

교통량과 제한속도에 따른 간선도로 속도 변화에 관한 연구

A Study on the Speed Change on the Arterial Road according to Traffic Volume and Speed Limit

신 언 교* · 김 주 현**

* 주저자 : 안양대학교 도시정보공학과 겸임교수

** 교신저자 : 안양대학교 도시정보공학과 정교수

Eon-kyo Shin* · Ju-hyun Kim**

* 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. 21 No.5(2022)
October, 2022
pp.149~161

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.5.149>

Received 13 September 2022
Revised 21 September 2022
Accepted 28 September 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

제한속도는 주행속도에 영향을 주기 때문에 교통흐름은 물론 교통사고와도 밀접한 관계에 있다. 기존 제한속도 산정 방법은 공학적 판단요소로 차로수, 교차로 간격, 진출입로 수, 횡단 보도 수, 85백분위 속도, 토지이용 형태, 도로기하 특성 등 다양한 요소들을 고려하지만 대부분이 교통시설에 해당되고 교통량을 고려한 교통영향분석이 이루어지지 않고 있어 공학적 분석이 미흡하다고 할 수 있다. 또한 지점속도인 85%속도만으로는 도로 전체의 교통류 특성을 잘 반영해줄 수 없다. 따라서 본 논문에서는 교차로 간격과 교통량 조건에서 제한속도 변화가 순행속도와 통행속도의 크기와 그 차이에 미치는 영향을 상세하게 분석하였다. 그리고 그 결과를 활용하여 제한속도 변경 전과 동일한 서비스수준을 유지토록 하여 속도개선효과를 높이고 순행속도와 통행속도의 차이를 줄이는 제한속도 산정방안을 제안하였다. 그리고 교통량 변화에 따른 가변적 제한속도 운영방안도 제시하였다. 본 방안은 속도개선효과를 확보하면서 교통사고 심각도에 영향을 주는 속도 차이를 줄이고 교통량 변화에 따른 주행속도 변화를 반영한 제한속도 운영으로 운전자들의 제한속도 준수율을 높여 안전측면에서도 효과가 기대된다.

핵심어 : 교차로 간격, 제한속도, 가변적 제한속도, 순행속도, 통행속도

ABSTRACT

Because the speed limit affects moving speed, it is closely related to traffic accidents as well as traffic flow. The existing speed limit calculation methods consider various engineering factors such as lanes, intersection spacing, driveways, crosswalks, 85 percentile speed, land uses, and roadway geometric characteristics etc. However, it can be said that the engineering analysis is insufficient because the traffic impact analysis considering traffic volume is not carried out. In addition, only 85 percentile speed, which is the spot speed, does not reflect the characteristics of the traffic flow on the road. In this paper, the effect of the speed limit change on the moving speed and the travel speed was analyzed in detail according to the variation of intersection spacing and traffic volume. And by using the results, we proposed a speed limit calculation method that maintains the same service

level as before the speed limit change, thereby increasing the speed improvement effect and reducing the difference between moving speed and travel speed. In addition, a variable speed limit operation method according to the change in traffic volume was also suggested. This method is expected to be effective in terms of safety by reducing the speed difference, which affects the severity of traffic accidents, while securing the speed improvement effect, and increasing the speed limit compliance rate of drivers by operating the speed limit that reflects the speed change due to the variation of traffic volume.

Key words : Intersection spacing, Speed limit, Variable speed limit, Moving speed, Travel speed

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

도로의 주요 기능은 이동성과 접근성으로 구분된다. 이동성은 신속한 통행으로 도시부 도로에서는 주로 간선도로가 그 기능을 담당하고 접근성은 도로 주변 시설을 이용하기 위한 진출입 통행으로 간선도로를 제외한 많은 도로들이 그 기능을 담당하고 있다. 복잡한 도시부 도로 네트워크에서 많은 차량 통행이 원활히 이루어지기 위해서는 이러한 도로 기능이 잘 이루어지도록 각 기능을 담당하는 도로들이 유기적으로 조화롭게 공급되고 적절하게 운영되어야 한다. 제한속도는 도로운영의 한 요소로 도로를 이용하는 차량들의 소통과 안전에 영향을 미치게 된다. 이러한 제한속도는 차량 주행속도에 영향을 주게 되어 제한속도가 높으면 이동성이 향상되고 접근성은 떨어지게 되고 제한속도가 낮으면 그 반대로 접근성이 향상되고 이동성은 떨어지게 된다. 따라서 주행속도는 속도편차와 함께 교통사고와 밀접한 관계가 있다. 이러한 주행속도는 제한속도가 동일하더라도 교차로 간격 등 다양한 도로조건과 교통량 변화에 따라 달라진다. 따라서 이러한 도로 및 교통조건들을 고려하여 도로의 기능 유지에 부합되도록 제한속도가 설정되고 운영되어야 한다.

교통안전과 관련된 연구 결과들에 의하면 교통사고는 주행속도가 낮고 속도 표준편차가 작을 때 줄어든다. 속도 감소를 통한 교통사고를 줄이기 위해서 우리나라도 5030정책을 시행하고 있다. 5030정책 시행으로 교통사고를 줄이는 긍정적인 효과는 부각되고 있지만 이동성이 강조되는 간선도로 등에서는 소통측면에서 많은 문제점들이 제기되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 제한속도 변화가 신호 영향을 거의 받지 않는 구간의 지점속도인 평균 순행속도와 교차로들을 포함하는 일정 구간에 대한 평균 통행속도에 미치는 영향을 분석하여 제한속도가 순행속도와 통행속도 크기 및 차이에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 그리고 그 결과를 활용하여 교차로 간격과 교통량 변화에 따른 가변적인 제한속도 운영 방안을 모색하고자 한다.

2. 기존 연구 고찰

5030정책은 공학적인 판단에 의해 제한속도를 설정한 후 정책적 판단 과정을 거쳐 제한속도가 확정된다. 공학적 판단요소로는 편도 차로수, 교차로 간격, 횡단보도 개수, 중앙분리대, 무단횡단 방지 시설, 속도저감 시설, 85백분위 속도, 이면도로 진출입로 개수, 토지이용 형태(주거·상업·공업·녹지지역) 등이 고려되지만 대부분이 교통시설에 해당되고 교통량이 포함되어 있지 않아 교통량을 고려한 교통영향분석 등이 이루어지지 않고 있어 공학적 분석이 미흡하다고 할 수 있다. 그리고 신호등의 영향을 거의 받지 않은 지점속도인 85

백분위 속도만으로는 교통량 변화에 따른 간선도로의 교통 흐름 상태를 제대로 반영하기 어렵다.

KOTI(2017)는 도시부 도로 제한속도 설정에 따른 교통안전과 이동성 측면의 변화를 정량적으로 분석하여 현재 추진되고 있는 제한속도 하향 정책의 효과를 평가하고 도로의 기능과 주변 토지이용을 기준으로 도시부 도로의 제한속도를 설정하는 기준을 제시하였다. 도로의 제한속도가 낮을수록 사고 건수가 감소하는 것으로 나타났다. 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 본 연구에서 조사한 제한속도 하향 구간을 대상으로 교통사고 절감 편익과 통행시간 비용을 분석하여 제한속도 하향은 종합적인 사회적 편익 측면에서 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다.

Jim(2021)는 속도제한 관련 연구 및 어린이보호구역 관련 연구 등에 대해 검토하여 교통안전과 교통소통을 종합적으로 고려한 합리적인 속도제한 기준을 제시하고자 하였다. 먼저 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. 추가적으로 비용 분석을 제외한 추가 변수들을 선정하여 합리적인 속도제한기준을 제시하였다.

Kang et al.(2017)은 도시부도로에서 교통정보 빅데이터와 현장 특성자료를 활용하여 도로구간의 적정 제한속도 산정 모형을 개발하고 사고감소효과를 검토코자 하였다. 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 결정되었다. 연구 결과 적용시 서울시 편도2차로 이상 도로의 제한속도는 현재 제한속도보다 약 11km/h 감소하는 것으로 나타났고 평균통행속도 감소는 2.8km/h이며, 전체사고 감소효과는 연구 대상 도로사고의 18%가 감소할 것으로 예상했다.

Lim and Choi(2018)은 부산지방경찰청이 간선도로 교통사고 감소를 위해 실시한 29개 구간을 대상으로 도시부 간선도로 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 간선도로 제한속도 하향은 사망사고를 감소시키는 측면에서는 긍정적인 효과를 보이고는 있으나, 일부 구간에서는 사고가 증가한 것으로 나타나 보다 세부적인 분석이 향후에는 필요하다고 하였다.

대부분 기존 연구들은 주행속도에 영향을 주는 다양한 변수들을 포함하고 있지만 교통량 변화에 따른 제한속도 영향 등을 고려하지 않고 있고 신호등의 영향을 거의 받지 않은 85백분위 지점속도만으로는 교통량 변화에 따른 간선도로의 교통 흐름 상태를 제대로 반영하기 어렵다. 교통량 변화는 교차로 간격 등 다양한 도로조건 및 제한속도 변화 등과 상호 작용에 의해 신호운영 및 차량 흐름에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 교차로간격과 교통량에 따른 다양한 변화를 고려하기 위하여 현장 데이터가 아닌 간선도로상에서 교통류에 영향을 미치는 교통량, 교차로 간격, 제한속도 변화에 따른 다양한 시나리오를 작성하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 그 결과를 이용하여 교통사고와 연관성이 큰 지점속도인 순행속도와 간선도로 소통과 관련이 큰 구간속도인 통행속도 영향을 분석하고 그 활용방안을 제시하고자 한다.

II. 연구 범위 및 방법

1. 연구 방법

본 논문은 교통량, 교차로 간격 등이 다양한 간선도로에서 제한속도 변화가 통행속도와 순행속도에 미치는 영향을 분석하고 제한속도 운영방안을 모색하는데 연구의 목적이 있다. 기존 연구에서는 실제 도로 현장에서 수집된 데이터를 사용하여 분석한 결과로 현장 여건이 다른 다양한 현장에 적용하는 데 한계가 있다. 그리고 본 연구 목적에 맞는 다양한 교차로간격, 교통량 및 제한속도에 따른 통행속도와 순행속도를 현장에서 수집하는 것은 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 교차로간격과 교통량에 대한 시나리오를 연구 목적에 맞게 작성하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 합리적인 연구 결과를 얻기 위해서 교차로간격과 교통량 변화를 잘 반영할 수 있도록 제한속도별 교차로 최소간격기준 등을 적절히 반영하고 서비스수준 B~E 수준에 해당되는 교통량 시나리오를 작성하였다. 또한 통행속도에 신호영향이 충분히 반영되도록 신호등을 거치지 않고 차량진행 방향별로 첫 번째 교차로로 진입하는 링크는 통행속도와 순행속도 산정구간에서 제외하여 모든 분석대상 링크에 신호영향이 반영되도록 하였다. 그리고 운전자와 차량의 이산적, 확률적, 시간단위의 미시적 행태기반 분석모형으로 차량흐름을 구현하여 신호로 운영되는 network의 교통 운영 분석에 널리 사용되고 있는 VISSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 시나리오 설정

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. 그리고 인접한 연결구간이나 교차구간의 방향별 또는 접근로별 제한속도 차이는 시속 ± 20 km를 넘지 않도록 해야 한다는 규정을 반영하여 제한속도 영향분석은 제한속도 차이가 10km/h인 경우(30km/h와 40km/h, 40km/h와 50km/h, 50km/h와 60km/h), 20km/h인 경우(30km/h와 50km/h, 40km/h와 60km/h)로 구분하여 수행한다. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013a)의 “단기기역 또는 작업기역 이론을 적용하여 제시된 제한속도 30km/h, 50km/h, 60km/h별 각각의 최소운영길이 250m, 450m, 500m 규정”을 감안하여 도시부 간선도로의 교차로 간격 시나리오는 300m, 400m, 500m로 설정하였다. 그리고 인접 구간과의 제한속도 차이는 20km/h를 초과하지 않도록 되어 있어 본 논문에서도 이 규정을 적용하여 분석하고자 한다. 교통량 시나리오는 중차량 비율과 차로수 변화에 대한 영향을 줄이기 위해 차로당 승용차교통량(passenger cars per hour per lane, pcphpl)을 적용하여 300pcphpl, 400pcphpl, 500pcphpl로 설정하였다. 차로수 시나리오는 도시부의 대표적인 간선도로 차로수로 4차로(좌회전 차로 1차로 포함)로 하고 차로폭은 3.1m로 하였다. 교차로와 교차로 사이에 횡단보도는 없고 버스정류장과 진출입로 등에 의한 노변마찰도 없는 것으로 간주하였다.

3. 분석 방법

앞에서 설정된 시나리오를 대상으로 도시부 간선도로에서의 교통 시뮬레이션을 수행하여 제한속도 변화에 따른 영향을 분석하기 위하여 본 논문에서는 이러한 교통상황을 잘 묘사해낼 수 있는 VISSIM 프로그램

을 이용한다. 간선도로상에서의 신호교차로 영향을 충분히 반영될 수 있도록 교차로수는 4개로 선정하였다. 교차로의 회전교통량은 간선도로의 경우 좌회전 10%, 우회전 10%, 직진 80%로 하고 간선도로에서 좌/우회전으로 빠져나가는 교통량만큼 교차도로에서 좌/우회전으로 진입하도록 하여 간선도로 교통량이 모든 구간에서 동일하게 유지되도록 하였다. 시나리오별 신호시간은 간선도로를 연동처리하는 TOD 체계의 고정식 신호체계로 지체를 최소화하는 신호주기, 현시조합, 현시시간, 읍셋을 산정할 수 있는 TRANSYT-7F를 이용하여 최적화하였다. 신호영향을 받지 않는 구간에서의 지점속도인 순행속도 수집을 위한 검지기(data collection)는 교차로 간격 300m, 400m, 500m별로 교차로 하류부 각각 100m, 150m, 200m 지점에 있는 가운데 차로인 2차로에 설치하였다. 첫 번째 교차로와 네 번째 교차로 사이에 있는 방향별 3개 링크에 각각 1개소 총 6개소에 설치하였다. 통행속도 산정을 위한 통행시간 산정 구간은 방향별로 첫 번째 교차로 하류부 100m 지점에서 네 번째 교차로 하류부 70m 구간에 설치하였다. 이는 교차로 4개로 구성된 도로에서 방향별로 신호등의 영향 없이 랜덤하게 도착하는 시점부 교차로 진입 링크를 제외한 3개 교차로를 통과하는데 소요한 통행시간을 구하여 신호영향이 적절하게 반영되도록 하기 위해서다. 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 수집기간은 시뮬레이션 시작 후 초기화시간 600초를 적용하여 600초 이후부터 링크거리를 고려하여 300m는 1400초, 400m, 500m는 1800초로 하였다.

III. 시나리오 분석

1. 통행속도 특성 분석

시뮬레이션 결과의 시나리오별 통행속도 산정 결과는 <Table 1>과 같다. 통행속도는 교차로 4개로 구성된 도로에서 신호등의 영향 없이 랜덤하게 도착하는 시점부 교차로 진입 링크를 제외한 3개 교차로를 통과하는데 소요된 통행시간으로 통행거리를 나눈 값이다. 통행속도는 교차로 간격과 제한속도가 클수록 증가하고 교통량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 변화량은 제한속도 변화에 따른 변화폭이 가장 크고 교차로 간격과 교통량 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

<Table 1> Average travel speed by scenario

(Unit : kph)

speed limit \ spa vol	300m			400m			500m		
	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
30kph	19.64	18.21	14.94	19.97	18.22	15.16	22.74	22.09	19.33
40kph	23.67	20.45	16.75	27.76	25.82	22.42	29.33	27.41	23.70
50kph	26.21	22.40	18.23	33.85	30.88	24.79	34.95	32.26	30.22
60kph	27.87	24.50	18.57	35.35	31.88	25.66	43.81	41.04	35.85

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume

제한속도 변화에 따른 평균 통행속도 변화량 분석 결과는 <Table 2>와 같다. 제한속도 10kph 증가에 따른 통행속도 변화를 살펴보면 교통량이 증가할수록 제한속도가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 제한

속도 10kph 증가에 평균 통행속도가 10kph이상 증가한 경우는 없는 것으로 분석되었다. 50%인 5kph이상 증가한 경우는 12개 시나리오로 나타났는데 교차로 간격 300m에서는 하나도 없고 400m에서 5개, 500m에서는 7개로 가장 많이 나타나 교차로 간격이 클수록 속도증가효과가 큰 것으로 분석되었다. 교차로 간격 400m 경우 제한속도를 50kph에서 60kph로 상향 시에는 하나도 없는 것으로 나타났으나 500m에서는 모두가 해당되는 것으로 나타났다. 1kph이하로 증가한 경우는 2개로 나타났는데 교차로 간격 300m, 400m에서 교통량이 가장 많은 600pcphpl인 경우로 나타났다. 제한속도 증가 폭보다 평균 통행속도는 그보다 작게 증가하는 것으로 나타나 신호교차로의 지체 영향이 큰 것으로 나타났다. 그리고 교차로 간격이 작을수록 교통량이 많을수록 신호영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

<Table 2> Difference in average travel speed for each speed limit change (Unit : kph)

speed limit	spa vol	300m			400m			500m		
		400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
40-30		4.04	2.24	1.82	7.79	7.60	7.26	6.59	5.32	4.37
50-40		2.53	1.95	1.48	6.09	5.06	2.37	5.62	4.85	6.53
60-50		1.46	2.10	0.34	1.51	1.00	0.87	8.85	8.79	5.63

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume,

40-30 = average travel speed in 40kph speed limit - average travel speed in 30kph speed limit

2. 순행속도 특성 분석

제한속도가 너무 높으면 교통사고 위험이 증가하고 반대로 너무 낮으면 운전자들이 순응하지 못해 제한속도 준수율이 떨어져 속도 차이가 커지게 되어 사고위험이 증가할 수 있다. 이러한 운전자들의 제한속도에 대한 반응에 따른 속도 차이는 신호영향이 큰 통행속도보다는 신호의 영향을 받지 않는 구간에서의 주행속도인 순행속도로 나타내게 된다. 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 평균 순행속도는 <Table 3>과 같다. 평균 통행속도와 마찬가지로 평균 순행속도는 제한속도가 클수록 교차로 간격이 클수록 교통량이 적을수록 증가하는 것으로 나타났다.

<Table 3> Average moving speed by scenario (Unit : kph)

speed limit	spa vol	300m			400m			500m		
		400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
30kph		27.26	26.05	23.05	28.29	27.71	26.35	27.99	27.45	26.65
40kph		37.24	34.88	28.37	37.26	36.70	34.14	38.36	37.79	37.39
50kph		46.26	44.35	35.97	47.96	46.87	43.70	48.62	48.07	46.46
60kph		55.60	55.91	46.03	58.55	57.25	53.62	58.81	58.18	57.47

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume

제한속도 증가에 따른 평균 순행속도 변화량은 <Table 4>와 같다. 제한속도 변화에 따른 순행속도 변화량은 통행속도보다 훨씬 크게 나타났는데 이는 통행속도에 비해 신호교차로 영향이 작기 때문이다. 제한속도 10kph 증가에 따른 순행속도 변화량을 살펴보면 일관성 있는 변화 패턴은 보이지 않는 것으로 나타났다. 교차로 간격 300m에서는 통행속도와는 반대로 제한속도가 클수록 증가하는 것으로 나타나지만 400m, 500m에

서는 특정한 패턴을 보이지 않는 것으로 나타난다.

<Table 4> Difference in average moving speed for each speed limit change (Unit : kph)

speed limit \ spa vol	300m			400m			500m		
	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
40-30	9.83	8.83	5.32	8.97	9.00	7.79	10.37	10.34	10.75
50-40	9.02	9.48	7.60	10.70	10.17	9.56	10.26	10.29	9.07
60-50	9.34	11.56	10.06	10.59	10.38	9.92	10.19	10.10	11.01

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume,
 40-30 = average moving speed in 40kph speed limit - average moving speed in 30kph speed limit

제한속도가 10kph 증가할 때 제한속도 차이만큼 순행속도가 10kph 이상 증가한 경우는 15개로 나타났는데 그중에서 절반 정도인 7개가 교차로 간격 500m인 경우로 나타났고 400m에서 5개, 300m에서는 1개만 나타났다. 통행속도 결과와 비교하면 제한속도 영향은 더 크고 교통량과 교차로 간격 영향은 적은 것으로 나타났는데 이는 통행속도에 비해 순행속도가 신호영향을 덜 받는 효과라 할 수 있다.

3. 평균 통행속도와 평균 순행속도 차이 분석

평균 순행속도와 평균 통행속도 차이는 <Table 5>와 같다. 이 차이는 가감속 등으로 차량 통행에 영향을 줄 수 있다. 즉 순행속도와 통행속도 차이가 클수록 가감속이나 차로변경 등에 의한 차량흐름이 불안정해져 속도 차이가 커지게 되어 사고위험이 증가한다고 할 수 있다. 대체적으로 제한속도가 클수록 교통량이 증가할수록 교차로 간격이 짧을수록 그 차이가 큰 것으로 나타나는데 이는 신호영향이 큰 것으로 분석된다. 제한속도가 30kph와 40kph에서는 20kph이상 차이나는 경우가 나타나지 않았지만 제한속도가 60kph에서는 교차로 간격 300m, 400m인 경우는 모두 차이가 20kph 이상으로 나타났고 500m에서는 한 시나리오에서만 20kph 이상으로 나타났다. 제한속도가 50kph에서는 300m에서만 2개가 나타났다. 따라서 교차로 간격이 짧을수록 평균순행속도와 평균통행속도 차이가 커져 제한속도 상향에 주의를 요한다고 할 수 있다.

<Table 5> Average moving speed - average travel speed (Unit : kph)

speed limit \ spa vol	300m			400m			500m		
	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
30kph	7.62	7.84	8.11	8.32	9.49	11.19	5.25	5.35	7.32
40kph	13.57	14.43	11.62	9.50	10.88	11.72	9.02	10.38	13.70
50kph	20.05	21.96	17.74	14.12	15.99	18.91	13.66	15.82	16.24
60kph	27.73	31.42	27.46	23.20	25.37	27.95	15.00	17.13	21.62

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume,

IV. 가변적 제한속도 운영 방안

앞에서 살펴본 바와 같이 제한속도는 도로의 주행속도에 영향을 준다. 신호교차로로 운영되는 도시부 도

로에서의 주행속도는 교통량뿐만 아니라 신호교차로 간격에 의해서도 영향을 받게 된다. 그리고 신호교차로는 차량들의 연속적인 진행을 방해하여 차량속도를 다양하게 변화시켜 교통사고의 위험성이 커지게 된다. 이러한 현상은 교통량이 많을수록 교차로 간격이 짧을수록 심화되어 차량 간에 속도 차이를 유발하여 사고 위험은 물론 사고심각도도 커지게 된다. 따라서 제한속도는 교차로간격이나 교통량에 따라 적절하게 설정되고 교통량 변화에 따라 차등 적용될 필요가 있다. Korean National Police Agency(2020)에 의하면 가변형 속도 제한시스템은 악천후(안개, 강우, 강설, 강풍 등)가 잦아 교통사고가 많이 발생하는 도로, 상습적인 교통 혼잡으로 통행속도의 변화가 심한 구간, 어린이 또는 노인보호구역 등 시간대별로 속도를 변화시켜야 하는 구간 등에 설치하여 제한속도를 도로의 현 상황에 맞게 가변적으로 표출함으로써 운전자가 도로 상황에 맞추어 안전하게 속도를 감속할 수 있도록 하는데 설치 목적이 있다. Korean National Police Agency(2011)은 가변속도제한 운영방안에 관한 연구에서 가변속도제한은 운전자의 속도선택을 용이하게 하고 각 차량의 적정속도 유지와 차량 간 속도 분산을 줄여 교통 안전성을 향상시킨다고 하였다. 따라서 교통량은 수시로 변하기 때문에 제한속도도 그에 따라 변해야만이 교통상황에 맞추어 운전자들이 안전하게 운행할 수 있어 간선도로에서의 교통 흐름을 안정적으로 관리 할 수 있다. 예를 들어 교통량 변화에 따른 TOD 신호운영기법과 같이 제한속도도 TOD 형태로 가변적으로 운영할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 활용하여 가변적인 제한속도관리 방안을 모색하고자 한다.

1. 제한속도 상향 적용 기준 설정

시뮬레이션 결과 분석에 의하면 교통량이 증가할수록 교차로 간격이 좁을수록 간선도로에서의 교통 흐름은 신호교차로의 영향을 많이 받게 된다. 이로 인해 신호영향을 거의 받지 않은 구간의 순행속도도 차이가 발생하게 되는 데 제한속도가 높을수록 가감속 등이 빈번히 발생하게 되어 교통류가 불안정해지게 된다. 그리고 교차로에서의 정지와 지체시간이 증가하게 되어 통행속도는 더 크게 낮아지게 된다. 이로 인해 순행속도와 통행속도 간 차이가 발생하게 되고 차량들 간에도 속도 차이가 커져 안전도는 위협을 받게 된다.

Garber and Gadiraju(1989)는 설계속도와 제한속도 차이는 속도 변화에 영향을 주게 되고 제한속도가 설계속도보다 5~10mph 정도 낮을 경우 속도 편차가 가장 적으며, 이 범위를 벗어나면 제한속도와 설계속도 차이가 커질수록 편차가 커진다고 하였다. 또한 운전자는 제한속도와 상관없이 도로의 기하학적 특성이 향상됨에 따라 증가하는 속도로 운전하는 경향이 있으며 사고율은 반드시 평균속도가 증가함에 따라 증가하는 것이 아니라 속도편차가 증가함에 따라 증가한다고 하였다. Parker(1997)는 제한속도가 올라가거나 낮아질 때 운전자의 속도가 변하지만 속도의 차이는 실제적으로 중요할 만큼 충분히 크지 않다고 했다. 그리고 차량 속도의 변화는 작지만 제한속도를 낮추면 운전자의 제한속도 위반이 증가하고 반대로 제한속도를 높이면 위반이 감소한다고 했다. 따라서 소통과 안전 두 가지 측면을 균형 있게 고려하여 신중하게 제한속도를 설정하고 교통량이 변하면 차량의 주행속도가 변하므로 그에 따라 제한속도도 변해야 소통과 안전측면에서 교통류를 잘 관리할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 다음과 같은 교통량 변화를 고려한 가변적인 제한속도 운영방안을 제시한다.

1단계, 소통측면에서 제한속도 상향 시에는 속도개선 효과가 충분해야 한다.

제한속도 변화에 따른 속도개선 효과 측정지표로 본 논문에서는 <Table 6>에 제시된 Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2013b)의 간선도로 서비스수준 기준에서 상향된 제한속도의 서비스수준이 상향 전 제한속도의 서비스수준을 만족하는 평균 통행속도를 제한속도 변경에 따른 속도개선 최소 증가치로 산정하여 속도개선 효과지표로 산정하였다. 대부분 도시 간선도로의 서비스수준이 'B~E' 수준임을 감안하여 제

한속도 상향시 상향 전의 서비스수준 유지를 위한 평균 통행속도 증가치를 적용하고자 한다. <Table 6>에서 제한속도별 ‘B~E’ 서비스수준의 속도 차이 값의 평균을 평가지표로 사용하고자 한다. 이와 같이 서비스수준과 제한속도 상향에 따른 평균통행속도 최소 증가치를 산정한 결과는 <Table 7>과 같다. 50kph에서 60kph로 제한속도 상향시 5.5kph, 40kph에서 50kph로 제한속도 상향시 4.5kph, 30kph에서 40kph로 제한속도 상향시 4.5kph로 산정되어 이를 제한속도 상향을 위한 평균통행속도 최소 기준으로 산정한다.

<Table 6> Level of service by average travel speed on arterial roads (Unit : kph)

Arterial Type	I	II	III	*	*	*
Range of free speed (kph)	≤ 85	≤ 75	≤ 65	≤ 55	≤ 45	≤ 35
Free speed reference (kph)	80	70	60	50	40	30
Level of service	Average travel speed(kph)					
A	≥67	≥60	49	38	27	18
B	≥51	≥46	39	32	25	18
C	≥37	≥33	29	25	21	17
D	≥28	≥25	20	15	10	5
E	≥21	≥18	12	6	4	2
F	≥10	≥10	8	6	4	2
FF	≥6	≥6	5	4	3	2
FFF	≥6	≥6	5	4	3	2

Note) * : The value calculated in this paper by interpolation

<Table 7> Minimum increase of average travel speed to maintain the same service level by increasing free speed (Unit : kph)

Level of service	free speed		gap	free speed		gap	free speed		gap
	60	50	60-50	50	40	50-40	40	30	40-30
B	39	32	7	32	25	7	25	18	7
C	29	25	4	25	21	4	21	17	4
D	20	15	5	15	10	5	10	5	5
E	12	6	6	6	4	2	4	2	2
Average	-	-	5.5	-	-	4.5	-	-	4.5

2단계, 안전측면에서 제한속도 상향으로 인한 순행속도와 통행속도 차이가 너무 크지 않도록 한다. 도로상의 제한속도가 상향되면 평균 통행속도가 증가하게 되어 사고 건수가 증가하고 속도 차이가 커지면 사고 건수는 물론 사고심각도가 커지게 된다. 우리나라도 교차로나 연속구간에서 제한속도 차이를 20kph를 초과하지 못하도록 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 순행속도와 통행속도 차이가 20kph 이하가 되도록 하는 기준을 안전 효과적으로 설정한다.

2. 제한속도 상향 기준 적용

전 절의 제한속도 상향을 위한 1단계 평가척도 기준을 적용하여 시나리오별로 분석한 결과는 <Table 8>과 같다. <Table 8>에서 음영부분이 제한속도 상향으로 증가된 평균통행속도가 최소 기준치를 초과하여 제한속

도 상황이 가능한 시나리오들이다. 제한속도가 30kph로 운영 중인 도로를 제한속도 40kph로 상향하기 위한 조건을 만족시키는 경우는 교차로 간격이 400m 도로 전부와 500m 도로에서 교통량이 400pcphpl, 500pcphpl인 경우에 가능하고 300m에서는 적용이 어려운 것으로 나타난다. 제한속도가 40kph로 운영 중인 도로를 제한속도 50kph로 상향하기 위한 조건을 만족시키는 경우는 교차로 간격이 500m 도로 전부와 400m인 도로에서 교통량 400pcphpl, 500pcphpl인 경우가 가능하고 300m에서는 마찬가지로 적용이 어려운 것으로 나타난다. 제한속도가 50kph로 운영 중인 도로를 제한속도 60kph로 상향하기 위한 조건을 만족시키는 경우는 교차로 간격이 500m 도로에서 전부 가능하지만 300와 400m인 도로에서는 적용이 어렵다.

따라서 교차로 간격이 300m 도로는 제한속도 30kph로 운영이 가능하고, 400m에서는 400pcphpl 500pcphpl에서는 50kph까지 가능하고 600pcphpl인 경우는 40kph까지 가능하다. 교차로 간격이 500m인 경우는 모든 교통량에서 제한속도 60kph까지 운영이 가능하다.

<Table 8> Average travel speed increase and minimum increase for speed limit increase (Unit : kph)

speed limit	speed variation	300m			400m			500m		
		400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
40-30	increase	4.04	2.24	1.82	7.79	7.60	7.26	6.59	5.32	4.37
	min	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
50-40	increase	2.53	1.95	1.48	6.09	5.06	2.37	5.62	4.85	6.53
	min	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
60-50	increase	1.46	2.10	0.34	1.51	1.00	0.87	8.85	8.79	5.63
	min	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

Note: 40-30 = Average travel speed in 40kph speed limit - average travel speed in 30kph speed limit
 increase : Average travel speed increase by increasing the speed limit
 min : Minimum increase of average travel speed to increase speed limit

제한속도 상향을 위한 2단계 평가척도 기준을 적용하여 시나리오별로 분석한 결과는 <Table 9>와 같다. <Table 9>에서 음영부분은 순행속도와 통행속도 차이가 20kph 이하인 경우로 해당 제한속도 운영이 가능한 시나리오이다. 제한속도 30kph, 40kph에서는 모든 시나리오가 2단계 효과척도 기준인 순행속도와 통행속도 차이가 20kph 미만이므로 이들 제한속도 운영은 모두 가능하다. 제한속도 50kph는 교차로간격 300m에서는 600pcphpl만 적용 가능하고 400m, 500m에서는 모두 가능하다. 제한속도 60kph에서는 교차로 간격 500m에서만 가능하다.

<Table 9> Average moving speed - average travel speed (Unit : kph)

speed limit	spa vol	300m			400m			500m		
		400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
30kph		7.62	7.84	8.11	8.32	9.49	11.19	5.25	5.35	7.32
40kph		13.57	14.43	11.62	9.50	10.88	11.72	9.02	10.38	13.70
50kph		20.05	21.96	17.74	14.12	15.99	18.91	13.66	15.82	16.24
60kph		27.73	31.42	27.46	23.20	25.37	27.95	15.00	17.13	21.62

Note) spa =intersection spacing, vol = traffic volume

1, 2단계를 모두 만족시키는 경우는 <Table 10>과 같다. <Table 10>에서 음영부분은 제한속도 상향조건 1, 2단계를 모두 만족시키는 시나리오다. 1단계 조건을 만족하는 시나리오 <Table 8>에서 2단계 조건을 만족시키지 못하는 60kph 500m 600pcphpl인 시나리오를 제외하면 된다. 본 논문에서 제시한 2가지 조건을 만족시킬 때 제한속도를 상향하게 되면 교통소통과 안전을 적절히 반영 할 수 있을 것으로 판단된다.

<Table 10> Application of two-step evaluation standards for speed limit increase

speed limit	speed variation	300m			400m			500m		
		400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl	400pcphpl	500pcphpl	600pcphpl
40-30	increase	4.04	2.24	1.82	7.79	7.60	7.26	6.59	5.32	4.37
	standard	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
50-40	increase	2.53	1.95	1.48	6.09	5.06	2.35	5.62	4.85	6.53
	standard	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
60-50	increase	1.46	2.10	0.34	1.51	1.00	0.89	8.85	8.79	5.63
	standard	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

3. 가변적 속도제한 운영 예

위에 있는 <Table 10>에서 교차로 간격이 400m인 도로가 현재 제한속도 30kph로 운영 중이고 교통량은 오전/오후 침두시 600pcphpl, 낮 시간대 500pcphpl, 밤 시간대 400pcphpl 라고 할 때 가변적 속도제한 방안을 제시하면 다음과 같다. 1단계를 적용하면 교통량이 가장 많은 오전/오후 침두시에는 교통량이 600pcphpl이므로 <Table 10>에 의해 제한속도를 30kph에서 40kph로 상향할 때 속도 개선효과가 7.26kph로 1단계 효과척도 기준인 4.5kph 보다 크므로 40kph 제한속도 운영이 가능하다. 그리고 2단계 상향 기준인 ‘순행속도-통행속도’ 값이 11.72kph로 기준치 20kph보다 작으므로 안전측면에서도 가능하다. ‘순행속도-통행속도’ 값이 11.19kph인 제한속도 30kph 운영시와 비슷하다. 낮 시간대는 교통량이 500pcphpl이므로 40kph, 50kph의 적용시 속도 개선효과가 각각 7.6kph, 5.06kph로 제한속도의 1단계 상향기준인 4.5kph보다 커서 최대 50kph까지 상향이 가능하다. 이때 속도개선효과는 12.66kph가 된다. 2단계 기준인 순행속도와 통행속도 차이는 <Table 9>와 같이 15.99kph로 상향 기준치 20kph보다 작으므로 1, 2단계 모두 만족되어 50kph 제한속도 운영이 가능하다. 밤 시간대에는 교통량이 400pcphpl이므로 낮 시간대와 마찬가지로 1단계 기준 최대 50kph 제한속도 적용이 가능하고 통행속도는 13.88kph 만큼 증가하게 된다. 순행속도와 통행속도 차이는 14.12kph로 상향 기준보다 작으므로 50kph 운영이 가능하다. 이와 같이 이 도로의 경우 교통량에 따라 가변적으로 제한속도를 적용할 경우 큰 속도 증가가 예상된다.

제한속도 30kph로 운영 중인 교차로 간격이 500m의 경우 오전/오후 침두시 교통량이 600pcphpl 일 때 40kph 상향시 속도개선효과가 4.37kph로 기준치 4.5kph보다 작으므로 제한속도 상향이 어렵다. 그런데 현재 제한속도가 40kph로 운영된다면 50kph로 상향시 속도개선효과 6.53kph, 60kph 상향시 5.63kph로 각각 1단계 상향 기준치 4.5kph 5.5kph 보다 크므로 60kph까지 상향이 가능하다. 그러나 순행속도와 통행속도 차이가 50kph에서는 16.24kph로 기준치보다 작지만 60kph에서는 21.62kph로 기준치를 초과하게 되어 50kph까지만 제한속도 상향이 가능하다. 낮 시간대교통량이 500pcphpl, 밤 시간대 400pcphpl 일 때는 60kph로 운영이 가능하다, 이 경우 통행속도는 각각 18.96kph 21.06kph로 크게 증가하게 되고 순행속도와 통행속도 차이는 17.13kph 15kph로 2단계 상향 기준 20kph보다 작으므로 모두 60kph 까지 상향이 가능하다.

그러나 이러한 적용 결과는 교차로간격과 교통량 변화에 따른 영향 분석에 의한 교통공학적인 판단기준에 의한 것으로 실제 도로 현장에 적용하기 위해서는 도로주변 토지이용, 본 논문에서는 고려하지 못한 도로용량에 영향을 미치는 다양한 요소 등 다양한 현장 여건 및 정책적 요인 등을 토대로 종합적인 판단이 필요하다.

V. 결론 및 제언

교통안전과 관련된 기존의 연구 결과에 의하면 교통사고 건수와 심각도는 제한속도가 낮고 속도 표준편차가 작을 때 줄어든다. 속도 감소를 통한 교통사고를 줄이기 위해서 우리나라도 5030정책 시행으로 교통사고를 줄이는 긍정적인 효과는 부각되고 있지만 이동성이 강조되는 간선도로 등에서는 소통측면에서 많은 문제점들이 제기되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 제한속도 변화가 주행속도, 통행속도에 미치는 영향을 분석하고 그 결과를 활용하여 제한속도와 서로 상반관계에 있는 소통과 안전을 조화롭게 고려할 수 있는 제한속도 산정방안과 교통량 변화에 따른 2단계 가변적 제한속도 운영방안을 제시하였다.

본 방안 적용 시 소통증진 효과를 확보하면서 교통사고 심각도에 영향을 주는 큰 속도 차이를 줄일 수 있어 안전 측면에서도 긍정적인 효과가 기대되어 간선도로상의 교통 흐름을 안정화시키는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 교통량 변화에 따른 주행속도 변화를 고려하여 운전자들의 제한속도 준수율을 높여 속도위반도 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 방법은 교통량 변화에 따른 제한속도가 순행속도와 통행속도에 미치는 영향 분석 없이 정성적 조건과 직관적 판단 등으로 제한속도를 설정하는 데 따라 발생되는 많은 문제점을 해결하고 시행착오를 줄이는 데 도움이 되리라 생각한다. 그러나 이러한 적용 결과는 교차로간격과 교통량 변화에 따른 영향 분석에 의한 교통공학적인 판단기준에 의한 것으로 실제 도로 현장에 적용하기 위해서는 도로주변 토지이용, 본 논문에서는 고려하지 못한 도로용량에 영향을 미치는 다양한 요소 등 다양한 현장 여건 및 정책적 요인 등을 토대로 종합적인 판단이 필요하다.

본 논문에서는 횡단보도, 진출입로, 버스정류장 등 교통용량에 영향을 줄 수 있는 세부적인 요소들을 고려하지 못했다. 향후에는 이런 요소들을 포함하는 연구가 필요하다. 그리고 속도뿐만 아니라 속도 편차 등을 포함하여 안전에 대한 고려를 강화할 필요가 있다. 그리고 교차로 간격, 교통량, 제한속도에 대한 보다 세부적인 시나리오 분석 등을 통하여 현장 적용력을 높이고 신뢰도를 높여나가야 할 것이다. 마지막으로 향후에는 속도와 편차 등을 다양한 도로 현장으로부터 직접 수집하여 시뮬레이션 결과와 비교하는 연구 등이 요구된다.

REFERENCES

- Garber, N. J. and Gadiraju, R. G.(1989), "Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents", *Transportation Research Record 1213*.
- 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, 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(2011), *A Study on Variable Speed Limit Operation Plan*.
- 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(2013a), *Rules Commentary and Guidelines for Road Structure and Facility Standards*.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2013b), *Korea Highway Capacity Manual(KHCM)*, South Korea.
- Parker, M. R.(1997), *Effects of Raising and Lowering Speed Limits on Selected Roadway Sections*, Federal Highway Administration, FHWA-RD-97-084.