리즘 등에 대한 연구가 필요하다. 또한 미시적 교통시뮬레이션을 이용하여 교통안전 및 운영효율성을 고려한 가변제한속도 적용에 따른 효과분석에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 통계적 기법을 이용한 분석을 통하여 교통류 관리전략 적용시 우선순위 결정 방법론을 제시하였다. 본 연구의 결과는 기상대응을 목적으로한 국내 가변제한속도 시스템 도입시 운영구간 우선순위 도출에 효과적으로 활용될 수 있다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제66회 학술발표회 (2012.2.18)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

1. Kang, K. W. and Lee, K. R.(2010), "Development of the Bicycle Level of Service Model from the User's Perspective", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.3, Korean Society of Transportation, pp.75-84.
2. Kang, S. L. and Lee, S. K.(2004), "Prioritization in the Site Selection for Installation of Medians", 2004 Korean Society of Civil Engineers(KSCE) Annual Convention, pp.2893-2898.
3. Lee, C. K., Oh, J. S. and Jo, Y. H.(2002), "Application of Fuzzy Integrals to the Decision of Construction Priority of Intelligent Traffic Systems in Rural Road", Journal of Korean Society Civil Engineering, Vol.22, No.3D, pp.471-481.
4. Jung, H. Y., Lee, H. W. and Kim, J. K.(2005), "A Study on the Ranking Decision for Construction of Up and Down Convenient Facility in Subway Stations", Journal of Korean Society Civil Engineering, Vol.25, No.3D, pp.423-428.
5. Jo, Y. T. and Jung, B. I.(2010), "Real-Time Variable Speed Limits for Urban Freeway", Journal of Computing Science and Engineering : Computing Practices and Letters, Vol.16, No.10, pp.962-974.
6. Choi, K. J., Sim, S. W., Lee, Y. Y. and Kim, I. S.(2009), "Selection of Expressway Ramp Metering Sites and Priority Making", Journal of Korean Society Civil Engineering, Vol.29, No.5D, pp.579-585.
7. Ha, O. K., Oh, J. T., Won, J. M. and Sung, N. M.(2005), "The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.23, No.4, Korean Society of Transportation, pp.47-55.
8. Expressway and Transportation Research Institute(2011), "A Study on strategy for variable speed limit(VSL) system in respond to unstable weather(I)", Research Report.
9. Hong, J. Y., Kim, K. T. and Lee, S. B. (2011), "Developing the Accident Injury Severity on a Field of Construction Work Using Ordered Probit Model", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.26, No.2, pp.89-98.
10. Abdel-Aty, M., J. Dilmore and A. Dhindsa(2006), "Evaluation of variable speed limits for real-time freeway safety improvement", Accident Analysis & Prevention, Vol.38, Issue 2, pp.335-345.
11. Allaby, P., B. Hellinga and M. Bullock (2007), "Variable Speed Limits: Safety and Operational Impacts of a Candidate", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.8, No.4, pp.671-680.
12. Christoforou Z., S. Cohen and M. G. Karlaftis(2010), "Vehicle occupant injury severity on highways: An empirical investigation Original Research Article", Accident Analysis & Prevention, Vol.42, Issue 6, pp.1606-1620.
13. Geistefeldt, J.(2011), "Capacity effects of variable speed limits on German freeways", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.16, pp.48-56.
14. Hegyi, A., B. D. Schutter and H. Hellendoorn(2005), "Model predictive control for optimal coordination of ramp metering and variable speed limits", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.13, Issue 3, pp.185-209.
15. Heydecker, B. G., J. D. Addison(2011), "Analysis and modelling of traffic flow under variable speed limits", Transportation Research

