

도로교통 여건과 제한속도 변화에 따른 교통소통과 안전에 관한 영향 분석 연구

A Study on the Impacts of Changes in Road Traffic Conditions and Speed Limits on Traffic Flow and Safety

문 남 식* · 신 언 교** · 김 주 현***

* 주저자 : 안양대학교 도시정보공학과 박사과정
** 공저자 : 안양대학교 도시정보공학과 겸임교수
*** 교신저자 : 안양대학교 도시정보공학과 정교수

Nam sik Moon* · Eon kyo Shin** · Ju hyun Kim***

* PhD Student, Dept. of Urban Information Eng., Anyang Univ.
** Adjunct Professor, Dept. of Urban Information Eng., Anyang Univ.
*** Professor, Dept. of Urban Information Eng., Anyang Univ.

† Corresponding author : Ju hyun Kim, jhkim@anyang.ac.kr

Vol. 23 No.2(2024)
April, 2024
pp.32~49

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.2.32>

Received 1 February 2024
Revised 19 February 2024
Accepted 18 March 2024

© 2024. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 논문에서는 도로교통 여건과 제한속도 변화가 교통소통과 안전에 미치는 영향을 분석하였다. 교통소통지표로 통행속도와 순행속도, 「순행속도-통행속도」, 편차, 대편차비율, 상충횟수 등을 안전지표로 설정하고 도로교통 여건과 제한속도 변화가 이들에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과에 의하면 제한속도는 소통지표에는 크게 영향을 주지만 안전지표에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 통계적 유의성 검정 결과 제한속도가 증가함에 따라 소통지표는 증가한다는 것이 유의하다고 입증되었다. 그러나 안전지표들은 증가하는 경우가 많지만 통계적으로는 유의성이 입증되지 않았다. 그러므로 다양한 도로여건과 교통량 변화에 따른 교통흐름 상태를 현실적으로 고려해서 제한속도가 설정되고 운영된다면 운전자들이 주행하는 속도에 부합되고 교통소통과 안전이 향상된다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 교통소통지표와 안전지표들을 고려하여 제한속도를 산정하고 교통량 변화에 따라 제한속도를 운영할 경우 도로상의 교통 흐름을 안정화시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

핵심어 : 제한속도, 주행속도, 통행속도, 속도편차, 상충횟수

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the impacts of road traffic conditions and speed limit changes on traffic flow and safety. Travel speed and moving speed were set as traffic flow indicators and 'moving speed-travel speed', speed deviation, large speed deviation ratio, and number of conflicts were set as safety indicators, and the impacts of changes in road traffic conditions and speed limits on these were analyzed. According to the analysis results, the speed limit had a significant impacts on the traffic indicators, but did not significantly affect the safety indicators. As a result of the statistical validity test, it was proven that the traffic flow index increases as the speed limit increases. However, although safety indicators often increase, their validity has not been proven statistically. Therefore, if the speed limit is set and operated by properly considering the traffic flow status according to

various road conditions and changes in traffic volume, it can be said to match the speed at which drivers drive and improve traffic flow and safety. Therefore, it is expected that calculating the speed limit considering the traffic flow indicators and safety indicators presented in this paper and operating the speed limit according to changes in traffic volume will contribute to stabilizing the traffic flow on the road.

Key words : Speed limit, Moving speed, Travel speed, Speed deviation, Number of conflicts

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

복잡한 도시부 도로망에서 많은 차량 통행이 원활히 이루어지기 위해서는 이동성과 접근성으로 구분되는 연결 도로들의 기능이 교통소통과 안전을 위하여 조화롭게 제공되고 적절하게 운영되어야 한다. 제한속도는 도로운영의 한 요소로 도로를 이용하는 차량들의 주행속도에 영향을 주게 된다. 그리고 주행속도는 속도편차와 함께 교통사고와 밀접한 관계가 있다. 이러한 주행속도는 제한속도가 동일하더라도 교차로 간격 및 차로수 등 다양한 도로 기하구조 조건과 교차로 신호운영조건에 따라 달라지고 교통량 변화에 따라 달라진다. 따라서 이러한 다양한 도로 및 교통조건들을 고려하여 도로의 기능 유지에 부합되도록 제한속도가 설정되고 운영되어야 한다.

교통안전과 관련된 기존 연구 결과들에 의하면 교통사고는 주행속도가 낮고 속도 편차가 작을 때 줄어든다. 속도 감소를 통한 교통사고를 줄이기 위해서 우리나라도 5030정책 시행으로 교통사고를 줄이는 긍정적인 효과는 부각되고 있지만 이동성이 강조되는 간선도로에서 교통량 변화에 따른 교통소통 특성을 충분히 고려하지 못해 많은 문제점들이 제기되고 있는 실정이다. 이에 따라 도로교통 여건을 종합적으로 고려하고 운전자의 편의와 환경을 고려하여 보행자 통행이 불가능한 도로와 같이 속도제한이 불필요한 경우 60km로 상향 조정하는 등 5030정책에 대한 보완도 이루어지고 있다.

따라서 본 논문에서는 차량 소통 및 안전상에 영향을 주는 다양한 제한속도와 도로 및 교통여건 변동에 따른 상황을 고려한 시나리오를 상세하게 분석하여 교통소통 및 안전 관련 주요 지표를 설정하고 이들에 미치는 영향을 분석한다. 이러한 분석 결과를 토대로 제한속도 운영 시 교통소통과 안전을 고려하면서 운전자들의 요구조건에도 부응하는 효율적인 도로 운영에 기여가 예상된다.

2. 기존 연구 고찰

KOTI(2017)에 의하면 도로의 제한속도가 낮을수록 사고 건수가 감소하는 것으로 나타났고 도시부 도로에서는 통행속도가 제한속도의 영향에 비해 교통신호로 인한 대기 및 지체의 영향을 더 크게 받기 때문에 제한속도 하향이 실제 통행속도 감소에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으나 교통사고 절감 편익과 통행시간 비용을 분석하여 제한속도 하향은 종합적인 사회적 편익 측면에서 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다.

Garber and Gadiraju(1989)는 지방부 2차로 도로와 고속도로, 도시부 고속도로 등 여러 종류의 도로의 자료를 종합하여 속도 분산과 교통사고와의 관계를 제시하였는데 교통사고는 속도 분산이 증가함에 따라 증가되고 제한속도가 설계속도보다 5~10mph(16km/h)정도 낮을 경우 속도 편차가 가장 적었으며, 이 범위 밖에서

는 제한속도와 설계속도 차이가 커질수록 편차가 커졌다고 하였다. 또 평균 속도가 증가함에 따라 반드시 사고가 증가하지 않으나 속도 분산의 증가에 따라서 사고율은 증가한다는 연구 결과를 발표하여 속도 자체가 사고를 증감시키는 요인이라기보다는 차량들의 속도분산 정도가 사고 발생률과 밀접한 관계가 있음을 재확인하였다.

Jin(2021)는 도시부 내 교통안전과 교통소통을 고려한 합리적인 속도제한기준 제시를 위하여 도시부 도로를 일반구역과 보호구역으로 구분하고 일반구간과 보호구간의 속도제한을 판단하기 위하여 조정 전/후 사고비용과 지체비용을 산정하였으며, 제한속도 조정 전/후 사고비용과 지체비용 산정결과를 비교하여 제한속도를 판단하는 기준을 제시하였다.

Kang et al.(2017)은 도시부 도로에서 교통정보 빅데이터와 현장 특성자료를 활용하여 도로구간의 적정 제한속도 산정 모형을 개발하고 사고감소효과를 검토하였다. 2차로이상 도로에 대한 법정 최고 제한속도를 기준으로 실제 도로변 변수들이 속도에 미치는 영향을 조정계수 형태로 반영하여 제한속도를 산정하는 방식으로 운영속도에 영향을 미치는 선택 변수는 도로의 기능, 중앙분리대 유무, 차로폭, 도로변 진출입로(구) 수, 교통단절 수로 결정하였다.

Lim and Choi(2018)은 도시부 간선도로로 제한속도 하향 전후 차량 주행속도 변화를 조사하여 대부분의 구간에서 평균 주행속도의 변화가 통계적으로 유의하여 제한속도 하향의 효과가 있는 것으로 나타났고 제한속도 준수율도 증가하여 전반적으로 교통안전이 개선된 것으로 평가하였다. 그러나 간선도로로 제한속도 하향은 사망사고를 감소시키는 측면에서는 긍정적인 효과를 보이고는 있으나, 일부 구간에서는 사고가 증가한 것으로 나타나 보다 세부적인 분석이 향후에는 필요하다고 하였다.

상기 연구들은 특정 대상 도로를 대상으로 현장여건을 토대로 분석한 연구로 다양한 도로 및 교통조건과 교통량 변화에 따른 영향을 고려하지 못하고 있다.

Shin and Kim(2022)은 제한속도 변화가 주행속도, 통행속도에 미치는 영향을 분석하고 그 결과를 활용하여 제한속도와 서로 상반관계에 있는 소통과 안전을 조화롭게 고려할 수 있는 제한속도 산정방안과 교통량 변화에 따라 상향된 제한속도의 서비스수준이 상향 전 제한속도의 서비스수준을 만족하는 평균 통행속도를 제한속도 변경에 따른 속도개선 최소 증가 치로 적용하고 순행속도와 통행속도 차이가 20kph 이하가 되도록 하는 기준을 안전 효과적으로도 적용하는 2단계 가변적 제한속도 운영방안을 제시하였다. 그러나 제한속도 변화에 따른 순행속도와 통행속도 등 속도측면만을 고려하고 안전측면에서 도입한 순행속도와 통행속도 차이를 통계적으로 유의한지 등에 대한 평가 없이 안전 효과적으로도 사용하고 속도 편차, 상충횟수 등 교통안전과 관련된 변수들을 고려하지 못하고 있다.

2021년부터 시행하고 있는 5030정책은 공학적인 판단에 의해 제한속도를 설정한 후 정책적 판단 과정을 거쳐 제한속도가 확정된다. 공학적 판단요소로는 편도 차로수, 교차로 간격 등 다양한 교통시설과 85백분위 속도 등이 고려되지만 교통량과 간선도로로 주요 서비스수준 지표인 통행속도가 포함되어 있지 않고 교통량을 고려한 교통영향분석이 이루어지지 않고 있어 도시부 도로의 교통 흐름 상태를 제대로 반영하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 도시부 도로 교통류에 영향을 미치는 교통량, 교차로 간격, 제한속도 변화에 따른 다양한 시나리오를 작성하고 시뮬레이션을 수행하여 변수들 변화에 따른 교통사고와 연관성이 큰 순행속도와 통행속도 차이, 특히 속도 편차에 대해 상세히 분석한다. 그리고 대리안전척도모형(SSAM)을 활용하여 시뮬레이션으로 얻은 개별 차량 통행계척 데이터를 이용하여 시나리오별 상충횟수를 분석하고 교통량, 교차로간격, 속도 변화 등에 따른 사고 영향을 분석하여 그 활용방안을 제시하고자 한다.

II. 연구 범위 및 방법

본 논문에서는 다양한 시나리오에 대한 시뮬레이션을 통해 교차로 간격, 교통량, 제한속도 등이 도시부 간선도로 교통소통과 안전에 미치는 영향을 분석하여 교통소통과 안전을 고려할 수 있는 효율적인 도로계획 및 제한속도 등 도로운영을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 먼저 합리적인 시나리오 작성과 이들에 대한 적절한 분석이 이루어져야 한다. 그리고 이를 토대로 교통소통과 안전 관련 적절한 지표를 설정한다. 이를 위해 다양한 변수들에 대한 상관분석과 회귀분석을 통해 소통 및 안전과 상관관계가 크고 영향력이 큰 지표들을 설정한다. 마지막으로 제한속도 차이에 따른 지표들의 특성 분석과 통계적 검정을 수행하고 활용방안을 제시한다.

1. 시나리오 작성

도시부 간선도로의 교통 흐름을 파악하고자 본 논문에서는 제한속도, 교차로 간격, 교통량 변화에 따른 시나리오를 다음과 같이 설정하였다.

제한속도는 Korean National Police Agency(2022)의 도시부 제한속도 설정 규정인 “일반도로 50km/h 이내와 필요한 경우 지방경찰청장이 필요하다고 인정한 경우 60km/h 이내”에 따라 제한속도에 대한 시나리오는 30km/h, 40km/h, 50km/h, 60km/h로 설정하였다. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2020)의 “단기지역 또는 작업지역 이론을 적용하여 제시된 제한속도 30km/h, 50km/h, 60km/h별 각각의 최소 운영길이 250m, 450m, 500m 규정”을 감안하여 도시부 간선도로의 교차로 간격 시나리오는 300m, 400m, 500m로 설정하였다. 교통량 시나리오는 안정적인 교통류 상태(서비스수준 B~D수준)가 유지되도록 하고 중차량 비율과 차로수 변화에 대한 영향을 줄이기 위해 차로당 승용차교통량(passenger cars per hour per lane, pcphpl)을 적용하여 400cphpl, 500cphpl, 600cphpl로 설정하였다. 교차로의 회전교통량은 간선도로의 경우 좌회전 10%, 우회전 10%, 직진 80%로 하고 간선도로에서 좌/우회전으로 빠져나가는 교통량만큼 교차 도로에서 좌/우회전으로 진입하도록 하여 간선도로 교통량이 모든 구간에서 동일하게 유지되도록 하였다. 차로수 시나리오는 능률차로로 운영되는 3차로(좌회전차로 1차로 포함)로 하고 차로폭은 3.1m로 하였다. 교차로와 교차로 사이에 횡단보도는 없고 버스정류장과 진출입로 등에 의한 노면마찰도 없는 것으로 간주하였다. 그리고 제한속도 변화에 따른 영향분석을 위한 시나리오는 30km/h와 40km/h, 40km/h와 50km/h, 50km/h와 60km/h로 구분한다.

2. 시나리오 분석

1) 통행속도 분석

앞에서 설정된 시나리오를 대상으로 신호교차로로 운영되는 도시부 도로의 교통상황을 잘 묘사해낼 수 있는 미시적 교통시뮬레이션 모형인 VISSIM 프로그램을 이용한다. 그리고 통행속도와 순행속도 산정 시 시종점부의 신호교차로의 영향을 반영하기 위해서 교차로 수는 3개로 하고, 신호영향을 받지 않는 구간에서의 지점속도인 순행속도 수집을 위한 지점속도 검지기는 시종점부 교차로 사이에 있는 두 개 링크에 방향별로 교차로 간격 300m, 400m, 500m별로 교차로 하류부 각각 100m, 150m, 200m 지점에 있는 가운데 차로인 2차로에 설치하였다. 통행속도 산정을 위한 통행시간 산정 구간은 방향별로 첫 번째 교차로 하류부 100m 지점에서 세 번째 교차로 하류부 60m 전후 구간에 설치하여 간격 300m, 400m, 500m별로 길이가 600m, 800m, 1000m가 되도록 하였다. 이는 교차로 3개로 구성된 도로에서 방향별로 신호등의 영향 없이 랜덤하게 도착하

는 시점부 교차로 진입 링크를 제외한 2개 교차로를 통과하는데 소요된 통행시간을 구하여 신호영향이 적절하게 반영되도록 하기 위해서 이다. 교차로 신호시간은 간선도로 연동신호체계로 TRANSYT-7F를 이용하여 최적화하였다. 제한속도별 속도분포는 과속단속카메라 운영 등을 고려하여 제한속도 10% 초과까지 포함되도록 30kph는 29kph~33kph(31kph까지 누적 98%), 40kph는 39kph~44kph(41.5kph까지 누적 98%), 50kph는 48kph~55kph(52kph까지 누적 98%), 60kph는 58kph~66kph(62kph까지 누적 98%)로 적용하였다. 데이터 수집 기간은 시물레이션 시작 후 초기화시간 600초를 적용하여 600초부터 1800초까지로 하였다. 시물레이션은 구축된 시나리오에 대해 난수(random number)를 사용하여 시물레이션을 수행하는 VISSIM이 가지고 있는 확률적 변동성(stochastic variability)을 고려하기 위해서 시나리오별로 시물레이션을 6회 수행하여 평균값을 그 시나리오의 결과로 산정한다.

2) 교통안전 분석

교통사고분석은 VISSIM에서 추출된 차량 경로 데이터(trajectory)를 분석하여 상충 횟수를 산정할 수 있는 대리안전척도(surrogate safety measure, SSAM)를 이용한다. SSAM을 통해 분석할 수 있는 대리안전척도로 TTC(Time to Collision), PET(Post Encroachment Time), DR(Deceleration Rate) 중 차량 간 상대 위치 및 상대속도를 기반으로 차량 간 상충 확률을 정량적으로 계산할 수 있는 TTC와 PET를 교통사고 척도로 삼아 TTC 1.5초 이하, PET 5초 이하인 경우를 상충으로 판단하여 분석을 실시하였다. 차량 간 상충유형은 rear end(차량간 충돌각도 < 30°), lane change(30° ≤ 차량간 충돌각도 ≤ 85°), crossing(차량간 충돌각도 > 85°)의 3가지로 구분하여 각 상충형태 별 상충발생횟수를 계산한다. Rear end 상충은 같은 방향성을 유지하는 상황에서 발생하는 추돌 상충이며, Lane change 상충은 차량들이 차로변경 상황에서 발생하는 상충이며, Crossing 상충은 주로 교차로에서 회전 교통류 간 발생하는 상충을 의미한다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 시나리오에 대한 VISSIM 시물레이션으로부터 추출된 차량궤적데이터를 기반으로 SSAM을 활용하여 3가지 유형별 상충발생횟수를 구하고 이들을 합한 상충횟수를 교통사고 대리안전척도로 활용하여 제한속도, 교통량, 교차로 간격 변화에 따른 교통사고 여부를 분석한다.

그리고 기존 연구들에 의하면 차량 속도가 평균 주행속도와 가까울 때 사고율이 가장 적고 평균속도보다 크거나 낮아져도 사고율이 증가하는 것으로 나타남을 보여 주행속도 증가에 따라 반드시 교통사고가 증가한다고 할 수 없고, 교통사고를 감소시키기 위해서는 속도의 편차를 감소시킬 수 있는 제한속도를 설정해야 한다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 시물레이션으로부터 얻은 개별차량들의 주행속도에 의한 편차를 산정하고 주행속도가 교통류의 평균주행속도보다 10km/h 이상의 차이가 발생하는 경우 사고발생 가능성이 높다는 연구 결과들을 반영하여 편차가 10km/h 이상인 편차(대편차)를 구하여 대리안전척도인 상충횟수와 상관분석 및 회귀분석을 수행하여 교통사고에 미치는 영향을 분석한다. 회귀분석의 경우 절편이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 회귀분석을 수행하여 얻은 각각의 회귀식에 대한 표준오차, p값, t통계량 등을 고려하여 회귀식의 적합성이 확보되는 회귀식을 선정하였습니다.

III. 시물레이션 결과 분석

1. 교통소통과 안전 관련 지표 설정

간선도로의 서비스수준을 나타내는 효과척도는 평균통행속도를 사용하며, 간선도로 구간의 평균통행속도

는 순행시간과 교차로 접근지체 및 구간거리를 이용하여 구한다. 따라서 본 논문에서도 소통관련지표는 평균통행속도와 85백분위속도 등 제한속도 설정시에 활용되는 신호등으로 인한 가·감속지체와 정지지체의 영향을 받지 않으며 순행하는 속도인 평균순행속도를 사용한다. 안전지표 설정은 시물레이션 결과를 분석하여 다음과 같이 설정하였다.

본 논문에서는 교통량 외에 운전자들의 경로선택행위를 모형화 하여 최단경로 통행배정에 많이 사용되는 Volume Delay Function(VDF)으로 널리 사용되는 BPR 식($t(x) = t_0[1 + 0.15(x/c)^4]$)에 포함되는 교통량 함수 형태인 (교통량)⁴를 도입하여 교통소통과 안전에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 편차가 큰 경우는 교통사고 시 심각도에 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. 주행속도가 평균속도보다 10km/h 이상의 차이가 발생하는 경우 사고발생 가능성이 높다는 연구 결과들을 반영하여 편차가 10km/h 이상인 편차를 대편차로 명명하고 편차와 함께 그 영향을 분석하였다.

시물레이션을 수행하여 얻은 상충횟수 산정 결과를 토대로 변수간 상관 분석한 결과는 <Table 1>과 같다. 이 중에서 교통사고의 대리안전척도인 상충횟수와 상관관계가 큰 변수를 안전평가지표로 선정하였다. 상충횟수와 상관계수를 살펴보면 제한속도 0.46, 주행속도 0.382, 통행속도 0.07 순으로 단일 속도지표들과는 상관계수가 크지 않은 것으로 분석되었다. 그리고 교차로 간격과도 상관계수 0.05로 아주 작게 분석되었다. 그러나 주행속도와 통행속도의 차이인 ‘주행속도-통행속도’와는 상관계수가 0.6으로 상관관계가 크게 분석되었다. 교통량이 증가하여 교차로가 혼잡할수록 ‘순행속도-통행속도’는 커지게 됩니다. 그리고 교차로의 대기차량이 증가하게 되어 순행속도로 주행할 수 있는 구간은 짧아지게 되고 통행속도는 작아집니다. 이로 인하여 순행속도로 교차로에 접근하는 차량들이 짧은 구간에서 크게 감속해야 하는 등 교통류 흐름이 불안정하게 되어 교통안전에 영향을 주게 된다. 상관계수가 0.968로 유사한 특성을 갖는 속도 편차와 대편차비율과는 각각 0.596, 0.604로 교통량과 (교통량)⁴과는 각각 0.741, 0.765로 크게 분석되었는데 편차보다는 대편차 비율이 교통량보다는 (교통량)⁴가 상충횟수와 상관관계가 다소 크게 나타났다.

속도 편차와 대편차 비율은 상관계수가 각각 교통량과 0.652, 0.678 (교통량)⁴과 0.678, 0.709로 교통량 관련 지표와는 상관관계가 큰 것으로 나타났는데 교통량보다는 (교통량)⁴과 상관관계가 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 통행속도와 상관계수 각각 -0.352, -0.44 주행속도와 0.322, 0.241로 소통관련 지표와는 상관관계가 작은 것으로 나타났는데 순행속도보다는 통행속도와 상관관계가 큰 것으로 나타났다. 위와 같은 분석 결과를 토대로 본 논문에서는 상충횟수와 상관관계가 큰 교통량, (교통량)⁴, 편차, 대편차 비율, ‘순행속도-통행속도’를 교통안전 평가지표로 설정하였다.

<Table 1> Correlation analysis results

	conflict	m.spd	t.spd	m.spd-t.spd	speed dev	volume	speed limit	volume ⁴	interval	L.speed dev
conflict	1.000									
m.spd	0.382	1.000								
t.spd	0.070	0.869	1.000							
m.spd-t.spd	0.600	0.858	0.491	1.000						
speed dev	0.596	-0.025	-0.352	0.322	1.000					
volume	0.741	-0.096	-0.317	0.161	0.652	1.000				
speed limit	0.460	0.989	0.811	0.898	0.121	0.000	1.000			
volume ⁴	0.765	-0.099	-0.318	0.155	0.682	0.986	0.000	1.000		

	conflict	m.spd	t.spd	m.spd -t.spd	speed dev	volume	speed limit	volume ⁴	interval	L.speed dev
interval	0.052	0.090	0.323	-0.177	-0.504	0.000	0.000	0.000	1.000	
L.speed dev	0.604	-0.122	-0.440	0.241	0.968	0.678	0.016	0.709	-0.414	1.000

Note: note: m.spd = moving speed, t.spd = travel speed, speed dev = speed deviation, L.speed dev = large speed deviation

상관분석 결과인 <Table 1>과 시뮬레이션 결과를 이용하여 도로 교통조건 및 제한속도를 포함하여 위에서 선정된 지표들 간의 상호 영향을 분석하였다. 그리고 교통소통 측면의 주요변수인 통행속도와 순행속도, 교통안전상에 주요 지표인 ‘순행속도-통행속도’, 편차, 대편차, 상충횟수 들에 대한 변수들 영향력을 파악하기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 회귀모형식의 독립변수는 자료 취득의 용이성과 상관분석 결과를 토대로 종속변수와 상관성이 크고 독립변수들 간의 다중 공선성을 최소화하기 위해 상관성이 작은 변수들을 조합하여 최적 회귀식을 도출하였다.

2. 교통소통 지표 특성 분석

1) 평균통행속도 분석

시뮬레이션 결과 시나리오별 평균통행속도 산정 결과는 <Table 2>와 같다. 제한속도가 증가함에 따라 평균통행속도는 1군데를 제외한 모든 경우에서 증가하고 상관계수도 0.81로 상관관계가 큰 것으로 분석된다. 그리고 교차로 간격이 증가함에 따라 5군데를 제외하고 증가했고 교통량이 증가함에 따라서는 모두 감소하는 것으로 나타났지만 <Table 1>에서 상관계수는 교차로 간격과 0.32, 교통량과 -0.32로 상관관계는 크지 않은 것으로 분석된다.

<Table 2> Average travel speed by scenario

interval	300m			400m			500m		
L.spd \ Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		19.4	15.8	21.7	20.0	14.6	20.1	18.9	15.6
40kph	25.5	22.2	21.7	27.8	26.5	25.7	28.9	28.3	23.5
50kph	28.6	26.2	22.8	34.2	33.5	29.9	35.9	34.6	30.4
60kph	31.4	27.1	26.7	35.6	30.3	29.9	41.5	40.7	35.0

Note: note: L.spd = speed limit, Vol = Traffic volume

평균통행속도를 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도를 독립변수로 하여 회귀분석한 결과는 다음과 같다. 제한속도와 교차로 간격이 증가할수록 평균통행속도는 증가하지만 교통량이나 (교통량)⁴이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 평균통행속도는 구간 통행시간을 고려한 구간속도이기 때문에 (교통량)⁴이 교통량보다 효과적인 독립변수로 나타났다.

$$\text{평균통행속도} = 0.024 \times \text{간격} - 0.005 \times (\text{교통량}/100)^4 + 0.47 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{결정계수}(R^2) = 0.961, \text{ t stat} : \text{간격} = 6.748, (\text{교통량}/100)^4 = -5.226, \text{ 제한속도} = 15.302$$

$$\text{평균통행속도} = 0.032 \times \text{간격} - 0.019 \times \text{교통량} + 0.518 \times \text{제한속도} \quad (2)$$

결정계수 = 0.960, t stat : 간격 = 6.923, 교통량 = -4.593, 제한속도 = 14.176

2) 평균순행속도 분석

평균순행속도도 평균통행속도와 같은 경향으로 분석되었는데 제한속도가 증가함에 따라 순행속도도 모두 증가하고 상관계수는 0.99로 아주 크게 나타나 평균통행속도보다 크게 나타났지만 교차로 간격이 증가함에 따라 3군데를 제외한 모든 경우에 증가하고 교통량에 따라서는 1군데를 제외하고 증가하는 것으로 나타났지만 <Table 1>에서 상관계수는 교차로 간격 0.09, 교통량 -0.1로 통행속도보다도 상관관계가 아주 작게 나타났다.

<Table 3> Average moving speed by scenario

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		26.7	25.0	22.6	28.6	28.1	25.3	28.4	27.3	25.4
40kph		37.0	35.9	33.0	37.9	37.2	36.1	38.8	38.3	37.0
50kph		46.9	47.3	43.8	47.7	47.1	46.5	48.7	48.3	47.4
60kph		56.1	55.9	53.1	57.6	56.6	53.8	58.4	57.9	57.0

평균순행속도를 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도를 독립변수로 하여 회귀분석한 결과는 다음과 같다. 평균통행속도와 마찬가지로 제한속도와 교차로 간격이 증가할수록 평균순행속도는 증가하지만 교통량이나 (교통량)⁴가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 통행속도와는 달리 순행속도는 지점속도인 관계로 (교통량)⁴ 보다 교통량이 더 유의한 변수로 모형식에 포함되었다. 제한속도 계수 값은 순행속도 값이 통행속도 값보다 2배정도 큰 것으로 나타나 순행속도가 제한속도의 영향이 훨씬 크고 계수값이 0.9 이상으로 제한속도 증가분과 비슷하게 증가하는 것으로 분석되었다. 교차로 간격과 교통량 계수 값은 그 반대로 나타났는데 간격은 통행속도 값이 순행속도 값의 3~6배 수준으로 큰 차이를 보이고 교통량은 1.4~1.7배 큰 것으로 나타나 구간 통행시간으로 산정되는 통행속도에 미치는 영향이 순행속도보다 크게 분석되었다.

$$\text{평균통행속도} = 0.024 \times \text{간격} - 0.005 \times (\text{교통량})^4 + 0.47 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (1)$$

결정계수(R²) = 0.961, t stat : 간격 = 6.748, (교통량/100)⁴ = -5.226, 제한속도 = 15.302

$$\text{평균통행속도} = 0.032 \times \text{간격} - 0.019 \times \text{교통량} + 0.518 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (2)$$

결정계수 = 0.960, t stat : 간격 = 6.923, 교통량 = -4.593, 제한속도 = 14.176

$$\text{평균순행속도} = 0.004 \times \text{간격} - 0.003 \times (\text{교통량})^4 + 0.947 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (3)$$

결정계수(R²) = 0.9689, t stat : 간격 = 2.1, (교통량/100)⁴ = -6.705, 제한속도 = 63.315

$$\text{평균순행속도} = 0.011 \times \text{간격} - 0.014 \times \text{교통량} + 0.992 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (4)$$

결정계수 = 0.9693, t stat : 간격 = 7.803, 교통량 = -12.013, 제한속도 = 89.225

3. 안전지표 특성 분석

1) (순행속도-통행속도) 분석

평균순행속도와 평균통행속도 차이는 이들 두 속도와 마찬가지로 제한속도가 증가할수록 모두 증가하고 상관계수 0.9로 상관관계가 매우 크게 분석되었다. 그러나 교차로 간격이 증가할수록 8군데를 제외한 나머지에서 감소되고 교통량이 증가할수록 5군데를 제외하고 증가하여 상반되게 나타났지만 <Table 1>에서 상관계수는 각각 교차로 간격 -0.18, 교통량 0.16으로 작은 것으로 분석되었다.

<Table 4> Average moving speed - Average travel speed by scenario

interval	300m			400m			500m		
L.spd \ Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph	4.1	5.6	6.8	6.9	8.0	10.7	8.3	8.4	9.9
40kph	11.6	13.7	11.3	10.1	10.7	10.4	9.9	10.1	13.5
50kph	18.3	21.1	21.0	13.5	13.6	16.6	12.8	13.7	17.1
60kph	24.7	28.7	26.4	22.0	26.3	23.9	16.9	17.2	22.0

Note: note: L.spd = speed limit, Vol = Traffic volume

(순행속도-통행속도)를 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도를 독립변수로 하여 회귀분석 결과는 다음과 같다. ‘순행속도-통행속도’는 제한속도와 (교통량)⁴이 증가할수록 증가하지만 간격이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

$$\text{순행-평균통행속도} = -0.002 \times \text{간격} + 0.002 \times (\text{교통량}/100)^4 + 0.478 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{결정계수} = 0.94, \text{ t stat : 간격} = -5.7, (\text{교통량}/100)^4 = 1.949, \text{ 제한속도} = 15.5$$

2) 속도 편차 분석

평균순행속도 편차는 평균순행속도와는 다르게 교통량이 증가할수록 1군데를 제외하고 증가하고 상관계수가 0.65로 가장 크고 교차로 간격 증가에 따라서는 3개 시나리오를 제외하고 감소하고 <Table 1>에서 상관계수가 -0.5로 나타났다. 제한속도 증가에 따라서는 증가 17군데 감소 10군데로 증가가 많지만 상관계수 0.12로 상관관계가 아주 작게 분석되었다. 제한속도별로 살펴보면 30kph인 경우는 교통량, 교차로 간격 상관계수가 0.84 -0.31, 40kph는 0.66 -0.6, 50kph는 0.55 -0.57, 60kph는 0.63 -0.67로 나타나 40kph, 50kph, 60kph는 두 가지 상관계수가 비슷하게 분석되었으나 30kph는 교통량이 교차로 간격보다 상관계수가 훨씬 큰 것으로 나타났다. 편차와 ‘순행속도-통행속도’의 상관계수는 시나리오 전체에서는 0.32로 나타났다. 제한속도별로는 30kph에서 0.18, 40kph 0.27, 50kph 0.65, 60kph 0.66으로 제한속도가 클수록 상관관계가 크게 분석되었다.

<Table 5> Speed deviation by scenario

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		2.46	3.63	4.93	1.08	1.26	4.24	1.43	2.30	4.17
40kph		2.09	2.91	5.50	1.89	2.29	3.03	1.46	1.52	2.49
50kph		2.35	2.21	5.04	2.05	2.29	2.64	1.61	1.68	2.25
60kph		3.45	3.69	5.51	2.43	2.92	5.04	1.93	2.06	2.79

편차를 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도, 순행속도-통행속도'를 독립변수로 하여 회귀 분석한 결과는 다음과 같다. 교통량이 증가할수록 편차는 증가하지만 간격이 클수록 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 편차는 교차로 간격이 짧을수록 교통량이 많을수록 커지게 된다.

$$\text{편차} = -0.006 \times \text{간격} + 0.011 \times \text{교통량} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{결정계수} = 0.92, \text{ t stat : 간격} = -5.74, \text{ 교통량} = 11.666$$

3) 속도 대편차 분석

주행속도가 평균속도보다 대편차를 갖는 차량들의 비율은 <Table 6>과 같다. 대편차 비율은 교통량이 증가할수록 모두 증가한다. 교차로 간격 증가에 따라서는 3군데를 제외하고 감소하고 제한속도 증가에 따라서는 증가 17군데 감소 7군데가 증가하여 편차와 같게 나타났다. 특히 교통량이 600대인 경우는 크게 증가하는 것으로 나타났다. <Table 1>의 상관분석 결과에 의하면 상관계수가 0.97로 편차와 상관관계가 아주 크고 교통량과도 상관계수 0.68로 크게 분석되었다. 교차로 간격과는 상관계수 -0.41, '순행속도-통행속도'와는 상관계수 0.24로 크지 않고 제한속도와는 상관계수 0.02로 관련성이 적은 것으로 분석된다.

<Table 6> Proportion of traffic volume with moving speed deviation greater than 10kph(%)

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		1.83	4.71	8.61	0.04	0.50	9.11	0.13	2.55	8.63
40kph		1.34	3.06	10.43	0.86	1.60	3.13	0.19	0.50	2.96
50kph		1.53	1.72	8.90	1.10	1.52	2.21	0.48	0.57	1.93
60kph		3.43	5.09	12.72	1.57	2.82	8.34	0.91	1.26	2.78

대편차비율을 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도, 순행속도-통행속도'를 독립변수로 하여 회귀분석한 결과는 다음과 같다. 편차와 같이 교통량이 증가할수록 편차는 증가하지만 간격이 클수록 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 편차는 교차로 간격이 짧을수록 교통량이 많을수록 커지게 된다.

$$\text{대편차 비율} = -0.02 \times \text{간격} + 0.023 \times \text{교통량} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{결정계수} = 0.78, \text{ t stat : 간격} = -5.979, \text{ 교통량} = 8.375$$

4) 상충횟수 분석

시나리오별로 6개 seeds에 대한 개별 시뮬레이션 결과 얻은 상충횟수를 모두 더한 상충유형별 상충횟수는 <Table 7>과 같다. rear end 상충이 대부분을 차지하고 교차로에서 발생하는 crossing은 아주 적게 나타났고 교통량이 가장 많은 600대/차로에서 대부분 발생하는 것으로 나타났다.

<Table 7> Number of conflicts by conflict type

interval	speed limit	400 veh				500 veh				600 veh			
		Total	crossing	rear end	lane change	Total	crossing	rear end	lane change	Total	crossing	rear end	lane change
300	30	452	2	439	11	748	2	713	33	1020	12	941	67
	40	1034	1	989	44	1182	2	1138	42	1571	31	1453	87
	50	1194	0	1167	27	1173	6	1114	53	1931	40	1735	156
	60	1054	0	1014	40	1453	8	1352	93	2057	35	1784	238
400	30	560	11	536	13	905	18	863	24	1721	272	1327	122
	40	941	3	904	34	1181	4	1141	36	1552	8	1488	56
	50	1028	0	987	41	1242	6	1188	48	1618	4	1551	63
	60	1349	1	1307	41	1412	3	1359	50	1895	12	1786	97
500	30	1247	15	1207	25	970	18	885	67	1521	175	1239	107
	40	953	51	879	23	980	2	941	37	1552	5	1483	64
	50	1065	0	1039	26	1345	2	1319	24	1765	2	1694	69
	60	977	1	957	19	1329	3	1272	54	1727	9	1598	120

사고유형별 상관분석 결과를 보면 주로 링크구간에서 발생하는 차로변경, 후미추돌 및 전체상충과는 상관관계가 0.694이상으로 크지만 주로 교차로에서 발생하는 교차상충과는 0.4이하로 작은 것으로 분석된다. 사고 피해가 큰 교차상충과 상관계수가 큰 지표는 없는 것으로 나타났으며 대편차비율과 0.49로 가장 크게 나타나 편차가 클 경우 사고 위험이 커짐을 알 수 있다. 후미추돌과 차로변경은 교통량과 상관계수가 0.694, 0.685로 크지만 교차로간격과 제한속도와는 상관관계가 작은 것으로 나타났다. 안전지표와의 상관관계는 후미추돌은 '순행속도-통행속도', 편차, 대편차 비율 순으로 나타났고 차로변경은 대편차 비율, 편차, '순행속도-통행속도' 순으로 나타났다.

<Table 8> Correlation analysis results by conflict type

conflict type	Road traffic conditions			safety indicators			conflict type			
	volume	interval	speed limit	m. spd -t. spd	speed dev	L.speed dev	crossing	rearend	lane change	conflict
crossing	0.342	0.095	-0.337	-0.151	0.351	0.490	1.000			
rearend	0.694	0.070	0.541	0.641	0.517	0.495	0.123	1.000		
lane change	0.685	-0.194	0.259	0.470	0.759	0.827	0.400	0.694	1.000	
total conflict	0.741	0.052	0.460	0.600	0.596	0.604	0.296	0.981	0.788	1.000

m.spd = moving speed, t.spd = travel speed, speed dev = speed deviation, L.speed dev = large speed deviation

시나리오별로 6개 seeds별로 시뮬레이션 결과를 평균한 평균 상충횟수는 <Table 9>와 같다. 교통량 증가에 따라 2군데를 제외하고 나머지는 증가하고 제한속도 증가에 따라서 7군데에서 감소하고 나머지 증가하고, 간격 증가에 따라서는 감소와 증가가 각각 12군데로 갈게 나타났는데 상관계수가 각각 0.74, 0.46, 0.05 순으로 나타나 교통량과는 상관관계가 크지만 제한속도와는 약하고 교차로간격과는 상관관계 아주 약한 것으로 분석된다. 그리고 편차, 대편차, 순행-통행속도와 상관관계는 0.6으로 이들 값들이 증가하면 상충횟수도 증가하는 것으로 분석되었다. 제한속도별로는 30kph에서 (교통량 0.69 간격 0.52 편차 0.48 순행-통행 0.9), 40kph에서 (교통량 0.93 간격 -0.16 편차 0.75 순행-통행 0.42), 50kph에서 (교통량 0.92 간격 -0.06 편차 0.73 순행-통행 0.5), 60kph에서 (교통량 0.92 간격 -0.21 편차 0.77 순행-통행 0.43)으로 나타났다. 교통량 상관계수는 30kph 0.69에서 나머지 제한속도에서는 0.9이상으로 크게 증가하고 간격은 30kph에서 0.52로 증가하지만 나머지 제한속도에서는 음의 상관관계로 감소하는 경향이 있지만 상관계수가 아주 작게 나타났다. 편차와는 제한속도 30kph에서 작고 40,50,60kph 에서 크고 순행-통행속도는 30kph에서 크고 나머지는 작아 편차와 반대로 나타났다.

<Table 9> Average number of conflicts simulated by scenario

interval	300m			400m			500m		
L.spd \ Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph	75.3	124.7	170.0	93.3	150.8	286.8	207.8	161.7	253.5
40kph	172.3	197.0	261.8	156.8	196.8	258.7	158.8	163.3	258.7
50kph	199.0	195.5	321.8	171.3	207.0	269.7	177.5	224.2	294.2
60kph	175.7	242.2	342.8	224.8	235.3	315.8	162.8	221.5	287.8

Note: note: L.spd = speed limit, Vol = Traffic volume

상충횟수를 종속변수로 교차로간격, 교통량, (교통량)⁴, 제한속도, ‘순행속도-통행속도’, 편차를 독립변수로 하여 회귀분석한 결과는 다음과 같다. 모형식은 ‘순행속도-통행속도’와 (교통량)⁴이 포함된 식이 통계적으로 더 유의하지만 편차와 제한속도가 포함된 회귀식 등 두 개 모형식을 선정하였다. 상충횟수는 ‘순행속도-통행속도’, (교통량)⁴, 교통량, 편차, 제한속도가 클수록 증가하게 된다. 제한속도 계수값은 편차 계수값의 1/10에 해당되어 상충횟수는 편차의 크기에 크게 영향을 받는 것으로 분석된다. 그리고 식(1)과 식(3)의 통행속도와 순행속도 모형식의 계수 값보다도 각각 1/3, 1/7 수준으로 제한속도는 안전보다 소통에 큰 영향력이 있는 것으로 분석된다.

$$\text{상충횟수} = 70.586 + 4.745 \times (\text{순행속도-통행속도}) + 0.099 \times (\text{교통량})^4 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{결정계수} = 0.81, \text{ t stat} : Y\text{-절편} = 12.791, (\text{순행속도-통행속도}) = 6.653, (\text{교통량})^4 = 9.285$$

$$\text{상충횟수} = 13.734 \times \text{편차} + 0.226 \times \text{교통량} + 1.399 \times \text{제한속도} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{결정계수} = 0.940, \text{ t stat} : \text{편차} = 2.11, \text{ 교통량} = 3.82, \text{ 제한속도} = 2.91$$

IV. 제한속도 변화의 영향분석 및 통계적 검증

제한속도 차이에 따른 속도와 안전관련 주요 지표들에 대한 차이를 분석하고 그 차이가 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 분석하였다. 영향은 제한속도 차이를 10kph차이를 두어 40kph-30kph, 50kph-40kph, 60kph-50kph으로 구분하여 분석한다. 분석 결과 차이에 대한 통계적 검증은 샘플 수가 제한속도 차이별로 9개, 전체 27개로 적어서 t-검정을 수행하기 위해 필요한 정규성 및 등분산성 등을 만족시키기 어렵기 때문에 본 논문에서는 t-검정 대신 Wilcoxon signed rank test을 사용하여 검정 유의수준 95%(기각 영역 $Z > 1.96$, 유의수준 < 0.05)를 적용하여 수행하였다.

1. 속도에 대한 영향 분석 및 통계 검증

1) 평균통행속도

앞에서 제한속도가 커질수록 평균통행속도는 증가하는 것으로 분석되었다. 제한속도 차이별 평균통행속도 차이는 <Table 10>과 같다. 제한속도가 30kph에서 40kph, 40kph에서 50kph로 증가하는 경우는 모두 평균통행속도가 증가하는데 평균통행속도가 50kph에서 60kph로 증가할 때는 교차로간격 400m이고 교통량이 500대/차로 와 600대/차로인 경우 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 40kph-30kph, 50kph-40kph은 모든 샘플이 증가하여 통계적으로 유의하다. 그러나 60kph-50kph은 감소하는 경우도 있어 통계적 검증이 필요하다. 윌콕슨 검정 결과 z값 1.96(p값 0.05)으로 95% 신뢰수준에서 증가가 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

<Table 10> Difference in travel speed depending on speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		2.93	2.74	5.88	6.16	6.48	11.11	8.86	9.36	7.98
50-40		3.18	4.01	1.05	6.39	6.96	4.17	7.01	6.39	6.85
60-50		2.79	0.94	3.90	1.43	-3.17	-0.00	5.56	6.04	4.61

Note: The actual value of -0.00 is -0.00366, 40-30 = speed limit of 40kph- speed limit of 30kph

2) 평균순행속도

<Table 11>에서 평균순행속도는 제한속도가 커질수록 증가하여 모든 제한속도 차이별 평균통행속도 차이는 증가하였다. 그 차이도 두 가지 시나리오를 제외하면 9kph를 초과하여 제한속도 차이와 유사하게 증가하였다. 따라서 제한속도 차이별로 z값 2.67(p값 0.01)로 그 차이가 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

<Table 11> Difference in moving speed depending on speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		10.4	10.9	10.4	9.3	9.2	10.8	10.4	11.1	11.6
50-40		9.9	11.4	10.8	9.9	9.9	10.4	9.9	10.0	10.4
60-50		9.2	8.6	9.3	9.9	9.5	7.2	9.7	9.6	9.6

2. 안전지표에 대한 영향분석 및 통계 검정

1) 평균순행속도-평균통행속도

(순행속도-통행속도)는 40kph-30kph인 경우를 제외하면 제한속도가 커질수록 증가하여 모든 제한속도 차이별 ‘순행속도-통행속도’ 차이는 증가하였다. 따라서 제한속도 차이별 ‘순행속도-통행속도’ 차이가 모두 증가한 50kph-40kph와 60kph-50kph는 z값 2.67(p값 0.01)로 통계적으로 유의하며 제한속도 차이별 차이가 한 개 시나리오에서 감소한 40kph-30kph의 경우도 z값 2.55(p값 0.01)로 통계적으로 유의하다.

<Table 12> Difference between ‘cruising speed and passing speed’ by speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		7.5	8.1	4.5	3.1	2.7	-0.3	1.5	1.7	3.6
50-40		6.7	7.4	9.7	3.5	2.9	6.2	2.9	3.6	3.6
60-50		6.4	7.7	5.4	8.5	12.7	7.2	4.1	3.5	5.0

2) 속도 편차

순행속도 편차는 제한속도 차이에 따라 60kph-50kph의 경우는 모두 증가하나 나머지는 각각 5군데 감소 4군데 증가로 제한속도가 증가함에 따라 편차가 감소한다고 할 수 없다. 제한속도별로 통계검정 결과 60kph-50kph는 z값 2.67(p값 0.01)로 증가에 따른 차이가 유의하지만 40kph-30kph에서 z값 0.53(p값 0.59), 50kph-40kph에서 z값 0.89(p값 0.37)로 감소하는 것이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

<Table 13> Speed deviation difference by speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		-0.37	-0.72	0.56	0.81	1.03	-1.20	0.03	-0.78	-1.68
50-40		0.26	-0.71	-0.46	0.16	-0.01	-0.40	0.14	0.16	-0.25
60-50		1.10	1.48	0.47	0.39	0.63	2.40	0.32	0.39	0.54

3) 대편차 비율

순행속도 대편차 비율도 편차와 똑 같이 제한속도 차이에 따라 60kph-50kph의 경우는 모두 증가하나 나머지는 각각 5군데 감소 4군데 증가로 제한속도가 증가함에 따라 편차가 감소한다고 할 수 없다. 제한속도별로

<Table 14> Large speed deviation difference by speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		-0.49	-1.65	1.81	0.82	1.11	-5.97	0.07	-2.06	-5.67
50-40		0.19	-1.35	-1.52	0.24	-0.08	-0.92	0.29	0.07	-1.03
60-50		1.90	3.37	3.82	0.47	1.30	6.13	0.43	0.69	0.84

통계검정 결과 60kph-50kph는 z값 2.67(p값 0.01)로 증가에 따른 차이가 유의하지만 40kph-30kph에서 z값 1.01(p값 0.31), 50kph-40kph에서 z값 1.48(p값 0.14)로 감소하는 것이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

4) 상충횟수

상충횟수는 제한속도 차이에 따라 대부분 증가하지만 40-30의 경우는 2군데 에서 감소하고 50-40에서 1군데 감소하고 60kph-50kph에서 2군데가 감소하여 통계적 검정이 필요하다. 제한속도별로 통계검정 결과 50-40은 z값 2.55(p값 0.01)로 증가에 따른 차이가 유의하지만 40kph-30kph에서 z값 1.72(p값 0.09), 60kph-50kph에서 z값 1.36(p값 0.17)으로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

<Table 15> Number of conflict difference by speed limit difference

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
40-30		582	434	551	381	276	-169	-294	10	31
50-40		160	-9	360	87	61	66	112	365	213
60-50		-140	280	126	321	170	277	-88	-16	-38

3. 상충횟수 산정식에 대한 통계 검정

상충횟수는 교통사고 대리척도로서 중요하기 때문에 회귀모형식에 대한 통계적 검정을 수행하여 적합도를 검정하였다. 통계적 검정은 시나리오별 상충횟수인 <Table 9>의 실제 값과 <Table 16>의 추정 값에 대한 F검정과 t검정(신뢰수준 0.05, 95% 신뢰구간) 수행하였다.

<Table 16> Number of conflicts estimated by scenario

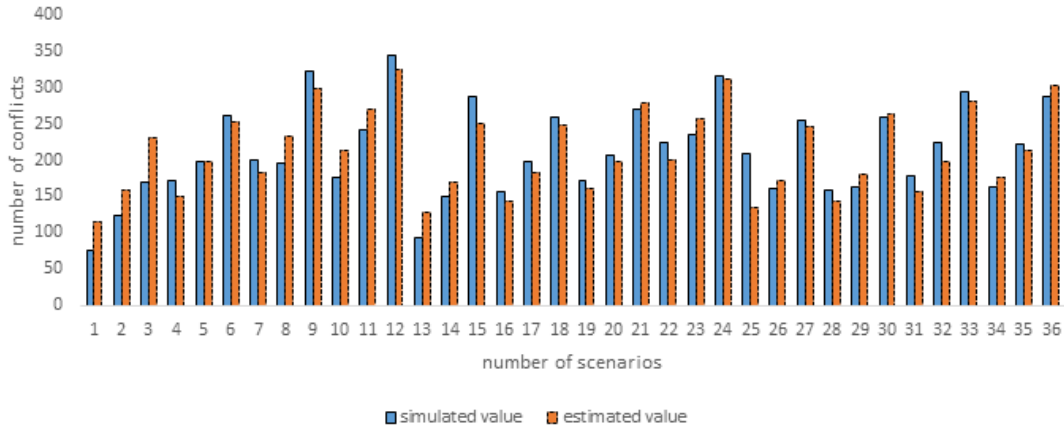
interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		115.4	158.8	230.7	128.9	170.5	249.4	135.5	172.1	245.5
40kph		150.8	197.4	252.2	143.7	183.2	247.9	142.6	180.2	262.8
50kph		182.6	232.4	298.3	160.1	197.1	277.5	156.5	197.3	279.7
60kph		212.9	268.7	324.0	200.3	257.3	311.9	176.0	214.0	303.2

F검정 결과 두 집단의 평균은 실제 값 211.59 추정값 211.59, 분산은 각각 3930.28, 3234.31으로 나타났고 F값이 2.215이고 p값(유의확률)이 0.284로 0.05보다 크므로 두 집단의 분산에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 등 분산 가정 t검정을 수행하였다. t검정 결과 t값은 0.000, p값(유의확률)이 단측검정 0.5, 양측검정 1로 0.05보다 크므로 두 집단의 평균값에 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 시나리오별 실제 값에 대한 추정 값의 오차((추정값-실제값)/실제값×100%)는 <Table 17>과 같다. 오차는 제한속도가 30kph, 간격 300m, 교통량 400대일 때가 가장 크게 나타났는데 전체 평균 오차는 12%로 분석되었다.

<Table 17> Difference between estimated value and actual value

(unit: %)

interval		300m			400m			500m		
L.spd	Vol	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh	400 veh	500 veh	600 veh
30kph		53.2	27.4	35.7	38.1	13.0	13.1	34.8	6.5	3.2
40kph		12.5	0.2	3.7	8.4	6.9	4.2	10.2	10.3	1.6
50kph		8.3	18.9	7.3	6.5	4.8	2.9	11.8	12.0	4.9
60kph		21.2	11.0	5.5	10.9	9.3	1.3	8.1	3.4	5.3



<Fig. 1> Distribution of actual and estimated values by scenario

V. 결론 및 제언

제한속도 변화는 주행속도를 변화시키지만 제한속도가 동일하더라도 교차로 간격 및 차로수 등 다양한 도로 기하구조 조건과 교차로 신호운영조건에 따라 달라지고 교통량 변화에 따라 달라진다. 따라서 이러한 다양한 도로 및 교통조건들을 고려하여 도로의 기능 유지에 부합되도록 제한속도가 설정되고 운영되어야 안전한 차량흐름도 가능하다. 교통안전과 관련된 연구 결과들에 의하면 교통사고는 주행속도가 낮고 속도 표준편차가 작을 때 줄어든다. 속도 감소를 통한 교통사고를 줄이기 위해서 우리나라도 2021년부터 5030정책 시행으로 교통사고를 줄이는 긍정적인 효과는 기대되지만 이동성이 강조되는 간선도로에서 교통량 변화에 따른 교통소통 특성을 충분히 고려하지 못해 많은 문제점들이 제기되어 도로의 폭이나 교통량, 보행자 통행 여부 등을 종합적으로 고려를 해서 운전자의 편의와 환경을 고려하여 보행자 통행이 불가능한 도로와 같이 속도제한이 불필요한 경우 60km로 상향 조정하는 등 5030정책에 대한 보완도 이루어지고 있다.

본 논문에서는 제한속도, 교통량, 교차로간격 변화에 의한 다양한 시나리오를 분석하여 시나리오별로 제한속도 변화가 교통소통과 안전에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 소통지표로 통행속도와 순행속도를 사용하고 ‘순행속도-통행속도’, 편차, 대편차비율, 상충횟수를 안전지표로 설정하고 제한속도가 이들에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과에 의하면 제한속도는 소통지표에는 크게 영향을 주지만 안전지표에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 통계적 유의성 검정 결과 제한속도 증가에 따라 통행속도와 순행속도는 증가한다는 것이 유의하다고 입증되었다. 그러나 안전지표인 편차와 대편차비율은 60kph-50kph 제한속도 차이에서만 제

한속도 증가에 따라 이들이 증가한다는 것이 통계적으로 유의하고 나머지 50kph-40kph와 40kph-30kph에서는 증가한다고 할 수 있는 통계적 유의성이 입증되지 못했다. 상충횟수의 경우에도 50kph-40kph에서만 제한속도 증가로 상충횟수가 증가한다는 통계적 유의성이 입증되었지만 나머지 60kph-50kph와 40kph-30kph에서는 통계적으로 유의성이 없는 것으로 분석되었다.

따라서 제한속도 증가로 안전지표들이 증가하는 경우는 많지만 이를 통계적으로 유의하다고 할 수는 없기 때문에 제한속도 증가가 교통사고를 증가시킨다는 충분한 근거가 된다고는 말할 수 없다. 그러므로 제한속도는 도로망에서의 기능과 교차로 간격 등 다양한 도로조건과 교통량 변화에 따른 간선도로의 교통 흐름 상태를 제대로 반영해야 운전자들이 주행하는 속도에 부합되고 교통소통과 안전이 향상된다고 할 수 있다. 제한속도 설정 시에는 주행속도뿐만 아니라 교차로 신호영향을 포함 구간 통행특성을 고려한 통행속도와 본 논문에서 제시한 안전지표들을 고려하여 산정할 경우 도로상의 교통 흐름을 안정화시키는 데 도움을 줄 수 있고 특히 교통량 변화에 따른 주행속도 변화를 고려하여 운전자들의 제한속도 준수율을 높여 속도위반도 줄일 수 있을 것으로 판단되어 제한속도를 설정하는 데 따라 발생하는 많은 문제점을 해결하고 시행착오를 줄이는데 기여가 예상된다. 본 논문은 시뮬레이션 결과를 토대로 분석한 결과이므로 향후에는 다양한 도로 여건과 제한속도 변화가 교통사고에 미치는 영향을 실제 도로에서 수집된 데이터를 토대로 한 실증적인 연구가 이루어져 제한속도 변화가 교통사고에 미치는 영향을 명확히 규명할 필요가 있다

REFERENCES

- FHWA(Federal Highway Administration)(2008), *Surrogate Safety Assessment Model*.
- Garber, N. J. and Gadiraju, R. G.(1989), “Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents”, *Transportation Research Record*, vol. 1213, pp.64-71.
- Jack, S. and Zail, C.(1998), *Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Management*, Federal Highway Administration, FHWA-RD-98-154.
- Jin, T. H.(2021), *Suggestion of Reasonable Speed Limit Criteria Considering Traffic Safety and Flown*, Doctoral Dissertation, Graduate School of Chonnam National University.
- Kang, S. Y., Lee, S. B. and Lim, J. B.(2017), “Development of Speed Limits Estimation Model and Analysis of Effects in Urban Roads”, *Journal of the Korean Society of Safety*, vol. 32, no. 2, pp.132-146.
- Korea Road Authority(2019), *2019 Safety Speed 5030 Basic Design and Effect Analysis*.
- Korea Transport Institute(2017), *A Study on The Speed Limit Management in Urban Roads*.
- Korean National Police Agency(2020), *Variable Speed Limit System Installation and Operation Manual*.
- Korean National Police Agency(2022), *Road Traffic Act Enforcement Rules*.
- Lim, C. S. and Choi, Y. W.(2018), “Study of Downward Speed Limit of Main Roads on Traffic Accident and Effect Analysis: In Busan Metropolitan City”, *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 38, no. 1, pp.81-90.
- Ministry of Land, Infrastructure and Traffic, Korean National Police Agency(2019), *Safety Speed 5030 Design and Operation Manual*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2020), *Rules Commentary and Guidelines for Road*

Structure and Facility Standards.

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2013), *Korea Highway Capacity Manual(KHCM)*, South Korea.

Shin, E. K. and Kim, J. H.(2022), “A Study on the Speed Change on the Arterial Road according to Traffic Volume and Speed Limit”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 5, pp.149-161.