





| SRI-기본-2022-13 |

# 수원시 도로 운영 평가 지표 개발 및 효율적인 도로관리 방향

Development of Road Operation Evaluation Indicators and Effective Road Management  
Directions in Suwon City

김도훈 · 김성희

연구진

연구책임자 김도훈 (수원시정연구원 연구위원)

참여연구원 김성희 (수원시정연구원 위촉연구원)

연구 자문위원

김응철 (인천대학교 교수)

손지연 (인천연구원 연구위원)

조남건 ((주)트래픽스 전무이사)

최은진 (도로교통공단 선임연구원)

© 2022 수원시정연구원

**발행인** 김선희

**발행처** 수원시정연구원

경기도 수원시 권선구 수인로 126

(우편번호) 16429

전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000

<http://www.suwon.re.kr>

**인쇄** 2022년 9월 30일

**발행** 2022년 9월 30일

**ISBN** 979-11-6819-070-2(93320)

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

김도훈. 2022. 「수원시 도로 운영 평가 지표 개발 및 효율적인 도로관리 방향」. 수원시정연구원

---

비매품

# 주요내용 및 정책제안

## ■ 주요내용

- 주제별 요구사항이 반영된 융복합적 도로 운영 평가 지표 개발
  - 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자, 정책 입안자의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 운영 평가 지표 선정
- 수원시 주요 간선도로 운영 평가
  - 수원시 43개 주요 간선도로와 영통구, 장안구, 권선구, 팔달구 등 행정구역 내 도로 그리고 세부 도로구간의 운영 상태 평가
- 수원시의 효율적인 도로관리 방향 제안
  - 육상 대중교통 활성화 측면에서 순환형 BRT를 도입하여 지역 내 형평성과 효율성을 갖춘 포용적 측면의 도로관리 방향 제안
  - 한정된 도로사업 예산의 효율적 집행으로 이용자와 도로 운영 및 관리자가 추구하는 목적 달성을 위한 사회·경제적 측면의 도로관리 방향 제안
  - 교통부문의 중앙정부 기후변화 대응정책과 연계하여 이산화탄소 배출량이 많은 도로 구간에 대한 환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향 제안

## ■ 정책제안

- ① (포용적 측면의 도로관리 방향) 사회적 교통약자의 이동권 보장과 육상 대중교통 운영의 효율성을 고려한 포용적 측면의 순환형 BRT 구축
  - 승용차, 버스, 버스+지하철(환승) 통행 발생량 집중 지역을 연결하여 교통수단별 불균형적인 통행 발생량 해소
  - 지역 내 철도 음영지역을 연결하여 사회적 교통약자 배려 및 시민의 잃어버린 통행시간 회수
  - 현재 운영 중인 또는 장래 계획된 철도역과의 환승체계를 구축하여 승용차 이용수요 감소 유도

- ② (사회·경제적 측면의 도로관리 방향) 수원시 도로정책 패러다임 변화에 따른 효율적인 도로 운영 방안 및 한정된 도로부문 예산의 합리적 투자
- 교통혼잡도와 도로투자 대비 효율성의 균형점( $V/C=0.65$ )을 기준으로 사업 대상 도로 선정
  - 저비용·고효율·단기사업 중심의 도로 운영·관리체계 및 도로사업 투자 우선순위 마련
  - 주체별 요구사항을 반영하여 한정된 도로예산의 투자 효율성 도모
- ③ (환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향) 기후변화 대응을 위한 정책 입안 시 CO<sub>2</sub> 배출량이 높은 주요 도로 구간에 대한 운영 및 관리 전략 모색
- 수원시 권선구를 통과하는 매송고색로, 서부로, 세화로의 CO<sub>2</sub> 배출량 감축 필요
  - CO<sub>2</sub> 배출량 저감을 위한 도로관리 정책을 우선 시행하고 향후 미래교통기술에 대비하여 AI, IoT 등 혁신 기술이 융합된 디지털 도로망 구축으로 도로정책 확대

## 국문요약

### ■ 서론

#### ○ 연구 배경

- 그간 수원시 주요 간선도로망은 산업 및 지역 경제 발전, 수도권 남부의 핵심 거점도시로 성장하기 위한 기반을 마련하였고 수원시민의 생활권은 인접 도시로 확대되어 지역 간 통행량이 크게 증가
- 수원시는 디지털도로, 자율협력주행 등 국제적인 교통혁신기술 패러다임 변화에 대비한 중앙정부의 도로정책에 따라 도로 운영 및 도로 신설·확장 사업에 대한 예산 규모를 감소하고 있는 추세
- 도로 이용자들은 교통혼잡 및 불합리한 도로 운영으로 인해 불편함을 느끼고 있는 실정임에도 불구하고 수원시는 도로 사업에 대한 재정투입이 지속적으로 감소
- 그동안 도로 운영 평가를 위한 관련 통계자료가 빈약하고 도로 운영 평가 시 도로이용자, 도로 운영 및 관리자, 정책입안자의 요구사항 반영 미흡

#### ○ 연구 목적

- 지속가능성을 고려하여 도로 이용자/도로 운영 및 관리자/정책입안자의 요구사항에 부합되는 융복합적 도로 운영 평가지표 개발
- 수원시 주요도로에 대한 객관적인 운영 효율성 평가
- 현재 도로 운영상태 진단 결과를 토대로 향후 경제적이고 효율적인 도로관리 방향 제시

## ■ 수원시 도로 운영 평가 필요성에 관한 논의

### ○ 한정된 예산의 효율적 투입을 위한 도로 운영 방안 필요

- 수원시민의 생활권은 인접 도시로 확대되어 지역 간 통행량이 크게 증가하였으나 중앙 정부 도로정책 변화에 따라 도로 운영 및 도로 신설·확장 사업 예산 축소
- 정부 예산 강건성 측면에서 대규모 사업비가 발생하는 도로부문의 사업 예산 축소는 필요하나 도로 운영 효율성에 대한 체계적인 진단 없이 예산 감소 정책 추진 시 다양한 원인에 의해서 각종 사회적 비용 유발(교통혼잡비용, 교통사고비용, 환경오염비용 등)

### ○ 교통환경 변화에 따른 효율적인 도로 운영으로 잃어버린 통행시간 회수 필요

- 수원시는 도로사업 투자가 저조함에도 자동차등록대수 증가와 더불어 교통혼잡 가중
- 수원시 차종별 수단분담 증감률 분석 결과 '16년 대비 '20년 승용차 10%p 증가(37→47%), 버스 9.8%p 감소(27.9→18.1%), 지하철 0.6%p 증가(7.3→7.9%)

### ○ 도로축의 연속성 확보로 운전자 및 도로 운영 관리 효율성 도모

- 수원시의 도로망은 경부선으로 인하여 수원시 동쪽 지역과 서쪽 지역이 단절되어 도로 축의 연속성 미흡
- 동일한 도로 축임에도 불구하고 서로 다른 도로명이 부여되어 있어 혼란 초래

### ○ 수원시민의 요구사항이 반영된 도로정책 추진 필요

- 수원시 교통 문제점에 대한 수원시민의 요구사항 분석 결과 주요 교통 문제는 교통혼잡이 31.4%로 가장 높았고, 장기적으로 해결해야할 교통 문제점은 이동성 및 접근성 강화 25.9%, 교통혼잡 해소 23.4%, 친환경 및 지속 가능성 21.5% 순서(김숙희,2019)
- 수원시민은 도로용량 부족, 도로 기하구조의 불합리 등으로 인한 교통혼잡 해소를 도로 부문에서 중요하게 생각

## ■ 도로 운영 평가 방법론

### ○ 도로 운영 평가 기준 항목 설정

- (도로 이용자) 이용자가 주행하는 도로구간의 통행시간, 신호대기, 도로선형의 불합리성 등 복합적인 요인에 따른 만족도 수준을 결정할 수 있는 교통혼잡도 선정

- (도로 운영 및 관리자) 일반적으로 도로구간에서의 운영 효율성 평가는 도로용량을 향상시키기 위한 다양한 교통운영 기법이 적용되는 경우가 많기 때문에 도로투자 대비 효율성을 나타내는 교통량대용량비(V/C) 선정
- (정책입안자) 중앙정부는 도로부문의 온실가스 배출량 감소를 위해 2050 탄소중립을 선언하는 등 이산화탄소 발생량 감축을 위해 다양한 정책을 중점 추진과제로 제시하고 있어 이산화탄소 배출량 선정

#### ○ 주체별 도로 운영 평가 지표 선정

- 주체별 요구사항이 반영된 평가 기준 항목(종속변수)과 공신력 있는 기관에서의 수집된 자료(설명변수)와의 인과관계 분석을 통해 통계적으로 유의미한( $p\text{-value} \leq 0.05$ )변수를 도로 운영 평가 지표로 선정

#### ○ 도로 운영 평가 통합 모델

- 모든 주체의 요구사항이 반영된 결과를 도출하기 위해 도로 운영 평가 통합모델을 제안
- 개별 주체의 요구사항이 반영된 세 개의 모형식을 적용하여 개별 평가 기준 항목 당 33.3점 만점으로 총 3개 항목을 합산한 총점 산출
- 산출된 총점은 개별 주체의 요구사항이 반영된 것으로 총점이 높을수록 도로이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항의 반영도가 높은 것으로 평가

### ■ 도로 운영 평가 결과

#### ○ 종합평가

- 교통혼잡도, 도로투자대비 효율성 그리고 이산화탄소 배출량 점수에 대해서 평가 기준 항목 사이의 산점도 분석을 수행
- 교통량대용량비가 0.64인 경우 여러 주체의 요구사항이 융합될 수 있는 균형점으로 분석

#### ○ 도로축 단위 도로 운영 평가 (43개 주요 간선도로 대상)

- (교통혼잡도) 광고산로, 천천로, 세권로는 총 도로연장의 60% 이상의 도로구간에서 교통혼잡이 발생하는 도로축으로 선정
- (도로투자 대비 효율성) 송원로, 일월로는 총 도로연장의 40% 이상 구간에서 도로투자 대비 효율성 낮은 도로축으로 선정
- (이산화탄소 배출량) 매송고색로794번길은 총 도로연장의 91%가 이산화탄소 배출량이 많은 도로축으로 선정

○ 행정구 단위 도로 운영 평가 (4개 행정구 내 주요 간선도로 중 상위 10% 대상)

- (교통혼잡도) 장안구의 교통혼잡 구간의 도로연장은 20.13km로 이는 장안구의 총 도로연장 대비 22%에 해당되어 다른 구에 비해서 교통혼잡도가 가장 높은 행정구로 분석
- (도로투자 대비 효율성) 영통구의 도로투자 대비 효율성이 낮은 구간의 도로연장은 8.75km로 나타나 다른 구에 비해서 도로투자 대비 효율성이 가장 낮은 행정구로 분석
- (이산화탄소 배출량) 권선구의 이산화탄소배출량이 높은 도로 구간 연장은 65.84km로 나타났으며, 이는 지역 내 총 도로연장 대비 41%에 해당되고 다른 구에서 비해서 이산화탄소 발생량이 가장 많은 행정구로 분석

○ 세부 도로구간 단위 도로 운영 평가 (4,322개 도로구간 중 상위 10% 대상)

- (교통혼잡도) 교통혼잡도가 높은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 248개(총연장 53.13km) 선정, 천천로는 혼잡도로 구간수가 차지하는 비율이 가장 높은 간선도로
- (도로투자 대비 효율성) 도로투자 대비 효율성이 낮은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 203개(총 연장 26.8km) 선정, 매송고색로는 도로투자 대비 효율성이 높은 구간수가 차지하는 비율이 가장 낮은 간선도로
- (이산화탄소 배출량) 이산화탄소 배출량이 많은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 357개(총 연장 156.33km) 선정, 매송고색로794번길과 서부로가 이산화탄소 배출량이 가장 많은 간선도로

■ 수원시 효율적인 도로관리 방향

○ 포용적 측면의 도로관리 방향

- 수원시 44개 행정동을 대상으로 수단별 통행발생량 분포를 검토하기 위해 GIS 커널밀도 분석 수행
- 행정구의 수단별 통행발생량을 검토한 결과 팔달구는 승용차 집중, 영통구는 버스 집중, 장안구는 버스와 지하철(환승) 집중, 권선구는 승용차와 버스 의존도가 높은 구로 분석
- 교통수단별 통행발생량의 불균형을 해소하기 위해서는 지역 내 사회적 교통약자의 이동권 보장과 도로의 효율성을 고려한 포용적 측면의 도로관리 정책 필수
- 순환형 BRT를 통해 지역 내 대중교통 음영지역을 해소하고, 철도역과의 환승체계를 구축하여 승용차 이용수요를 감소시킬 수 있도록 지역 내 형평성과 효율성을 갖춘 포용적 측면의 도로관리 전략 필요

## ○ 사회·경제적 측면의 도로관리 방향

- 도로 이용자의 요구사항과 도로 운영 및 관리자의 요구사항은 대립관계
- 본 연구에서 교통혼잡도, 도로투자 대비 효율성 그리고 이산화탄소 배출량에 대한 상관 분석을 통해 도출한 도로구간별 교통량대용량비( $V/C=0.64$ )는 도로 이용자와 도로관리자가 추구하는 목적에 대한 균형점이 될 수 있으며, 더 나아가 도로 투자 여부를 결정짓는 기준점으로 활용 가능
- 교통량대용량비( $V/C=0.64$ )를 기준으로 도로사업이 필요한 구간을 선정하고 수원시가 가용할 수 있는 도로투자 예산 수준에 따라 도로신설 및 확장 등 대규모 사업 또는 신호체계개선, 교차로 도류화 등과 같은 소규모 사업으로 도로사업 정책 방향 결정

## ○ 환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향

- 교통부에서 이산화탄소 저감을 위한 노력은 세계적으로 높은 관심
- 중앙정부는 탄소중립 비전 및 중점 추진과제로 전기·수소차 보급을 가속화하고 대중교통 활성화를 도로정책 방향으로 설정
- 수원시는 이산화탄소가 집중적으로 발생하고 있는 도로구간에 대해 이산화탄소 저감 정책을 추진하고 더 나아가 수원시의 주요 간선도로에는 미래교통기술에 대비하여 AI, IoT, 빅데이터 등 혁신 기술이 융합된 디지털 도로망 구축으로 도로정책 확대

## ■ 결론 및 향후과제

### ○ 결론

- 본 연구는 수원시 맞춤형 도로 운영 평가 지표를 개발하고, 이 지표를 이용하여 현재 운영 중인 주요 간선도로를 대상으로 평가 결과를 도출하여 향후 수원시가 나아가야 할 중장기적 도로정책 방향을 제시

### ○ 향후과제

- 수집된 검지기 자료에 대한 면밀한 검증을 통해 분석결과의 정확도 향상, 교통사고유발 요인에 대한 도로 운영 평가 등 연구수행 과정에서 나타난 한계점을 통해 후속과제의 필요성 제안

주제어: 교통혼잡도, 교통량대용량비, 이산화탄소, 간선급행버스체계, 도로관리



---

## 차 례

---

<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	3
제2절 연구의 범위 및 방법 .....	4
1. 연구의 범위 .....	4
2. 연구의 방법 .....	5
<b>제2장 선행연구 고찰</b> .....	<b>7</b>
제1절 수원시 도로 운영 평가 필요성 .....	9
제2절 도로 운영 평가 지표 관련 선행연구 .....	11
제3절 도로 운영 평가 방법론 관련 선행연구 .....	13
제4절 시사점 및 차별성 .....	15
1. 도로 운영 평가 지표 변화 추이 .....	15
2. 선행연구 시사점 .....	16
3. 연구의 차별성 .....	17
<b>제3장 연구 방법론</b> .....	<b>19</b>
제1절 연구 방법 개요 .....	21
제2절 평가 기준 항목 선정 .....	23
1. 도로 이용자 관점의 평가 기준 항목 .....	23
2. 도로 운영 및 관리자 관점의 평가 기준 항목 .....	24
3. 도로정책 입안자 관점의 평가 기준 항목 .....	24
제3절 도로 운영 평가 방법 .....	25
1. 도로 운영 평가 지표 선정 방법 .....	25
2. 도로 운영 평가 방법 .....	25

<b>제4장 도로 운영 평가 지표 개발</b> .....	<b>27</b>
제1절 분석자료 수집 .....	29
1. 자료 수집 .....	29
2. 자료 보정 .....	30
제2절 도로 운영 평가 모형 이론적 배경 .....	32
1. 다중선형회귀모형(Multiple Linear Regression) .....	32
2. 이항로지스틱회귀모형(Binomial Logistic Regression) .....	34
3. 정규화(Standard Min-Max Scaler) .....	35
제3절 도로 운영 평가 지표 개발 .....	36
1. 도로 이용자 관점의 지표 개발 .....	36
2. 도로 운영 및 관리자 관점의 지표 개발 .....	38
3. 도로정책 입안자 관점의 지표 개발 .....	40
제4절 도로 운영 평가 통합 모델 .....	42
1. 주체별 도로 운영 평가 지표 .....	42
2. 도로 운영 평가 통합 모델 제안 .....	43
<b>제5장 수원시 도로 운영 평가</b> .....	<b>45</b>
제1절 종합평가 .....	47
제2절 도로측 단위 도로 운영 평가 .....	51
1. 교통혼잡도 평가 결과 .....	51
2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	52
3. 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	53
제3절 행정구 단위 도로 운영 평가 .....	54
1. 교통혼잡도 평가 결과 .....	54
2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	55
3. 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	56
제4절 세부 도로구간 단위 도로 운영 평가 .....	57
1. 교통혼잡도 평가 결과 .....	57
2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	59
3. 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	61

<b>제6장 효율적인 도로관리 방향</b> .....	<b>63</b>
제1절 포용적 측면의 도로관리 방향 .....	65
제2절 사회·경제적 측면의 도로관리 방향 .....	67
제3절 환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향 .....	68
<b>제7장 결론 및 향후 과제</b> .....	<b>69</b>
제1절 결론 .....	71
제2절 향후 과제 .....	74

---

## 표 차례

---

〈표 4-1〉 분석 DB 구축 현황 .....	30
〈표 4-2〉 교통혼잡 지표 개발 결과 .....	37
〈표 4-3〉 도로투자 대비 운영 효율성 평가 지표 개발 결과 .....	39
〈표 4-4〉 이산화탄소 발생량 평가 지표 개발 결과 .....	41
〈표 4-5〉 주체별 도로 운영 평가 지표 선정 결과 .....	42
〈표 4-6〉 도로 운영 평가 통합 모델을 통한 구간별 점수화 .....	43
〈표 5-1〉 종합평가 요약 .....	47
〈표 5-2〉 도로축 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	51
〈표 5-3〉 도로축 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	52
〈표 5-4〉 도로축 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	53
〈표 5-5〉 행정구 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	54
〈표 5-6〉 행정구 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	55
〈표 5-7〉 행정구 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	56
〈표 5-8〉 세부 도로구간 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	57
〈표 5-9〉 세부 도로구간 교통 혼잡도 .....	58
〈표 5-10〉 세부 도로구간 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	59
〈표 5-11〉 세부 도로구간 도로투자 대비 효율성 .....	60
〈표 5-12〉 세부 도로구간 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	61
〈표 5-13〉 세부 도로구간 이산화탄소 배출량 .....	62

---

## 그림 차례

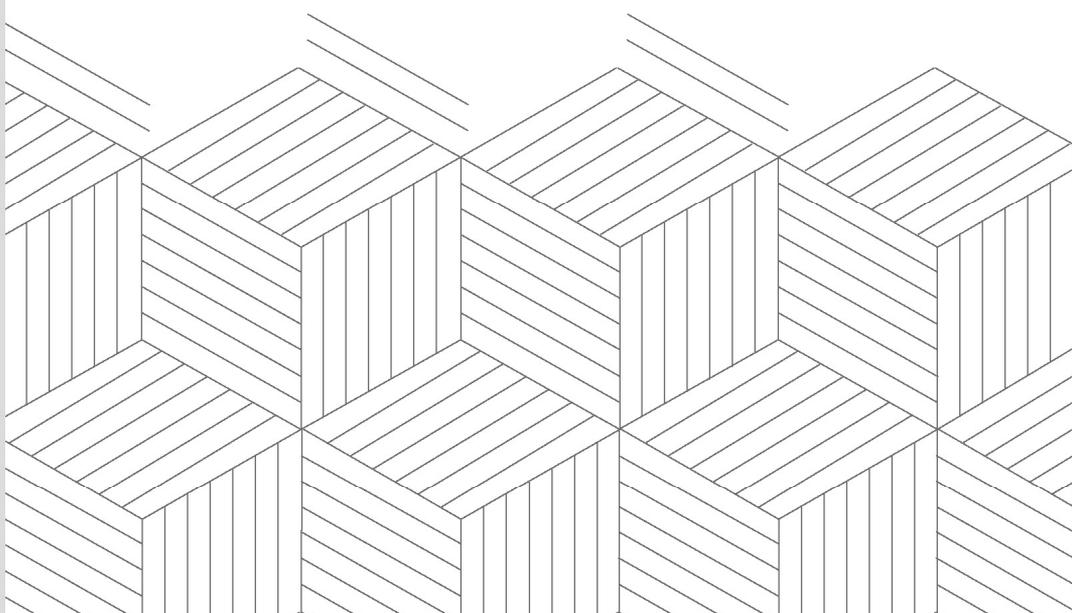
---

〈그림 1-1〉 연구 범위 .....	4
〈그림 2-1〉 도로 운영 평가지표 변화 추이 .....	16
〈그림 2-2〉 연구 수행체계 .....	18
〈그림 3-1〉 연구 흐름도 .....	22
〈그림 4-1〉 수집 자료의 이상치 탐색 .....	31
〈그림 4-2〉 수원시 차로수별 교통량대용량비 .....	39
〈그림 5-1〉 교통혼잡도 점수와 이산화탄소발생량 점수의 산점도 .....	48
〈그림 5-2〉 교통혼잡도 점수와 도로투자대비 효율성 점수의 산점도 .....	49
〈그림 5-3〉 이산화탄소 발생량 점수와 도로투자대비 효율성 점수의 산점도 .....	50
〈그림 5-4〉 도로축 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	51
〈그림 5-5〉 도로축 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	52
〈그림 5-6〉 도로축 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	53
〈그림 5-7〉 행정구 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	54
〈그림 5-8〉 행정구 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	55
〈그림 5-9〉 행정구 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	56
〈그림 5-10〉 세부 도로구간 단위 교통혼잡도 평가 결과 .....	57
〈그림 5-11〉 세부 도로구간 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과 .....	59
〈그림 5-12〉 세부 도로구간 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과 .....	61
〈그림 6-1〉 교통수단별 GIS 커널밀도분석 결과 .....	65
〈그림 6-2〉 수원시 순환형 BRT 구축 방향(안) .....	66



# 제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적  
제2절 연구의 범위 및 방법





# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

그간 수원시를 경유하는 주요 간선도로망은 지역 간 경계를 넘어 국가 산업 및 지역 경제 발전을 위한 기능뿐만 아니라 수원시가 수도권 남부의 핵심 거점 도시로 성장할 수 있도록 중추적인 역할을 담당해 왔다. 또한 수원시민의 생활권은 인접 도시로 확대되어 지역 간 통행량이 크게 증가하고 있음에도 불구하고 수원시는 디지털도로, 자율협력주행 등 국제적인 교통혁신기술 패러다임 변화에 대비한 중앙정부의 도로정책에 맞추어 도로 운영 및 도로 신설·확장 사업에 대한 예산 규모를 감소하고 있는 추세이다.<sup>1)</sup> 그러나 도로 사업에 대한 재정투입이 지속적으로 감소하고 있는 상황에서 여전히 도로 이용자들은 교통혼잡 및 불편한 도로 운영으로 인해 불편함을 느끼고 있다. 결국 지방정부의 예산 강건성 측면에서 보면 대규모 사업비가 소요되는 도로부문의 사업예산 축소는 필요하다고 판단된다. 그러나 간과하지 말아야 할 부분이 도로의 운영 효율성에 대한 체계적인 진단 없이 추진된 도로부문의 예산 감소 정책은 도시, 교통, 환경 부문에서 각종 문제를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 미래교통기술 도입 시 장애가 될 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 수원시의 재정 상황을 고려하여 현재 운영 중인 도로시설이 효율적으로 운영될 수 있도록 다양한 측면에서 대응방안을 모색할 필요가 있다. 여기서 고려해야 할 사항은 교통혼잡 해소로 개인의 통행시간이 최소화되기를 원하는 도로이용자와 도로사업 준공 이후에 도로투자의 효율성에 대한 평가결과를 원하는 도로 운영 및 관리자 그리고 도로부문에서 기후변화 대응책을 고민하고 있는 정책기관 등 다양한 도로관련 주체의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 평가체계가 현재까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자 모두의 요구사항을 충족할 수 있는 융복합적인 도로 운영 평가지표를 개발하고, 이 지표를 통해 현재 운영 중인 도로의 효율성을 진단하여 향후 경제적이고 효율적인 도로 관리방향을 제시하고자 한다.

1) 2016년 대비 2019년 도로사업 예산 증감률은 중앙정부 7.9% 감소, 수원시 2.3%감소함(「2020국가교통통계, 국토부, pp. 278-279」 및 「수원시도로건설관리계획(2021-2025), p.552」 참조)

## 제2절 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구의 범위

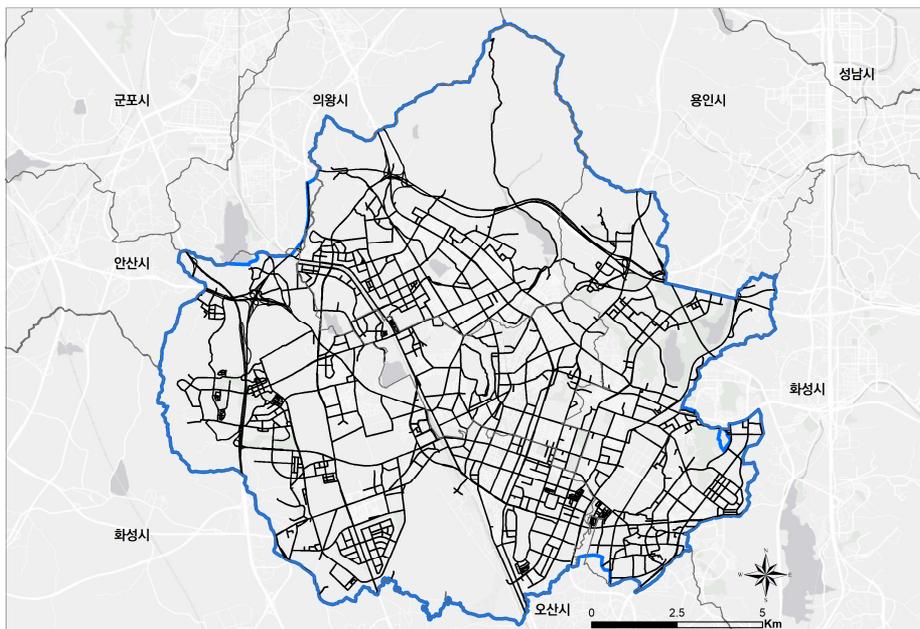
본 연구의 범위는 공간적 범위, 시간적 범위, 도로유형 범위로 구분하였다.

우선 공간적 범위는 수도권 남부의 핵심도시인 수원시를 기준으로 북쪽으로는 안산시, 군포시, 의왕시, 성남시가 위치해 있고, 남쪽으로는 용인시, 오산시, 화성시와 인접해 있기 때문에 수원시 전역의 도로구간과 인접 도시와의 연결도로까지로 한다.

본 연구의 시간적 범위는 자료의 수집이 가능한 시점으로 한다. 이때 과거부터 현재까지 지속되는 시계열 속성의 자료는 가장 최신자료를 이용한다. 그리고 공신력 있는 다양한 기관에서 자료를 수집할 경우에는 기관별 수집 자료의 상호 비교를 통해 자료의 오류 여부에 대한 검증과정을 수행한 후 최종 분석 자료로 활용한다.

이외에도 도로유형은 고속도로, 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로 등으로 도로기능에 따라 구분한다.<sup>2)</sup> 다만, 수원시의 모든 도로를 대상으로 분석하기에는 자료 수집, 분석기간 등에 따른 한계점이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도로유형 범위를 이동성과 접근성의 기능이 조화롭게 포함되어 있는 주간선도로와 보조간선도로를 대상으로 한다.

〈그림 1-1〉 연구 범위



2) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 -해설-」, 국토해양부, 2009, p.53.

## 2. 연구의 방법

본 연구는 수원시의 주요 간선도로를 대상으로 다양한 주체의 요구사항이 반영될 수 있는 도로 운영 평가 지표를 개발하여 수원시의 도로 운영 상태를 진단하고 수원시 맞춤형 도로관리 방향을 제안하기 위해 본 연구의 흐름은 다음과 같이 설정하였다.

제1장에서는 수원시 도로 운영 평가를 위해 본 연구의 배경 및 목적을 제시하고 연구 수행 범위 및 방법을 제시한다.

제2장에서는 도로 운영 평가의 필요성에 대한 논의를 통해 시사점을 도출한다. 그리고 도로 운영 평가 지표와 도로 운영 평가 방법론에 대한 선행연구를 상세히 고찰 후 본 연구와 선행연구 사이의 차별성을 제시한다.

제3장에서는 선행연구 고찰 결과를 토대로 본 연구의 방향 설정, 다양한 주체가 요구하는 도로 운영 평가 기준 항목 선정, 도로 운영 평가 지표 개발 등 본 연구의 목표인 도로 운영 평가 수행을 위한 상세한 방법론을 설정한다.

제4장에서는 공신력 있는 기관의 자료 수집 방법, 수집 자료의 보정 그리고 분석 DB 구축 과정을 설명하고 수원시 도로 운영 평가 지표를 개발함에 있어서 관련 모형의 이론적 배경을 고찰한다. 그리고 수집된 자료를 통해 주체별 요구사항이 반영된 도로운영 평가 모형을 개발하고 이들 모형을 구성하고 있는 평가지표와 종속변수간의 통계적 유의성 및 인과관계를 분석한다. 최종적으로 선정된 도로운영 평가 지표를 이용하여 도로운영 통합 모델을 제안한다.

제5장에서는 제4장에서 제안한 도로 운영 통합 모델을 적용하여 수원시 도로 운영 평가에 대한 종합분석 결과를 제시한다. 그리고 분석 그룹은 다양한 유형으로 구분하여 현재 효율적으로 도로 운영이 이루어지고 있는 도로구간과 그렇지 못한 도로구간을 상호 비교·분석한다.

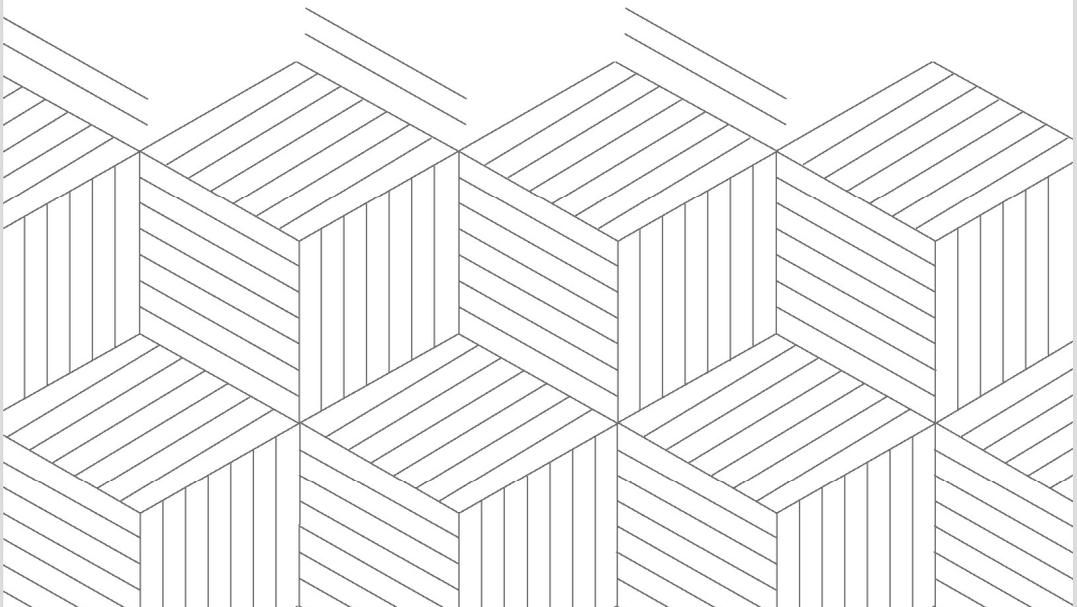
제6장에서는 수원시 도로 운영 평가 결과를 토대로 수원시 맞춤형 도로관리 방향을 제시한다. 이때 중앙정부의 도로정책 패러다임 변화, 교통부문의 주요 이슈 등을 고려하여 효율적이고 실현가능한 중장기적인 도로관리 전략을 제안한다.

제7장에서는 본 연구의 종합 결론을 수록하고 본 연구과정에서 도출된 한계점 및 후속연구의 필요성에 대해서 논의한다.



## 제2장 선행연구 고찰

- 제1절 수원시 도로 운영 평가 필요성
- 제2절 도로 운영 평가 지표 관련 선행연구
- 제3절 도로 운영 평가 방법론 관련 선행연구
- 제4절 시사점 및 연구의 차별성





## 제2장

## 선행연구 고찰

## 제1절 수원시 도로 운영 평가 필요성

본 연구는 수원시의 도로 현황 및 문제점, 교통수단별 통행량 및 분담률 그리고 수원시민이 바라는 도로정책 방향으로 구분하여 수원시 도로 운영 평가에 대한 필요성을 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 수원시는 도로망 내 단절구간과 및 불합리한 도로명에 대한 개선이 필요하다. 수원시의 도로망은 동일한 도로축임에도 불구하고 경부선으로 인하여 수원시 동쪽 지역과 서쪽 지역 사이를 연결하는 도로 축의 연속성이 미흡하여 도심간 단절을 초래하고 있다. 특히, 열악한 동서 간 연결도로는 고가차도 또는 지하차도로 운영 중에 있으며, 이러한 도로시설은 차량의 집중현상과 더불어 병목현상이 발생하기 때문에 국지적이고 극심한 교통혼잡이 발생하는 특징이 있다. 이밖에도 수원시 도로망은 고속도로 4개 노선(L=24.4km), 주간선도로 14개 노선(L=96.6km) 그리고 보조간선도로 27개 노선(L=87.2km)으로 총 연장 약 208km에 달한다. 이중에서 서수원로와 서부로1390번길, 매송고색로793, 794번길은 하나의 도로축으로 연결되어 있고, 차로폭원과 차로수 등 도로규격 및 도로기능이 동일하다. 여기서 고려해야할 사항은 연속성을 갖는 도로 축임에도 불구하고 서로 다른 도로명이 부여되어 있어 이로 인하여 운전자, 도로관리자 및 운영자 등에게 혼란을 초래하고 있다는 것이다.

둘째, 수원시는 도로부문 예산 감소, 교통량 증가 이로 인한 교통혼잡, 수원시민의 통행패턴 변화를 고려한 대응책이 필요하다. 수원시는 도로사업 투자가 저조함에도 불구하고 자동차등록대수는 꾸준히 증가하고 있으며 이와 더불어 교통혼잡이 가중되고 있는 실정이다<sup>3)</sup>. 또한 2020년을 기준으로 수원시의 13개 교통수단별 통행량을 분석한 결과 승용차의 수단분담률이 47.3%로 가장 높고, 버스 18.1%, 철도 7.9%, 택시 3.2% 순서로 나타났다<sup>4)</sup>. 그리고

3) 2016년 대비 2020년 자동차등록대수 2.7% 증가, 오전첨두시 정체구간 비율 14%p(16년 27%→20년 41%) 증가, KOSIS, 경기교통정보센터 자료 참고

4) 「2021년 수도권 여객기종점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업-제3편 현행화」, 국토교통부, 2021.12, p.423

2016년 대비 2020년 차종별 수단분담 증감률은 승용차는 10%p 증가하였고, 버스는 9.8%p 감소하였다<sup>5)</sup>. 이밖에도 2020년 기준 수원시민의 통행패턴은 수원시 내부 통행이 55.7%, 경기도 30.5%, 서울 9.6% 그리고 기타 지역 4.2%로 나타났다. 결국, 수원시는 자동차등록대수가 꾸준히 증가함에 따라 대중교통보다 승용차 이용률이 높고 수원시 내부 통행량이 많아 도심 내 도로구간에서는 상시적인 교통혼잡이 발생하고 있음에도 불구하고 적절한 도로사업 추진을 위한 예산이 부족한 실정이다. 따라서 수원시는 도로 이용자의 만족도를 높일 수 있는 스마트한 도로 운영 및 관리가 요구된다.

셋째, 수원시 도심부 주요 간선도로의 통과교통량에 대한 우회처리 방안이 필요하다. 수원시 도심을 통과하는 일반국도는 수원시의 주요 간선도로로서 도시 공간구조의 골격을 형성하며, 국도1호선, 국도42호선, 국도43호선은 수원시 내부교통량뿐만 아니라 지역 간 통과교통량이 혼재되어 있어 해당 노선에서의 교통혼잡이 가중되고 있다<sup>6)</sup>. 특히, 국도 1호선은 수원시 남북을 관통하는 노선으로서 지역 간 많은 통과교통량이 내부통행량과 혼재되어 상시적으로 교통혼잡이 발생하고 있다. 또한 국도42호선은 승용차, 버스, 철도, 택시 등 교통수단의 집결지인 수원역과 연결되는 노선으로 극심한 교통혼잡이 발생하고 있는 실정이다. 이처럼 교통량이 집중되고 있는 도로축에 대해서는 최적의 교통수요관리가 이루어 질수 있도록 수원시 ITS 정보와 연계된 도로관리가 필요한 것으로 판단된다.

넷째, 수원시는 수원시민의 요구사항을 반영한 도로정책을 추진할 필요가 있다. 2019년 수원시민 474명을 대상으로 수원시 교통의 주요 문제점과 장기적으로 해결해야 할 문제점에 대해서 설문조사를 수행하였다(김숙희, 2019). 그 결과 수원시의 주요 교통문제는 교통혼잡 발생이 31.4%로 가장 높았고, 교통운영 및 도로구조 한계가 26.4%로 그 뒤를 이었다. 그리고 수원시가 장기적으로 해결해야할 문제점으로는 이동성 및 접근성 강화가 25.9%로 가장 높았고, 교통혼잡 해소 23.4%, 친환경 및 지속 가능성 강화 21.5% 순서로 나타났다. 이와 같이 수원시민은 도로용량 부족, 도로 기하구조의 불합리성 등으로 인한 교통혼잡 해소를 도로부문에 중요하게 생각하고 있으며, 이외에도 수원시의 교통정책으로 친환경 및 지속가능성을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수원시 도로 운영 평가 지표를 선정함에 있어서 이러한 수원시민이 인식하고 있는 교통문제를 포함하여 검토해볼 필요가 있다.

5) 「2017~2021년 수도권 여객기종점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업-제3편 현행화, 국토교통부」 참고

6) 「수원시 도로건설·관리계획(2021~2025)」, 수원시, 2021.9, p.245

## 제2절 도로 운영 평가 지표 관련 선행연구

본 연구는 그동안 도로 운영 평가에 사용된 지표에 대해서 선행연구를 통해 검토하였다. 선행연구에서는 주로 교통혼잡 평가를 위한 지표, 특정 지역의 도로인프라 수준 평가를 위한 지표, 도로안전 여부를 판단하기 위한 지표 등이 사용되었다.

먼저 미국에서는 교통혼잡을 평가하기 위한 지표로 통행률을 적용하고 있으며, 이는 속도의 역수로 단위거리당 통행시간을 의미한다(NCHRP, 1997). 이외에도 교통혼잡 평가 지표는 도로연장길이 또는 차량당주행거리로 표현되는 RCI(Roadway Congestion Index)와 자유통행시간 대비 첨두시통행시간의 비를 의미하는 TTI(Travel Time Index)가 주로 적용되고 있다(TTI, 2009). 그러나 통행속도, 교통량 등과 같은 단일지표만을 이용하여 교통혼잡을 평가할 경우에는 적용된 지표마다 다른 결과를 도출할 수 있다는 한계점을 제시한 연구가 있다(오혜림 외, 2017). 이 연구는 단일지표 적용시의 한계점을 해결하기 위해서 복합 지표의 필요성을 제시하였고 교통량, 속도, 밀도의 지표를 경험식으로 구성된 새로운 교통혼잡 지표를 개발하였다.

국가도로망을 대상으로 선정된 도로 운영 평가지표는 다양한 집단의 이해관계에 영향을 줄 수 있으며 도로사업 예산 배분에 활용될 수 있기 때문에 가장 우선시 되어야 할 지표는 객관성을 가지고 있어야 한다고 주장한 연구가 있다(유정복 외, 2016). 이 연구는 교통량, 속도, 밀도, 통행거리, 통행시간 등 다양한 정량적 평가지표 후보군을 선정하였으며, 이들 평가지표 중에서 관리자 관점과 이용자 관점으로 구분하고 AHP 분석을 통해 가중치가 부여된 도로 운영 효율성 평가 지표를 도출하였다. 또한 교통측면의 효율성을 평가하기 위해서는 선행 연구에서 적용된 지표들을 일반화하여 전략적 정책 목표를 도로용량 극대화, 환경오염 저감, 토지이용 활성화 그리고 교통 운영 및 수단 분담의 효율성을 제시한 연구도 있다(Sullivan et al, 2010).

이밖에도 도로 운영 측면과 교통사고와의 관계를 분석하기 위한 지표를 개발한 사례가 있다. 일반적으로 지역 내 교통안전도는 도로연장, 교통량 등과 같은 노출도를 반영한 사고율을 이용하여 분석한다(FHWA, 2011). 즉, 지역 간 안전도를 비교하기 위해서 노출도를 반영하는 이유는 지자체마다 토지면적, 자동차 등록대수, 교통량 수준 등과 같이 교통사고를 유발시킬 수 있는 요인을 나타내는 노출도의 규모가 상이하기 때문이다. 그러나 이러한 노출도 중에서 인구, 자동차등록대수, 면적과 같은 모집단 노출도 지표보다는 교통사고와 연관된 도로연장, 주행거리, 주행시간 등을 반영한 안전도 평가방법의 개선 필요성에 대한 요구가 있어 왔다(김상구, 2019, 박수빈 외, 2020, 김기용 외, 2013). 이 외에도 도로에서의 위험도는 위험

상황에 따른 다양한 요인들의 조합으로 표현할 수 있는데, 교통시설물 유형, 스쿨존, 결빙, 주야간 시간대 등 개별 요인들의 가중치를 적용한 지표인 RRI(Risk Assessment Index)를 통해 도로의 안전도를 평가한 연구가 있다(전교석 외, 2021). 이처럼 도로 안전도 평가 지표를 선정하는 기존 연구에서도 단순히 사고건수, 사고심각도, 사고율 등을 단독으로 사용할 경우 국토면적, 자동차등록대수, 인구수 등 서로 다른 교통환경 조건 차이 때문에 비교가 무의미할 수 있음을 지적하였다(김상구, 2021). 이 연구에서는 위험도 지표를 선정함에 있어 인구대비자동차계수와 인구대비도로연장계수를 위험도 노출변수로 선정하여 국가간 비교를 수행하였다.

앞서 검토된 바와 같이 그동안 수행된 도로 운영 평가와 관련된 선행연구에서는 새로운 평가지표를 개발하거나, 이미 선행연구에서 개발되었던 평가 지표를 이용하여 특정지역의 도로 운영 평가에 적용해보는 유형의 연구가 대부분이다. 또한 이들 선행연구에서 개발되거나 이용된 도로 운영 평가 지표는 지역면적대비 도로연장, 인구수대비 도로연장 등 지역 단위 또는 도로축 단위의 거시적 평가지표와 짧은 도로구간에서의 통행속도, 교통량, 체체도 등 미시적 평가지표로 구분된다. 이외에도 선행연구에서는 연료소모량, 환경오염비용 등과 같은 기타 평가지표가 적용되었다. 여기서 고려해야할 사항은 도시부의 교통류의 소통 상태를 진단하는데 있어서 교통혼잡 지표는 교통시설운영과 교통수요에 대한 개념이 혼재되어 있으며, 기존의 교통혼잡 지표는 주로 특정지점이나 특정구간의 혼잡상태를 파악하기 때문에 교통정책 및 계획 입안 과정에서 활용성에 한계가 있다(김상근, 2010).

무엇보다도 도로에 대한 평가는 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자, 정책입안자 등 다양한 주체에 따라 그 평가 목적에 따른 지표가 다르게 적용될 수 있다. 그러나 다양한 주체가 요구하는 만족도 높은 통합 평가에 관한 연구는 현재까지 미미한 수준이다. 다만, 개별 주체의 요구사항을 포괄할 수 있는 도로 운영 평가 결과를 도출하기 위해서는 도로 운영 평가 목표를 주체에 맞게 세분화하고 개별 목표에 대한 세부적인 평가지표를 설정하여 종합적으로 평가하는 방법을 고려해볼 수 있다.

### 제3절 도로 운영 평가 방법론 관련 선행연구

본 연구는 선행연구를 통해 도로 운영 평가 방법론을 검토하였다. 선행연구에서 적용한 도로 운영 평가 방법은 주로 회귀모형, AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층화분석방법), 구조방정식 등이 사용되었다.

우선 도로 운영 평가를 위해 다양한 평가지표와의 인과관계를 분석할 수 있는 다중회귀모형을 적용한 연구가 있다(문형표 외, 2004; 안흥기 외, 2007, 김형태 외, 2010; 유재광 외, 2017). 이 연구들은 주로 도로연장을 종속변수로 설정하여 인구, GDP, 국토면적, 도시화율 등의 설명변수와 인과관계 분석을 수행하였다. 이외에도 몇 개의 평가 항목 즉, 종속변수를 설정하여 해당 종속변수마다 다양한 평가지표를 개발한 연구가 있다(김장욱 외, 2008). 이 연구에서 개발된 도로 운영 평가 항목은 주행성, 안전성 그리고 정보화이며, 각각의 평가 항목에 따른 세부적인 평가 지표를 선정하기 위해서 다중회귀모형, 포아송회귀모형, 주성분분석, 구조방정식모형 등 다양한 통계분석 방법론을 적용하여 평가항목과 다양한 평가 지표 간의 연관성을 분석하였다. 그러나 이 연구는 이용자 측면에서의 주행성, 안전성, 정보화와 같은 개별 평가 항목에 따른 평가 지표 개발에 의의를 두고 있으나 도로를 이용하는 서로 다른 주체의 요구사항이 반영된 통합적 평가 결과를 도출하는데 한계가 있다. 이러한 한계점을 해결하기 위해서 경제성, 환경성, 안전성 지표를 포함한 지속가능한 도시부 도로 통합 평가방법론을 제시한 연구가 있다(최용석, 2011). 이 연구는 평가항목 및 개별 지표 사이의 중요도 분석 그리고 지표별 가중치를 선정하기 위해 AHP 분석을 수행하였고, 선정된 지표를 이용하여 도시부 도로의 평가를 수행하기 위해 GST(Grey System Theory, 회색체계이론)를 적용하였다. 이러한 GST 분석 방법은 경제, 농업, 기계, 관광 등 다양한 분야에서 사용된다(Deng, 1990; Donaj, 2017; Liu, 1998, Chen, 1999; Tan 1997; Werner, 2009; Wang, 2014; Yang, 2009). 그러나 GST는 엄격한 통계분석에 필요한 유의수준 등 통계 조건에 의존하지 않으며, 불완전하고 불확실한 데이터가 포함되어 있는 자료의 모호한 경계 값을 결정하는데 사용된다(Deng, 1989; Liu, 2010; Forrest, 2011; Dytczak, 2014).

이외에도 정성적 평가 방법으로 가장 많이 활용되는 방법은 다기준(Multi-criteria Analysis) 기법으로 세부적으로는 계층화 분석 방법(AHP), 다속성효용이론(MAUT), 퍼지이론(FUZZY), 퍼지 계층화 이론이다(법문사, 2015). 이 중에서 도로 평가 지표에 정성적 평가 지표를 적용하거나 또는 다양한 평가 지표에 대한 가중치를 부여하기 위해 주로 AHP분석 방법론이 주로 적용된다. 최근에는 자연환경을 최소화하고 탄소발생을 저감시키는 설계기술이 도입되고 있다(손원표 외, 2015). 이 연구는 그린네트워크 도로의 개념을 도입하여 환경

성, 경제성, 시공성 그리고 유지관리로 구분하여 평면기하구조, 감가속도, 녹지축 보존 여부, 환경비용분석 등 다양한 평가지표에 대해서 30명의 전문가 설문조사를 수행하여 AHP 분석을 통해 지표별 가중치를 도출하였다. 또한 도시부 도로의 운영 효과를 평가하기 위해 일반적으로 적용되는 통행속도, 지체 등과 같은 정량적 평가 지표 이외에도 도로의 청결, 타운전자의 법규 위반 등의 정성적인 측면을 함께 고려하여 도로 운영 평가를 수행한 연구에서는 별도의 설문조사를 수행하여 정성적 평가 지표의 중요도-만족도를 평가할 수 있는 IPA(Importance-Performance Analysis) 기법을 적용하였다(김태호, 2008).

이러한 정성적 평가의 한계점은 이 기법을 운용할 때, 전문가와 이해당사자를 최대한 객관적인 방법으로 섭외하고 설문지의 작성을 의뢰해야 하는데 현실적으로 객관성을 완벽하게 유지하기란 쉽지 않다(한국환경정책평가연구원, 2011). 즉, 다기준분석방법론은 평가 항목에 대한 가중치 부여 과정에서 분석가의 주관이 반영되어 객관성이 결여될 가능성이 높다(유정복 외, 2016). 또한 AHP 분석을 통해 가중치를 부여하여 평가 지표별 우선순위를 제안하는 연구가 수행되었다. 이러한 AHP 분석 방법론은 정량적 평가결과와 정성적 평가결과와 통합적 종합 결과 도출시 적용이 가능하며, 평가척도가 동일하나 샘플수가 적어 통계적 분석이 어려운 경우에 주로 적용되는 방법이다. 이러한 평가 방법론의 단점은 설문조사 수행 시 응답자의 주관적 편향이 반영될 수 있다는 점이다. 이와 유사한 방법론으로 구조방정식 모형을 적용한 연구도 있는데 구조방정식 모형을 통해 산출된 설명변수의 가중치는 분석가의 주관적 편향이 개입될 가능성이 있다. 무엇보다도 AHP 분석은 의사결정이 필요한 항목을 요인들로 나누고 계층화하여 쌍대비교를 통해 상대적 가중치를 도출하는 효과적인 방법이지만 AHP 분석에는 치명적인 오류가 있음에도 불구하고 국내 및 해외의 대부분의 연구에서는 이를 발견하지 못하고 잘못된 방법으로 AHP를 적용하고 있다(최민철, 2020). 다시 말해서 AHP 계층 구조 설정 시 대항목과 동일한 개수의 소항목으로 구성된 경우에는 상대적 중요도가 모두 같다면, 대항목과 소항목의 모든 가중치가 동일하게 나타나지만, 소항목의 개수가 다른 경우에는 상대적 중요도가 같다고 가정하였음에도 불구하고 소항목 간의 가중치가 다르게 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 통계기법을 이용한 분석 방법론을 적용한 연구가 있다. 그러나 단일 설명변수가 종속변수에 미치는 인과관계 분석 또는 다수의 설명변수가 종속변수에 영향을 미치는 인과관계 분석을 위해 회귀분석 모형을 적용하였으나, 이러한 방법론을 적용한 분석결과는 단일 주체의 요구사항만이 반영된 결과로서 다양한 주체의 요구사항을 반영하는데 한계가 있다.

## 제4절 시사점 및 연구의 차별성

### 1. 도로 운영 평가 지표 변화 추이

본 연구는 선행연구에서 다루었던 도로 운영 평가 지표를 정부의 도로정책 방향에 따라 연대기 순으로 정리해 보면 <그림 2-1>과 같다. 2000년대 이전에는 도로 신설, 확장 등 도로 인프라 수준을 평가하기 위해 차로수, 교통량 등의 지표가 사용되었고, 이후 2010년까지는 교통안전 강화정책으로 도로에서의 교통사고와 관련된 지표들이 주를 이루었다. 또한 최근까지는 저비용 고효율의 도로 운영정책을 추진하면서 교통혼잡 개선 여부를 평가하는 지표들이 적용되었다. 이처럼 중앙정부의 도로 운영 평가는 과거의 양적확충에서 질적 개선으로 변화됨을 알 수 있다. 이러한 도로 운영평가 지표 변화 추이를 검토한 결과 향후에는 C-ITS와 관련된 교통체계 변화와 기후변화 대응 정책 등을 고려한 도로 운영 평가 지표가 요구된다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 도로 운영 평가지표 개발 시 이러한 모든 지표를 함께 검토해 볼 필요가 있다.

<그림 2-1> 도로 운영 평가지표 변화 추이



### 2. 선행연구 시사점

본 연구에서 도출한 선행연구의 시사점은 도로 운영 평가를 수행함에 있어서 다양한 주체의 요구사항을 포괄할 수 있는 평가지표 및 평가 방법론 개발에 관한 연구가 미미한 실정이며, 미래 교통환경 변화에 대비한 새로운 평가 지표가 선정되어야 한다는 것이다.

우선 선행 연구에서 주로 사용된 도로 운영 평가 지표는 거시적 평가지표와 미시적 평가지

표로 구분된다. 즉, 국가관리 도로를 대상으로 운영 효율성을 평가한 연구에서는 지역 인구대비 총 도로연장, 총인구수 등 거시적 평가 지표가 주로 사용되었다(문형표 외, 2004; 안흥기 외, 2007; 김태호, 2008; 김형태 외, 2010; 유재광 외, 2017). 그러나 소규모 또는 단구간 도로를 대상으로 운영 효율성을 평가한 연구에서는 교통혼잡을 평가하기 위해서 통행속도, 지체도, 교통량대용량비(V/C: Volume / Capacity) 등과 같은 미시적 평가 지표가 사용되었다(NCHRP, 1997; 김장욱 외, 2008; TTI, 2009; 김상곤, 2010; FHWA, 2011; 최용석, 2011; 김기용 외, 2013; 손원표 외, 2015; 유정복 외, 2016; 오혜림 외, 2017; 김상구, 2019, 2021; 박수빈 외, 2020; 전교석 외, 2021). 이처럼 선행연구에서는 도로 운영 평가가 필요함에 공감대가 형성되어 있으나, 보편타당하게 받아들여질 수 있는 도로 운영 평가지표 설정 방법론이 미미하다. 또한 거시적 평가지표와 미시적 평가지표를 통합할 수 있는 평가모델이 필요하지만 이러한 모델을 개발한 사례와 연구 방법론을 찾아보기가 어려운 실정이다.

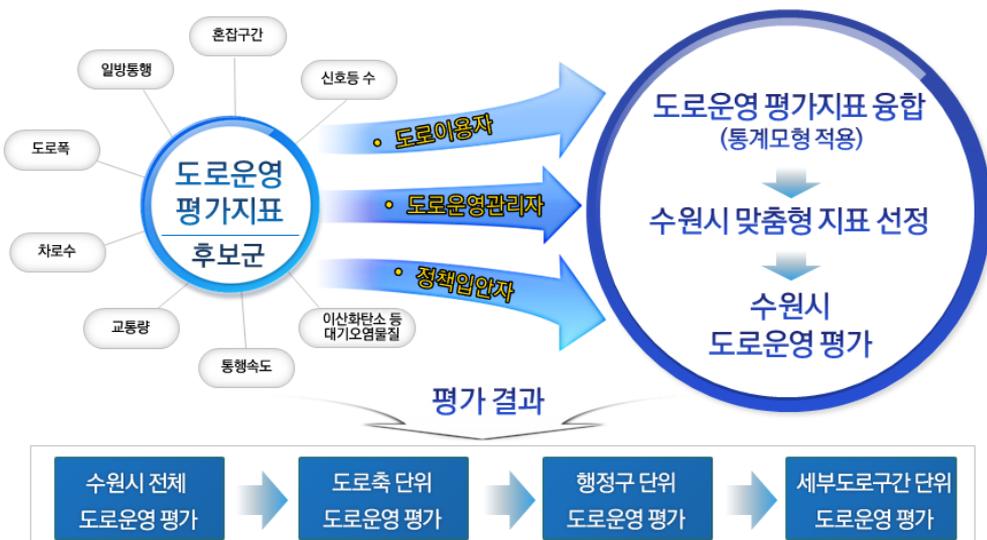
무엇보다도 기존 연구에서는 도로 이용자 또는 도로 운영 및 관리자와 같은 특정 주체만을 한정하여 도로 운영 평가 결과를 제시하고 있어, 다양한 주체의 요구사항을 반영하는데 한계가 있다. 즉, 도로 이용자는 교통혼잡 해소, 신호지체시간 감소, 대형자동차 분리 등을 통해 출발지와 목적지까지 자신의 통행시간 감축을 기대한다. 그러나 도로 운영 및 관리자는 도로 용량대비 교통량 수준 등 도로가 보유한 교통처리 능력, 공공재 투입 대비 효율성에 대한 관심도가 높을 수 있다. 이외에도 우리나라는 2021년 '2020 탄소중립위원회'를 설치하고, 2030년 국가온실가스감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축, 2050년까지 온실가스 배출량 "0"를 목표로 상향 조정하였다<sup>7)</sup>. 국토교통부도 수송부분의 탄소중립을 위해 교통 데이터 기반 구축, 전기·수소차 전환 지원(사업용 차량 지원), 대중교통 활성화 및 자가용 이용수요 관리, 친환경 철도·항공 구축을 중점 추진과제로 제시하였다. 이러한 친환경 교통정책의 필요성과 당위성을 고려하면 정책입안자는 기후변화 대응으로 내연기관 자동차의 감소정책, 승용차에서 대중교통으로의 수단전환 정책 등 중앙정부 도로정책 패러다임이 반영된 지표를 요구할 수 있다. 이외에도 도로 사업이 과거에는 도로신설 및 확장 중심의 양적 확충에서 현재에는 C-ITS, 디지털도로, 자율협력주행, 기후변화대응 등 질적 개선으로 변화되고 있기 때문에 미래도로에 대비한 평가 지표 개발이 필요하다.

7) 「국토교통 탄소중립 로드맵」, 국토교통부, 2021.12, p.1.

### 3. 연구의 차별성

도로 운영 평가와 관련된 연구는 여러 가지 평가 지표를 통해 다양한 방법론을 적용하여 시도되고 있으나 포괄적이고 범용성을 갖춘 도로 운영 평가 지표는 현재까지 미미한 수준이다. 그 이유는 개별 주체마다 도로 운영 평가를 위한 목적이 서로 다르기 때문에 이러한 주체들의 요구사항을 모두 포함할 수 있는 도로 운영 평가 지표의 포괄성 있는 방법론 개발에 관한 연구가 그동안 부족했기 때문인 것으로 판단된다. 현 시점에서 다양한 주체의 도로 운영 평가 목표를 반영할 수 있는 평가 기준 항목을 설정하고, 정량적 평가가 가능한 세부 지표를 개발하여 종합적인 도로 운영 평가 결과를 도출하기 위한 새로운 방법론이 필요하다. 따라서 본 연구는 <그림 2-2>에서 보는 바와 같이 도로 운영 평가 지표 선정 시 기존연구를 통해 신뢰성, 타당성 등을 검증 받은 도로 운영 평가 지표들을 후보군으로 포함한다. 그리고 여러 주체의 요구사항이 융합될 수 있는 도로 운영 평가 방법론을 개발하여 수원시 도로 운영 상태를 평가한다는 점에서 차별성이 있다. 또한 도로 운영 평가 결과는 도로축 단위, 행정구 단위로 그리고 세부 구간단위로 도출하여 향후 수원시 맞춤형 도로관리 방향을 제시하는데 근거자료로 활용하고자 한다.

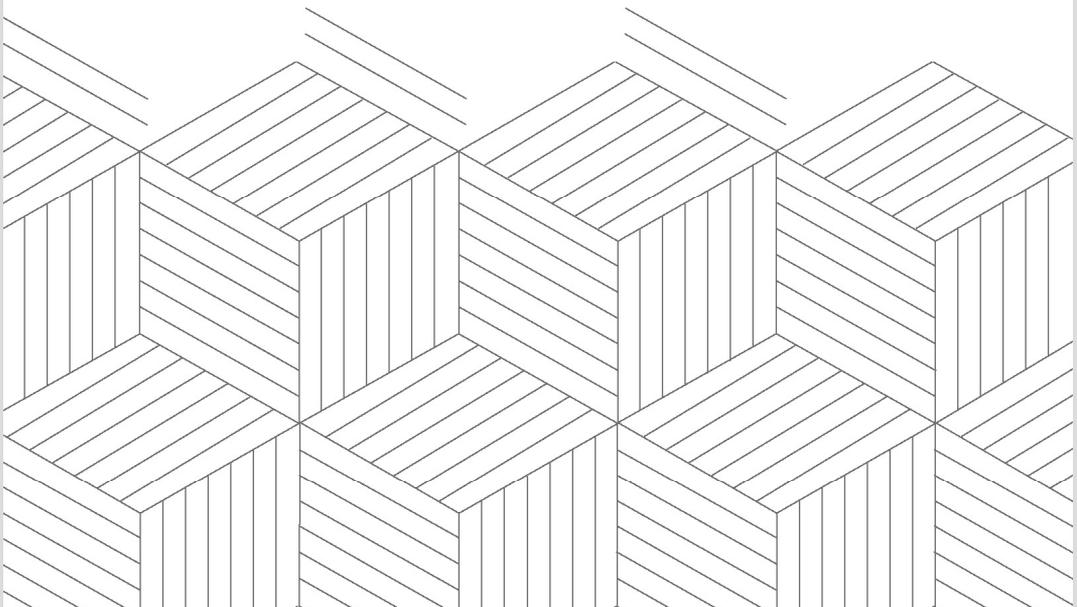
<그림 2-2> 연구 수행체계





# 제3장 연구 방법론

- 제1절 연구 방법 개요
- 제2절 평가 기준 항목 선정
- 제3절 도로 운영 평가 방법





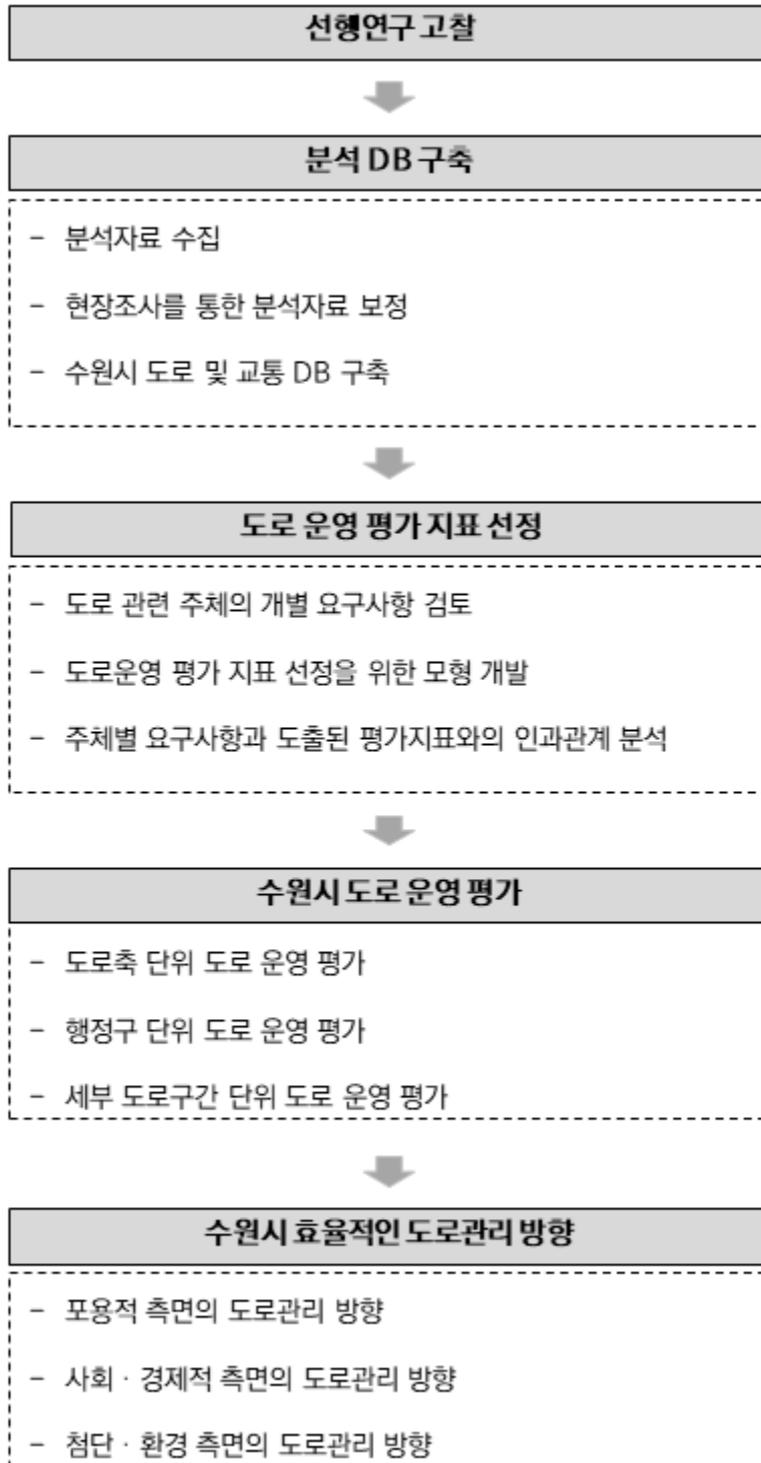
## 제3장 연구 방법론

### 제1절 연구 방법 개요

본 연구는 수원시에서 현재 운영 및 관리 중인 간선도로를 대상으로 효율성을 평가하고, 평가 결과를 통해 효율적인 도로관리 방향을 제시하는데 목적이 있다. 이때 도로 이용자, 운영자 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항이 반영될 수 있는 새로운 도로 운영 평가지표를 개발한다. 이를 위해 본 연구에서는 도로 운영 평가와 관련된 선행연구 고찰 결과를 토대로 기존 연구에서 검토되었던 도로 운영 평가 지표 및 분석방법론을 검토하여 기존 연구의 한계점을 도출하고 본 연구의 차별성을 제시한다. 도로 운영 평가 지표 개발을 위한 분석 자료는 공신력 있는 기관의 자료를 이용한다. 그리고 주체별 요구사항은 주요 항목으로 설정하고 이와 관련된 다양한 요인들과의 인과관계 분석을 통해 통계적으로 유의미한 요인들을 도로 운영 평가 지표로 선정한다. 마지막으로 이 지표들을 통해 수원시 도로 운영 상태를 평가하여 전략적 관리 방향을 제시하고자 한다. 이때 수원시 도로 운영 평가는 다음과 같이 다양한 유형으로 구분하여 결과를 제시하고자 한다.

우선 본 연구는 수원시 주요 간선도로를 대상으로 도로축별 도로 운영 평가를 수행한다. 그리고 수원시 전체 도로축에 대한 평가결과를 바탕으로 영통구, 장안구, 권선구 그리고 팔달구 등 행정구별 도로 운영평가 결과를 도출하여 해당 행정구가 관리하는 도로 운영 상태의 수준을 평가하여 보완점을 도출하고자 한다. 현재 수원시 내부 도로의 운영 및 관리는 해당 행정구의 업무소관이므로 이러한 이유로 행정구별 평가는 반드시 수행되어야 할 부분이다. 마지막으로 교차로와 교차로 사이의 단구간에 대한 도로 운영 평가결과를 통해 중점적으로 개선이 필요한 구간을 선정하고자 한다. 본 연구의 전체 흐름도는 <그림 3-1>에서 보는 바와 같다.

〈그림 3-1〉 연구 흐름도



## 제2절 평가 기준 항목 선정

본 연구는 도로 운영 평가를 위해서 다양한 주체의 요구사항을 반영하고자 한다. 즉, 교통 문제에 대한 효율적인 대응은 도로의 공급적 접근과 이용자의 수요적 접근을 모두 고려한 복합적 지표가 필요하다(박준석, 2022). 이외에도 도로의 용량 증대와 관련된 문제를 해결하기 위해서는 교통주체인 이용자, 운영자 등의 관점을 가급적 모두 반영할 수 있어야 한다. 즉, 이용자는 용량증대를 통해 목적지까지 통행시간을 최소화하는데 주안점을 두고 있으며, 공급자는 이용자의 요구를 충족하되 용량 증대에 따른 소요예산을 최소화 하는데 주안점을 두고 있다(김주영, 2008). 또한 사회적 관점에서는 용량 증대에 따른 통행시간 절감편익을 모든 이용자에게 고르게 분배되어야 하며, 사회적 비용, 특히 환경비용을 최소화하는 효과를 수반할 수 있어야 하기 때문에 이와 같이 관련 주체의 입장을 모두 반영하기 위해서는 다양한 평가지표를 반영할 필요가 있다(김주영, 2008). 그러나 도로 운영 평가를 위한 지표는 매우 다양하며, 도로 관련 주체마다 바라는 목적 또한 다양하다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 일회성 도로 운영 평가를 위한 기준 지표를 선정하기 보다는 다양한 주체의 요구사항을 반영하면서 지속적으로 평가할 수 있는 기준 지표를 선정하고자 한다. 즉, 쾌적성, 안락감 등 정성적 평가 지표는 지양하고 도로 기하구조, 동일지점에서 변동성이 있는 교통량과 속도와 같은 정량적 지표가 선택되어야 한다. 따라서 본 연구는 수집된 자료를 바탕으로 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 도로 정책 입안자의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 운영 평가지표 선정을 위한 기준 항목을 다음과 같이 선정하였다.

### 1. 도로 이용자 관점의 평가 기준 항목

본 연구는 이용자의 요구사항이 반영된 평가 기준 항목으로 교통혼잡도를 선정하였다. 교통혼잡도는 이용자가 주행하는 도로구간의 통행시간, 신호대기, 도로선형의 불합리성 등 복합적인 요인에 따른 만족도 수준이 될 수 있기 때문이다. 이때 교통혼잡도를 나타내는 평가 지표는 다양하게 사용되고 있다. 특히, 선행연구(NCHRP, 1997)에서도 언급된 바와 같이 속도의 역수로 단위 거리당 통행시간을 의미하는 통행률 지표가 교통혼잡을 표현하는데 보다 정확한 평가 지표가 될 수 있다. 그러나 본 연구에서는 교통량, 통행속도 등의 지표를 1시간 단위로 수집하였으나 시간대별로 세분화하여 도로 운영 평가를 수행하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 「도시교통정비촉진법시행령 제15조제1항」에 의거<sup>8)</sup>하여 분석 대상 도로구간의 교통혼잡 유무로 구분하여 분석하고자 한다.

8) 평균 통행속도에 따른 간선도로 혼잡수준 결정 기준 : 편도 4차로 이상의 간선도로에서 평균 속도가 21km/h 미만 또는 편도 3차로 이하인 간선도로에서 평균 속도가 15km/h 미만인 시간대가 하루 중 3회 이상 발생한 구간

## 2. 도로 운영 및 관리자 관점의 평가 기준 항목

도로 운영 및 관리자의 요구사항이 반영된 평가 기준 항목은 도로투자 대비 효율성을 나타내는 교통량대용량비( $V/C$ ; Volume / Capacity)를 선정하였다. 일반적으로 구간별 교통량은 운영 효율성 평가를 위한 교통량대용량비의 산정에 활용하게 되기 때문에 도로망의 효율성 평가를 위해 기초적으로 구축되어야 할 변수는 도로 구간별 교통량이다(유정복 외, 2016). 또한 특정 도로 구간에 대한 효율성의 평가는 대부분 도로 용량 극대화를 목표로 이루어지는 경우가 많으며, 특히 도로 구간의 효율성 평가 지표는 특정 도로구간의 단위 시간 최대 용량에 대비한 현재의 교통류율, 즉  $V/C$ 로 평가되는 경우가 일반적이다(유정복 외, 2016). 이처럼 교통량대용량비는 분석대상 도로의 성과, 기능, 활용도 측면에서 도로에 투입된 사업비 및 운영에 대한 효율성을 포함하고 있다.

## 3. 도로정책 입안자 관점의 평가 기준 항목

도로정책 입안자의 요구사항이 반영된 평가 기준 항목은 이산화탄소배출량을 선정하였다. 전 세계적으로 수송부문은 전체 온실가스 배출량의 14%를 차지하고 있어 지구 온난화에 큰 영향을 미치고 있으며, 이 중에서 72%가 도로에서 발생하는 것으로 파악되고 있다(고준호, 2018). 이에 따라 우리나라는 도로부문의 온실가스 배출량 감소를 위해 2050 탄소중립을 선언하는 등 탄소 발생량 감축을 위해 수송·교통부문의 다양한 정책을 중점 추진과제로 제시하고 있다. 이처럼 이산화탄소 배출량은 정책 입안자가 도로 운영 평가 시 필수적인 지표로 활용될 수 있다.

## 제3절 도로 운영 평가 방법

### 1. 도로 운영 평가 지표 선정 방법

주체별 도로 운영 평가 지표는 주체별 요구사항이 반영된 평가 기준 항목(중속변수)과 공신력 있는 기관에서의 수집된 자료(설명변수)와의 인과관계 분석을 통해 통계적으로 유의미한 ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ) 변수를 도로 운영 평가 지표로 선정한다.

### 2. 도로 운영 평가 방법

#### 1) 도로축 단위 평가

일반적으로 도로망은 연속적으로 연결되어 있다. 즉, 도로는 시종점이 정해져 있으나 막힘없이 연결되어 있어야 교통류의 흐름에 연속성을 갖추게 된다. 다만, 토지이용도, 신호체계, 도로 기하구조의 불합리성, 병목구간, 첨두시간대 등 다양한 원인으로 인하여 특정 구간에서 소통이 원활하지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수원시 내 주요 간선도로 전체 축을 대상으로 도로 운영 평가를 수행한다.

#### 2) 행정구 단위 평가

수원시 도로관리는 수원시뿐만 아니라 네 개의 행정구에서 별도로 관리되고 있다. 이 경우 특정 행정구역 내 도로관리의 효율성에 따라 전체 도로 축의 도로 운영 평가 결과가 달라질 수 있는 것이다. 따라서 본 연구는 행정구별로 관리도로를 설정하고 이에 따른 도로 관리의 효율성을 진단하여 행정구별 도로 운영 평가를 수행한다.

#### 3) 도로구간 단위 평가

일반적으로 교통혼잡 개선, ITS 설치, 차로 재배분, 신호현시 조정, 회전교차로 설치 등과 같이 교통체계개선 사업은 단구간 또는 개별 교차로에서 주로 이루어진다. 따라서 개별 도로구간의 운영 평가를 통해 도로관리가 필요한 구간을 선정하여 본 연구결과를 통해 도로구간 개선사업 수행 시 참고할 수 있도록 제시한다.



# 제4장

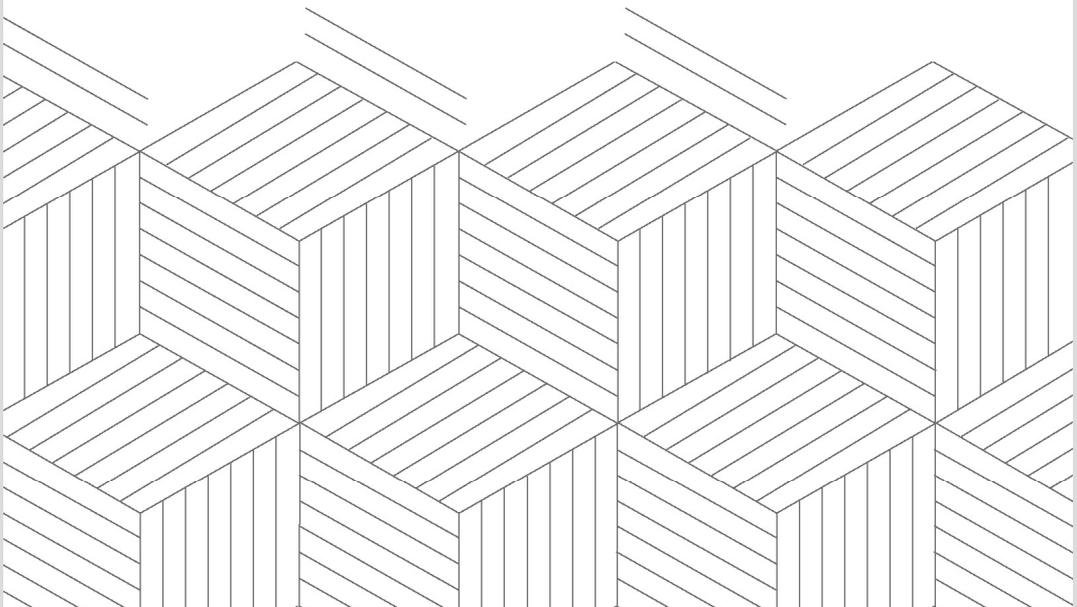
## 도로 운영 평가 지표 개발

제1절 분석자료 수집

제2절 도로 운영 평가 모형 이론적 배경

제3절 도로 운영 평가 지표 개발

제4절 도로 운영 평가 통합 모델





## 제4장 도로 운영 평가 지표 개발

### 제1절 분석자료 수집

#### 1. 자료 수집

본 연구의 도로 운영 평가 지표 개발을 위해 사용된 분석 자료는 한국교통연구원 빅데이터 센터에서 개발하여 운영 중인 View T 3.0 자료 그리고 국가교통DB센터의 수도권 OD 및 네트워크 자료 마지막으로 수원시의 도시안전통합센터의 각종 ITS 자료 등 공신력 있는 기관의 자료를 수집하였다. 이 모든 자료에는 도로 기반의 각종 교통정보를 포함하고 있다.

한국교통연구원의 View T 3.0 자료는 시간대별 평균교통량 및 속도지표 이외에도 단위 구간에서 발생하는 각종 오염물질(미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물 등)이 포함된 자료이다. 여기서 View T 3.0 자료의 도로망은 전국 도로의 97% 이상을 포함하는 내비게이션의 상세도로망을 기반으로 구축되었다.

국가교통DB센터의 수도권 OD는 수원시의 동단위로 구축된 승용차, 버스, 지하철, 버스+지하철(환승) 통행 발생량 자료를 이용하였다. 또한 국가교통DB센터의 네트워크 속성자료 중에서 도로등급, 도로용량, 차로수, 도로연장 등을 수집하였다.

이밖에도 수원시 도시안전통합센터에서 수집·관리 중인 BMS(Bus Management System), VDS(Vehicle Detector System), DSRC(Dedicated short-range communications) 자료를 수집하였다. 여기서 BMS 자료는 개별 도로구간마다 시간대별 정류장별 버스통과대수가 집계된 자료이다. VDS는 도로구간에 설치된 루프검지기 또는 영상검지를 통해 해당도로구간을 통과하는 차량대수와 지점속도가 수집된 자료이며, DSRC 자료는 교차로와 교차로 사이의 구간평균속도 자료이다.

본 연구에서 구축한 최종 분석용 DB는 기하구조, 도로유형 및 시설, 교통환경, 지역특성, 그리고 탄소중립으로 구분하였으며, <표 4-1>에서 보는 바와 같다.

〈표 4-1〉 분석 DB 구축 현황

구분	수집자료
기하구조	링크길이, 도로폭, 차로수, 제한속도, 도로용량
도로유형 및 시설	도로유형 (일반국도, 시군도 등)
	통행방법 (양방향통행, 일방통행)
	도로입체시설 (일반도로, 고가도로, 교량, 터널 등)
	전용차로 (자동차전용, 중앙버스전용, 가변버스전용 등)
	신호기 (신호유무, 구간거리당 신호기 개수 등)
교통환경	중앙분리대 종류 (벽, 봉, 화단, 안전지대 등)
	ITS 유형 (DSRC, VDS, BIS, BMS 등)
	ITS 수집자료 (시간대별 교통량, 통행속도, 버스정차대수 등)
지역특성	도로구간별 교통량 (총교통량, 승용차, 버스, 화물 등)
	인구수, 세대수, 지역면적 등
탄소중립	차종별 통행 발생량 (승용차, 버스, 버스+지하철 등)
	차종별 오염물질(일산화탄소, 이산화탄소, 미세먼지 등)

## 2. 자료 보정

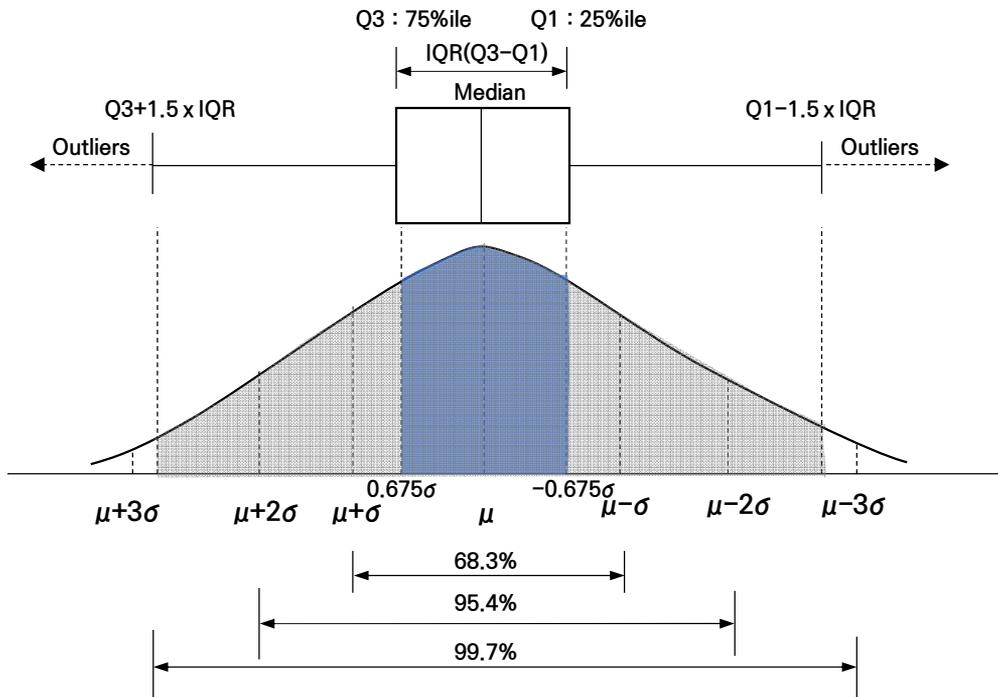
수집된 자료는 서로 다른 기관에서 구축된 자료이므로 수집방식, 수집장비, 갱신주기에 따라 차이가 발생할 수 있다. 이때 수집 자료가 시간대별 교통량 또는 속도자료의 경우에는 도로공사, 불법주정차, 수집장비의 이상 유무 등과 같은 다양한 요인들에 의해서 데이터 결측 및 이상치가 발생한다. 따라서 분석자료 중에서 교통량 또는 속도자료와 같이 시간대별 변동이 있는 자료는 현실을 반영할 수 있는 수준인지 별도의 검토가 필요하며, 이때 결측 및 이상치 발생 시 이에 대한 데이터 전처리과정이 필요하다.

본 연구에서 수집된 분석 자료 중에서 도로폭원, 도로구간 길이 등과 같은 고정변수가 수집기관별로 상호 교차비교를 수행한 결과 차이가 발생하는 경우에는 현장조사 또는 포털사이트의 로드뷰를 통해 보정하였다. 그리고 시간대별 변동이 있는 교통량 또는 속도자료의 경우에 결측 자료는 삭제하였다. 그리고 이상치 자료는 Box-Plot(상자 그림분석 방법)의 IQR(Interquartile Range Technique) 기법을 적용하여 이상치를 판단하였으며, 〈그림 4-1〉과 같다. Box-Plot은 정수형식의 수집된 자료를 사분위수를 통해 시각적으로 그룹화하여 그룹별 데이터 특성을 산포도, 왜도 등을 쉽게 비교할 수 있는 방법이다(Dutoit, 2012). 다시 말해서 사분위수는 수집된 정수형 자료를 25%씩 사등분하여 누적시킨다. 이때 이상치 자료의 판단 기준은 IQR을 적용하였다. IQR은 Q3(75%ile)와 Q1(25%ile) 사이의 값에 해당

되며, 이상치는 IQR의 1.5배를 적용한 값을 Q3에 더하거나, Q1에서 빼준 값을 초과하는 경우에 해당된다. 여기서 IQR에 1.5의 척도를 적용하여 이상치를 판단한 이유는 수집된 자료가 정규분포를 따른다고 가정했을 경우에 수집된 자료의 평균값에 3배에 해당하는 표준편차를 포함하는 범위에 해당되며, 이는 수집된 전체 자료의 99.7%에 포함되기 때문이다.

이외에도 최종 분석용 도로망 구축 시 어린이 보호구역, 편도 1차로 이하의 도로는 제외하였다. 이는 이용자 관점의 교통혼잡 도로구간 선정 시 과대 선정되는 왜곡된 결과가 나타날 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구는 수집된 도로구간 총 13,316개 중에서 앞서 제안한 보정 과정을 거쳐 총 4,322개의 도로구간을 최종 분석용 네트워크로 선정하였다.

〈그림 4-1〉 수집 자료의 이상치 탐색



## 제2절 도로 운영 평가 모형 이론적 배경

본 연구는 수원시 도로연장, 자동차등록대수 등 도로교통 측면의 운영 현황을 분석하고 국내외 도로 운영평가 사례 및 방법론을 검토하여 수원시뿐만 아니라 타 지자체에서도 적용이 가능한 도로 운영 평가 지표를 개발하는 것이다. 또한 도로 운영 평가 지표를 통해 수원시 도로 운영 상태를 평가하여 향후 효율적인 수원시 도로관리 방향을 제시하고자 한다.

### 1. 다중선형회귀모형(Multiple Linear Regression)

다중선형회귀모형은 수집된 자료와 종속변수와의 인과관계를 분석하기 위한 모형으로서 다양한 분야에서 사용되고 있다(Podreznik, 2019).

일반적으로 선형회귀분석은 독립변수 값에 따라 종속변수 값이 변하면서 일정한 패턴의 선형관계가 나타나는데 이때 종속변수에 영향을 미치는 독립변수의 영향이 통계적으로 유의한지를 분석하는 통계적 기법이다. 이때 종속변수에 영향을 미치는 독립변수가 한 개인 경우에는 단순선형회귀분석, 종속변수에 영향을 미치는 독립변수가 두 개 이상인 경우에는 다중선형회귀분석이라고 한다. 본 연구에서는 하나의 도로 운영 평가 기준 항목인 종속변수마다 영향을 미치는 다양한 지표인 독립변수간의 인과관계를 분석하기 위해서 다중선형회귀모형을 적용하고자 한다. 이때 다중회귀선형회귀모형식은 식(4-1)과 같다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} \dots + \beta_k x_{ki} + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4-1)$$

여기서,  $y_i$ : 종속변수,  $x_{ki}$ :  $k$ 개 설명변수,  $\beta_k$ : 회귀계수,  $e_i$ : 오차항

$\beta_k$ 는 개별 설명변수마다 선형을 나타내는 기울기를 의미하며,  $\beta_k$ 의 크기는 설명변수가 종속변수에 미치는 변화량을 나타낸다. 그리고  $e_i$ 는 개별 설명변수마다 독립적이며, 정규분포 ( $N(0, \sigma^2)$ )를 따른다고 가정한다. 또한 다중선형회귀모형은 위의 (4-1)식을 식(4-2)와 같이 간소화하여 표현할 수 있다. 이때 본 연구에서 수집된 자료는 다수의 도로구간마다  $n$ 개 설명변수를 갖는데, 이를 다중선형회귀모형식으로 표현하면 식(4-3)과 같은 행렬식이 된다.

$$Y = X\beta + e \quad (4-2)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

일반적으로 단순선형회귀모형의 설명력 검증은 식(4-4)에서 보는 바와 같이 결정계수( $R^2$ )를 적용하지만, 이 결정계수의 단점은 설명변수 개수가 증가할수록 결정계수도 커지는 경향이 있다는 것이다.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (4-4)$$

여기서,  $R^2$ : 결정계수,  $y_i$ : 실제값,  $\hat{y}_i$ : 예측값,  $\bar{y}_i$ : 평균값

이러한 문제점을 보완하기 위한 설명력 검증은 식(4-5)와 같이 모집단의 표본의 크기와 설명변수의 개수가 고려된 수정된 결정계수(adjusted  $R^2$ )를 적용하여야 한다.

$$adjusted R^2 = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p-1)(1-R^2)} \quad (4-5)$$

여기서,  $adjusted R^2$ : 결정계수,  $n$ : 샘플수,  $p$ : 설명변수 개수

다중선형회귀모형은 두 개 이상의 설명변수를 포함하고 있는데, 이들 설명변수사이의 선형 관계가 성립되지 않는다는 가정을 따른다. 이때 두 개 이상의 설명변수가 서로 상관관계 즉, 선형함수 관계에 있을 경우에는 설명변수 사이의 공선성이 커지게 되는데 이는 추정량의 분산 값을 증가시키는 요인이 되어 왜곡된 예측 결과를 도출하게 된다. 이러한 문제점을 방지하기 위해 본 연구에서는 다중선형회귀모형 개발 시 종속변수에 영향을 미치는 설명변수는 신뢰수준은 95%( $t=1.96$ ) 이내의 설명변수만을 선택하여 독립성을 확보하였으며, 설명변수 사이의 다중공선성 진단을 위해 분산팽창지수(VIF; Variance Inflation Factor)와 공차한계(Tolerance)를 적용하였다. 여기서 공차한계가 0.1이하이고, 분산팽창지수가 10 이상인 경우에 다중공선성 관계에 있다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 공차한계가 분산팽창지수의 역수관계이므로 식(4-6)으로 제시한 분산팽창지수만을 적용하여 다중공선성을 진단하였다.

$$VIF_x = \frac{1}{(1 - R_x^2)} \quad (4-6)$$

여기서,  $R_k^2$ : 설명변수( $x$ )가 종속변수인 경우의 결정계수

## 2. 이항로지스틱회귀모형(Binomial Logistic Regression)

이항로지스틱회귀모형은 종속변수가 혼잡구간 유무(유=“혼잡구간”, 무=“미혼잡구간”)과 같이 이항 형태의 두 개의 범주로 구성된 경우에 사용된다. 이외에도 종속변수가 두 개의 값만 갖는 경우에는 판별분석이 사용될 수 있다. 그러나 로지스틱 회귀분석에서는 정규성과 등분산성에 대한 가정을 만족해야 하는 판별분석과는 달리 이러한 가정이 엄격하게 적용되지 않음에도 불구하고 로지스틱 회귀모형이 판별분석 결과보다 설명력이 좋다(박재영·김도경, 2010). 따라서 본 연구는 교통 혼잡 유무 등과 같이 이항형 종속변수와 다양한 설명변수와의 인과관계 분석을 위해서 이항로지스틱회귀모형을 적용한다.

일반적으로 다중선형회귀모형은 식(4-1)과 같이 종속변수( $y_i$ )와 설명변수( $x_i$ )로 구성되지만 종속변수가 이항인 경우에  $y_i$ 는 교통 혼잡구간에 대한 확률을 의미하므로 식(4-7)과 같이 로지스틱 함수로 표현된다.

$$y_i = \frac{\exp[f(x_i, \beta)]}{1 + \exp[f(x_i, \beta)]} \quad (4-7)$$

여기서,  $y_i$ : 혼잡유무 여부,  $x_i$ : 설명변수,  $\beta$ : 회귀계수

본 연구에서 개발된 이항로지스틱회귀모형은 Hosmer & Lemeshow 검정을 통해 회귀모형의 적합 여부를 판단한 후 모형의 설명력을 검증한다. Hosmer & Lemeshow 검정은 식(4-8)에서 보는 바와 같이 도출된 Hosmer & Lemeshow 유의확률과 사전에 정해놓은 유의수준과의 비교를 통해 유의확률이 유의수준보다 크면 개발된 모형은 적합한 것으로 판단할 수 있다.

귀무가설  $H_0$  : 개발된 모형은 적합하다. ( $p > 0.05$ ) (4-8)

대립가설  $H_1$  : 개발된 모형은 적합하지 않다. ( $p < 0.05$ )

본 연구에서 개발된 이항로지스틱회귀모형의 설명력은 Nagelkerke 결정계수( $R^2n$ )를 적용한다. Nagelkerke 결정계수( $R^2n$ )는 식(4-9)와 같다.

$$\begin{aligned}
 R^2_{cs} &= 1 - \left( \frac{LL_0}{LL_M} \right)^{-\frac{2}{N}} \\
 -2LL_0 &= -2\log \text{우도} + \chi^2 \\
 -2LL_M &= -2\log \text{우도} \\
 R^2_n &= \frac{R^2_{cs}}{1 - (LL_0)^{\frac{2}{N}}} \tag{4-9}
 \end{aligned}$$

여기서,  $R^2_{cs}$ : Cox & Snell의 결정계수, N: 표본크기

### 3. 정규화(Standard Min-Max Scaler)

본 연구에서 수집된 자료는 정량적 변수로서 개별 변수마다 척도차이로 인하여 값의 크기가 상이하다. 이러한 척도가 상이한 변수를 대상으로 모형 개발 시 왜곡된 계수 값이 도출될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 식(4-10)을 적용하여 모든 변수의 값이 최소 0부터 1사이의 값을 갖도록 정규화를 적용하였다.

$$x_k = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{4-10}$$

여기서,  $x_k$ : 정규화된 변수 값,  $x$ : 변수값,  $x_{\max, \min}$ : 해당 변수의 최댓값, 최솟값

### 제3절 도로 운영 평가 지표 개발

#### 1. 도로 이용자 관점의 지표 개발

도로 이용자 측면의 도로 운영 평가 항목은 교통 혼잡도를 선정하였다. 교통 혼잡도는 기 관별, 법제도, 이용자의 관점에 따라 다르다. 본 연구에서는 「도시교통정비촉진법시행령 제 15조제1항」의 간선도로를 기준으로 하였다. 즉, 해당 법령에서는 평균 통행속도에 따른 간선 도로 혼잡수준 결정 기준을 편도 4차로 이상의 간선도로에서 평균 속도가 21km/h 미만 또는 편도 3차로 이하인 간선도로에서 평균 속도가 15km/h 미만인 시간대가 3회 이상 발생하는 경우로 정의하고 있다. 이를 기준으로 본 연구는 총 4,322개 구간을 대상으로 혼잡구간을 선정하였다. 이 혼잡구간 여부에 따른 다양한 요인들과의 인과관계를 분석하기 위해서 <표 4-2>에서 보는 바와 같이 이항로지스틱회귀모형을 개발하였다. 개발된 모형의 적합도 검증 결과 Hosmer&Lemeshow의 유의확률이 0.277로 유의수준 0.05보다 높게 분석되어 개발된 모형은 적합한 것으로 분석되었으며, 모형의 설명력(Nagelkerke  $R^2n$ )은 0.197로 나타났다. 그리고 수원시 관내 도로구간의 교통혼잡에 영향을 미치는 지표들은 차로수, 중앙분리대, 도로입체시설, 제한속도, 도로용량, ITS 시설, 도로보급률 변수가 선정되었다. 선정된 지표들이 의미하는 바는 아래와 같다.

우선 차로수가 증가할수록 교통혼잡은 감소되는 것으로 나타났다. 이는 차로수가 증가됨으로써 단위 도로구간 당 수용할 수 있는 교통량이 증가되므로 교통혼잡은 감소되기 때문이다. 또한 중앙분리대가 설치되어 있으면 교통혼잡은 감소하는 것으로 나타났다. 일반도로에서 중앙분리대는 왕복 교통류 분리, 교통용량 증대, 교차로에서 좌회전차로 설치 등의 역할을 가지고 있으며, 주로 차로수가 4차로 이상인 도로에 설치<sup>9)</sup>되므로 교통혼잡을 감소시킬 수 있다. 그리고 고가도로와 같은 교차로 입체시설은 부족한 교차로 용량을 증대시키기 위한 목적으로 설치되므로 교통소통을 향상시키는 것으로 분석되었다. 또한 제한속도가 높을수록 교통혼잡이 낮아지는 것으로 나타났다. 일반적으로 제한속도가 높은 도로구간은 지역간 통과교통량이 많은 간선도로의 성격이 강한 도로로서, 교차로 사이의 도로구간 간격이 길고, 주요 교차로에는 고가도로 또는 지하차도와 같은 입체화시설로 구성되어 있어 교통 흐름을 원활히 하는데 주목적이 있다. 그리고 도로용량은 해당 도로를 이용하는 교통량을 수용할 수 있는 최대 교통량으로 정의된다. 본 연구결과에서 분석된 바와 같이 도로용량이 높은 도로구간인 경우에는 교통혼잡이 감소될 확률이 높은 것으로 나타났다. 이는 동일한 교통량 수준에서 도로용량이 클수록 혼잡이 감소한다는 것을 의미한다. 또한 도로구간 내 ITS 시설이 설치되어 있는 경우

9) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 -해설 및 지침-」, 국토해양부, 2012, pp.151-152.

에는 교통혼잡이 감소되는 것으로 분석되었는데 이는 ITS 시설이 실시간 교통정보 및 효율적인 우회경로를 제공함으로써 혼잡구간을 해소하는 역할을 한 것으로 판단된다. 이외에도 지역 내 인구수, 면적, 도로연장 등과 같은 지역특성을 고려한 도로보급률 수준이 높을수록 교통량 유발효과를 증가시키는 요인으로 작용되므로 교통혼잡 발생 확률이 높아지는 것으로 분석되었다.

〈표 4-2〉 교통혼잡 지표 개발 결과

변수		기초통계량				모형개발 결과		
		Min.	Max.	Mean.	S.Dev.	Coeff.	P-value	Exp(B)
상수		-	-	-	-	-1.058	0.000	0.347
기하 구조	차로수 [편도]	2.0	5.0	2.3	1.0	-2.192	0.000	0.112
도로 유형 및 시설	중앙분리대 [유=1, 무=0]	0.0	1.0	0.26	0.441	-0.246	0.019	1.279
	도로입체시설 [고가도로=1,기타=0]	0	1.0	0.0	0.1	-1.845	0.039	0.158
교통 환경	제한속도 [km/h]	30.0	80.0	54.9	13.5	-0.661	0.001	0.516
	도로용량 [대/시/차로]	457.0	1,550.0	982.1	252.8	-2.044	0.000	0.129
	ITS 시설 [유=1, 무=0]	0	1.0	0.5	0.5	-0.423	0.000	0.655
지역 특성	도로보급률 [ $km/\sqrt{(km^2 \times \text{천인})}$ ]	0.7	5.0	2.8	0.9	0.684	0.001	1.981
<b>모형평가</b>		$\chi^2$		<b>d.f</b>		<b>sig.</b>		
Hosmer & Lemeshow		9.837		8		0.277		
$R^2_n$		0.197						
N		4,322						

## 2. 도로 운영 및 관리자 관점의 지표 개발

도로 공급자 측면에서는 도로가 보유한 교통처리능력, 공공재 투입 대비 효율성이 반영된 도로 운영 평가 지표가 선정되어야 한다. 따라서 본 연구에서 선정한 도로 공급자 측면의 도로 운영 평가 항목은 도로투자 대비 운영 효율성(V/C; Volume / Capacity)을 선정하였다. 이 항목은 도로용량 증대를 통해 목적지까지의 다수의 교통량이 이용할 수 있도록 예산의 효율성을 평가할 수 있는 지표가 된다. 즉, 도로투자 대비 운영 효율성 지표는 현재 운영 중인 도로구간의 용량 대비 이용수요가 적으면 예산의 비효율성을 의미하고, 이용수요가 높으면 예산투입의 효율성이 있는 것으로 판단되어 향후 도로용량 증대를 위한 재원 투자 우선순위 도로구간이 될 수 있다. 따라서 본 연구는 총 4,322개 도로구간을 대상으로 도로투자 대비 운영 효율성(V/C)을 산출하였다. 그리고 이 기준지표에 영향을 미치는 지표를 선정하기 위해서 다중회귀모형을 적용한 결과 설명력(*Adjusted R<sup>2</sup>*)은 0.593으로 분석되었으며, <표 4-3>에서 보는 바와 같이 차로수, 일방통행, 도로입체시설, 승용차 교통량, 버스 교통량, 버스+지하철(환승) 통행발생량, 도로보급률이 유의미한 변수로 선정되었다. 여기서 종속변수가 교통량대용량비 임에도 불구하고 설명변수가 승용차 교통량과 버스교통량이 선정될 수 있었던 이유는 교통량대용량비(V/C) 종속변수에서 교통량은 승용차, 버스, 화물교통량을 승용차 환산계수<sup>10)</sup>를 적용한 값이기 때문이다. 선정된 지표들이 의미하는 바는 아래와 같다.

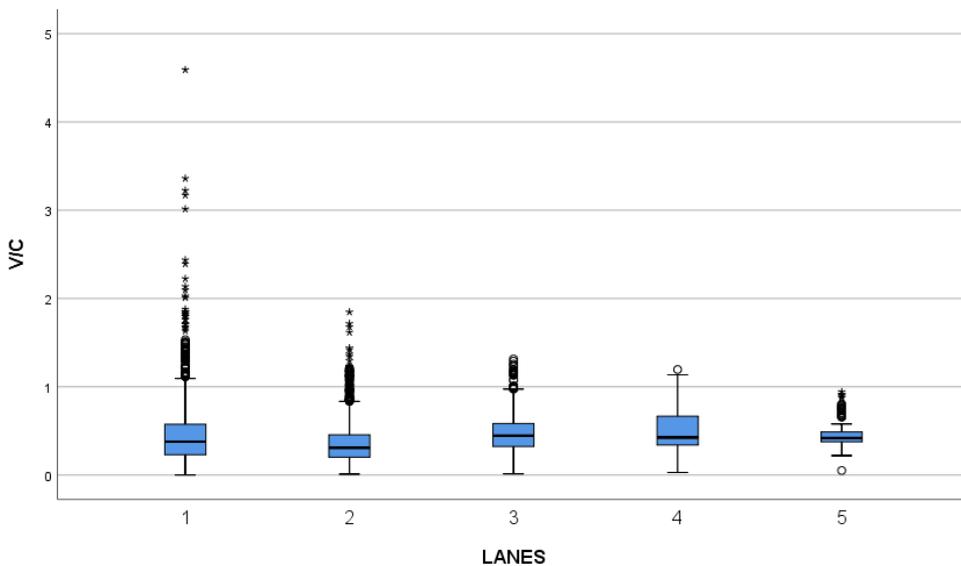
차로수는 증가할수록 도로투자 대비 운영 효율성이 감소되는 것으로 분석되었다. 이는 <그림 4-2>에서 보는 바와 같이 차로수가 증가할수록 즉, 도로용량이 증가할수록 교통처리능력이 향상되어 교통혼잡은 해소될 수 있으나 도로의 서비스 수준이 일정 수준 이상으로 운영하게 되면 도로투자대비 효율성은 적어진다고 볼 수 있다. 또한 도로통행방법에 따라 도로투자 대비 운영 효율성을 달라질 수 있다. 본 연구에서는 일방통행인 경우에 그렇지 않은 도로구간에 비해서 도로투자 대비 운영효율성이 증가하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 일방통행 운영방식은 주로 국지도로 또는 생활도로에서 적용되어 신호시간 축소, 차량간 상충 횡수 감소 등 주행환경이 개선됨에 따라 나타난 결과로 판단된다. 이와 같은 원리로 고가도로에서도 도로투자 대비 운영 효율성이 증가되는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 도로 용량에서 승용차 또는 버스 교통량이 많을수록 도로 운영 효율성이 증가하나, 해당 지역이 버스와 지하철을 함께 이용하는 환승 통행발생량이 많을수록 도로를 이용하는 승용차 교통량이 감소되어 도로투자 대비 운영 효율성은 저하되는 것으로 분석되었다. 이외에도 도로보급률 수준이 높은 지역일수록 도로상에 교통량이 증가되어 도로투자 대비 운영효율성이 향상되는 것으로 분석되었다.

10) 한국개발연구의 '도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판), 2008, p.280'을 적용

〈표 4-3〉 도로투자 대비 운영 효율성 평가 지표 개발 결과

변수		기초통계량				모형개발 결과		
		Min.	Max.	Mean.	S.Dev.	Coeff.	P-value	VIF
상수		-	-	-	-	0.072	0.000	-
기하 구조	차로수 [편도]	2.0	5.0	2.3	1.0	-0.159	0.000	2.281
도로 유형 및 시설	일방통행 [유=1, 무=0]	0	1.0	0.1	0.3	0.011	0.000	1.043
	도로입체시설 [고가도로=1,기타=0]	0	1.0	0.0	0.1	0.009	0.023	1.026
교통 환경	승용차교통량 [대/일]	14.0	56,641.0	8,891.6	7,893.2	0.448	0.000	2.245
	버스교통량 [인/일]	0	33,340.0	467.5	2,412.1	0.262	0.000	1.101
	버스+지하철(환승) 통행 발생량[인/일]	326.2	4,479.7	2,038.1	1,182.8	-0.008	0.000	1.157
지역 특성	도로보급률 [ $km/\sqrt{(km^2 \times \text{천인})}$ ]	0.7	5.0	2.8	0.9	0.004	0.049	1.148
Adjusted-R <sup>2</sup>		0.593						
N		4,322						

〈그림 4-2〉 수원시 차로수별 교통량대용량비



### 3. 도로정책 입안자 관점의 지표 개발

본 연구에서 선정한 도로정책 입안자 측면의 도로 운영 평가 목표는 이산화탄소 배출량을 선정하였다. 이 기준지표에 영향을 미치는 지표를 선정하기 위해서 다중회귀모형을 적용한 결과 설명력( $Adjusted R^2$ )은 0.544로 분석되었으며, <표 4-4>에서 보는 바와 같이 구간연장, 도로입체시설, 자동차전용도로, 신호등밀도, 총교통량, 도로보급률이 유의미한 변수로 선정되었다. 선정된 지표들이 의미하는 바는 아래와 같다.

분석 단위의 도로구간연장이 길수록 이산화탄소 배출량이 높아지는 것으로 분석되었다. 여기서 분석단위 구간은 교차로와 교차로 사이의 구간을 의미한다. 이는 도로구간이 짧은 도로연장에서는 구간거리 대비 빈번한 교통량 유출입이 이루어지나 도로구간이 긴 도로연장에서는 도로구간이 짧은 도로구간에 비해서 교통량 유출입이 배제되고, 도로구간 당 교통량이 증가되기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 또한 고가도로와 같은 도로입체시설물이 설치되어 있을 경우 그렇지 않은 경우보다 이산화탄소 배출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고가도로가 설치된 지점은 교차로의 도로용량이 포화상태로서 고가도로 설치 목적은 해당 교차로의 도로용량 확보를 위해 설치된다. 일반적으로 자동차전용도로는 도시의 상습 교통난을 해소하고 통과교통을 배제하기 위해 주요 지점을 연결하는 내부 순환망이나 시가지간선도로 중에서 통행의 이동성이 높은 구간에 대해서 자동차전용도로로 건설하고 있다<sup>11)</sup>. 다시 말해서 신호교차로 등과 같이 방향별 교통량을 처리하기 위해 설치된 신호기로 인한 지체 및 신호현시 축소 등으로 대량의 통과교통량의 원활한 통행속도를 유지시키기 위하여 자동차전용도로가 설치되는 것이다. 이러한 시설물 설치 시 교통량의 흐름이 향상되고 이로 인하여 통과교통량이 증가하기 때문에 이산화탄소 배출량 또한 증가되는 것으로 분석된다. 그리고 도로구간 당 신호등 밀도가 높은 경우에는 이산화탄소 배출량이 증가하는 것으로 나타났는데 이는 불필요한 신호대기 시간으로 인한 유류소비량 증가로 인하여 나타난 것으로 분석된다. 무엇보다도 도로구간에서의 이산화탄소 배출량은 교통량과의 양의 상관관계가 존재한다. 따라서 단위 도로구간 내 총교통량이 증가할수록 이산화탄소 배출량이 증가하는 결과로 나타났다. 이 외에도 도로보급률이 길수록 교통량 유발효과가 증가되므로 이로 인하여 이산화탄소 배출량도 증가되는 것으로 분석되었다.

11) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 -해설-」, 국토해양부, 2012, p.64.

〈표 4-4〉 이산화탄소 발생량 평가 지표 개발 결과

변수		기초통계량				모형개발 결과		
		Min.	Max.	Mean.	S.Dev.	Coeff.	P-value	VIF
상수		-	-	-	-	-0.030	0.000	-
기하 구조	구간연장 [km]	0.0	2.2	0.1	0.1	0.656	0.000	1.264
도로 유형 및 시설	도로입체시설 [고가도로=1,기타=0]	0	1.0	0.0	0.1	0.060	0.000	1.214
	자동차전용도로 [유=1, 무=0]	0	1.0	0.0	0.0	0.126	0.000	1.021
	신호등밀도 [개/km]	0	3.0	0.0	0.2	0.035	0.000	1.057
교통 환경	총교통량 [대/일]	16.0	71,722	10,821	9,484	0.211	0.000	1.012
지역 특성	도로보급률 [ $km/\sqrt{(km^2 \times \text{천인})}$ ]	0.7	5.0	2.8	0.9	0.008	0.002	1.007
Adjusted-R <sup>2</sup>						0.544		
N						4,322		

## 제4절 도로 운영 평가 통합 모델

### 1. 주체별 도로 운영 평가 지표

앞서 본 연구는 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 운영 평가 모형을 개발하여 각종 지표들과의 인과관계를 분석하였다. 그 결과 <표 4-5>에서 보는 바와 같이 개별 주체마다 서로 다른 평가 지표가 선정되었다. 이는 개별 주체의 요구사항이 반영된 평가 지표이기 때문에 서로 다른 주체의 요구사항 반영 시 적용될 수 없다. 따라서 개별 주체의 요구사항을 반영한 도로 운영 평가 모형을 통해 예측된 결과 값을 통합하여 주체별 요구사항이 모두 융합될 수는 별도의 평가 모형이 필요하다.

<표 4-5> 주체별 도로 운영 평가 지표 선정 결과

변수		도로이용자 [평가기준 항목 : 교통혼잡]	도로 운영 및 관리자 [평가기준 항목 : 도로투자 대비 효율성]	정책입안자 [평가기준 항목 : CO <sub>2</sub> 발생량]
기하 구조	$x_1$	차로수 [편도]	○	
	$x_2$	구간연장 [km]		○
도로 유형 및 시설	$x_3$	중앙분리대 [유=1, 무=0]	○	
	$x_4$	일방통행 [유=1, 무=0]		○
	$x_5$	도로입체시설 [고가도로=1,기타=0]	○	○
	$x_6$	자동차전용도로 [유=1, 무=0]		○
	$x_7$	신호등밀도 [개/km]		○
교통 환경	$x_8$	총교통량 [대/일]		○
	$x_9$	승용차교통량 [대/일]		○
	$x_{10}$	버스교통량 [대/일]		○
	$x_{11}$	버스+지하철(환승) 통행발생량 [인/일]		○
	$x_{12}$	제한속도 [km/h]	○	
	$x_{13}$	도로용량 [대/시/차로]	○	
	$x_{14}$	ITS 시설 [유=1, 무=0]	○	
지역 특성	$x_{15}$	도로보급률 [ $km/\sqrt{(km^2 \times \text{천인})}$ ]	○	○

## 2. 도로 운영 평가 통합 모델 제안

모든 주체의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 운영 평가 결과를 도출해내기 위해서는 각 주체의 요구사항이 반영된 도로 운영 평가 결과의 통합이 필요하다. 따라서 본 연구는 모든 주체의 요구사항이 반영된 결과를 도출하기 위해서 도로 운영 평가 통합 모형을 다음과 같이 제안하였다.

먼저 본 연구는 각 주체별 요구사항을 반영한 도로 운영 평가 모형을 구성하는 설명변수들 중에서 중복된 설명변수를 제외하고 총 15개 설명변수가 도로이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항을 반영할 수 있는 통합 도로 운영 평가 지표로 선정하였다. 그리고 이 15개 도로 운영 평가 지표 값을 식(4-11)에서 보는 바와 같이 앞서 개발한 세 개의 모형식을 적용하여 개별 평가 기준 항목 당 33.3점 만점으로 총 3개 항목을 합산한 100점 만점으로 총점을 산출하였으며, <표 4-6>에서 보는 바와 같다. 여기서 산출된 총점은 모든 주체의 요구사항이 반영된 것으로 총점이 높을수록 도로이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항의 반영도가 높은 것으로 평가하였다.

$$\hat{Y}_{cong.} = -1.058 - 2.192x_1 - 0.246x_3 - 1.845x_5 - 0.661x_{12} - 2.044x_{13} - 0.423x_{14} + 0.684x_{15} \quad (4-11)$$

$$\hat{Y}_{v/c} = +0.072 - 0.159x_1 + 0.011x_4 + 0.009x_5 + 0.448x_9 + 0.262x_{10} - 0.008x_{11} + 0.004x_{15}$$

$$\hat{Y}_{CO_2} = -0.030 + 0.656x_2 + 0.060x_5 + 0.126x_6 + 0.035x_7 + 0.211x_8 + 0.008x_{15}$$

여기서,  $\hat{Y}_{cong.}$ : 교통혼잡,  $\hat{Y}_{v/c}$ : 도로투자 대비 효율성,  $\hat{Y}_{CO_2}$ : CO<sub>2</sub> 배출량  
 $x_1 \sim x_{15}$ : 주체별 요구사항에 영향을 미치는 도로 운영 평가 지표

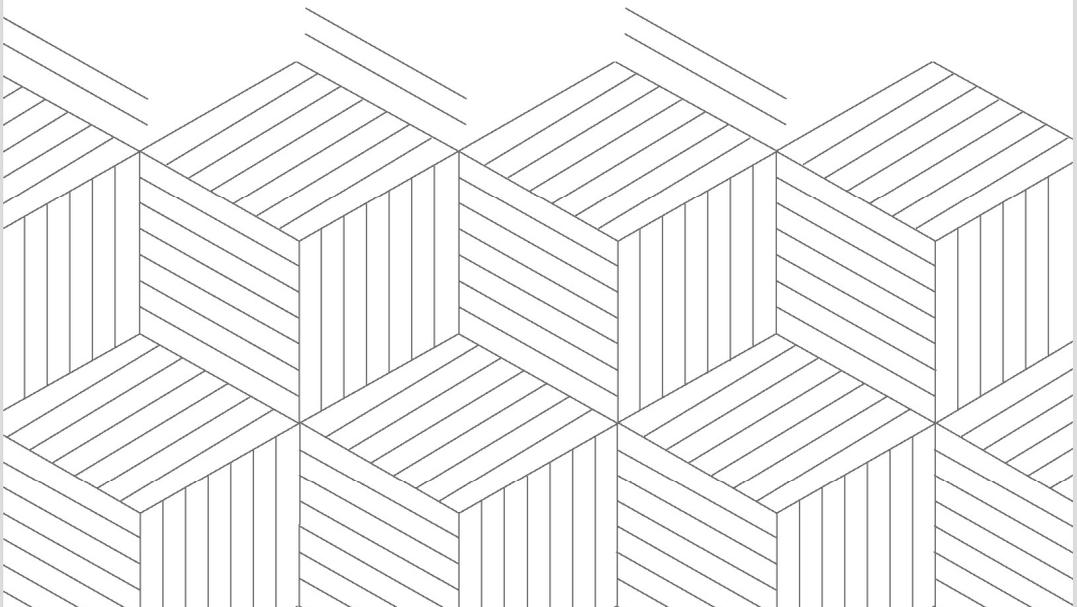
<표 4-6> 도로 운영 평가 통합 모델을 통한 구간별 점수화

No	행정동 구분	도로명	도로 운영 평가 지표															모형적용			점수			총점
			구간 연장	일방 통행	차로 수	차도 전용	신호등 밀도	중앙 분대	제한 속도	고가 도로	도로 용량	총 교통량	승용차 교통량	버스 교통량	버스 차질률	ITS	도로유류량	혼잡	V/C	CO2	혼잡	V/C	CO2	
1	장안구 정자1동	장안로	0.255	0	0.25	0	0.67	0	0.60	0	0.384	0.106	0.124	0.001	0.264	1	0.133	0.044	0.087	0.195	29.4	8.8	22.1	60.3
2	장안구 정자1동	장안로	0.255	0	0.25	0	0.00	0	0.60	0	0.452	0.105	0.124	0.001	0.264	1	0.133	0.038	0.087	0.195	29.9	8.8	22.1	60.8
3	장안구 연무동	경수대로	0.255	0	0.25	0	0.33	0	0.60	1	0.775	0.270	0.291	0.002	0.092	1	0.098	0.003	0.172	0.255	33.2	15.4	19.1	67.7
4	장안구 연무동	경수대로	0.255	0	0.25	0	0.33	0	0.60	1	0.808	0.334	0.357	0.000	0.092	1	0.098	0.003	0.201	0.268	33.2	17.6	18.4	69.2
5	관선구 평동	관선로	0.250	0	0.50	0	0.00	1	0.60	0	0.483	0.401	0.417	0.000	0.406	0	0.651	0.035	0.179	0.224	30.2	15.9	20.7	66.8
6	관선구 평동	관선로	0.250	0	0.50	0	0.00	1	0.60	0	0.483	0.511	0.544	0.000	0.406	1	0.651	0.023	0.236	0.247	31.3	20.4	19.5	71.2
7	관선구 서둔동	서부로	0.245	0	0.50	0	0.00	1	1.00	0	1.000	0.377	0.383	0.000	0.844	0	0.429	0.008	0.159	0.214	32.7	14.4	21.1	68.3
8	관선구 서둔동	서부로	0.245	0	0.50	0	0.00	1	1.00	0	0.823	0.479	0.508	0.000	0.844	1	0.429	0.008	0.215	0.236	32.8	18.7	20.1	71.6
9	관선구 서둔동	세화로	0.241	1	0.00	0	0.00	0	0.20	0	0.457	0.001	0.001	0.000	0.844	1	0.429	0.105	0.079	0.132	23.9	8.2	25.3	57.4
10	관선구 평동	서수원로	0.236	0	0.25	0	0.00	1	0.60	0	0.315	0.100	0.104	0.000	0.406	1	0.651	0.057	0.078	0.151	28.3	8.1	24.3	60.7



# 제5장 수원시 도로 운영 평가

- 제1절 종합평가
- 제2절 도로측 단위 도로 운영 평가
- 제3절 행정구 단위 도로 운영 평가
- 제4절 세부 도로구간 단위 도로 운영 평가





## 제5장 수원시 도로 운영 평가

### 제1절 종합평가

본 연구는 수원시 43개 주요 간선도로를 대상으로 도로 운영 평가를 수행하였으며, 종합평가 결과는 <표 5-1>에서 보는 바와 같다. 수원시 분석대상 총 4,322개 도로구간을 분석한 결과 교통혼잡도, 도로투자 대비 효율성, 이산화탄소배출량 평균 점수는 각각 30.1점, 10.3점, 29.5점으로 분석되었다. 또한 수원시 전체 간선도로의 운영 평가 결과 세부 도로구간별 총점 평균 점수는 69.8점으로 분석되었으며, 최소 28.5점부터 최대 86.8점까지 나타났다. 그리고 항목별 평가 점수는 최소 0점부터 최대 33.3점으로 산출되었다. 이 종합평가 결과를 토대로 도로축 단위, 행정구 단위 그리고 세부 도로구간 단위의 도로 운영 평가는 상위 10%와 하위 10%로 구분하여 각각 10개 도로구간을 대상으로 분석하였다.

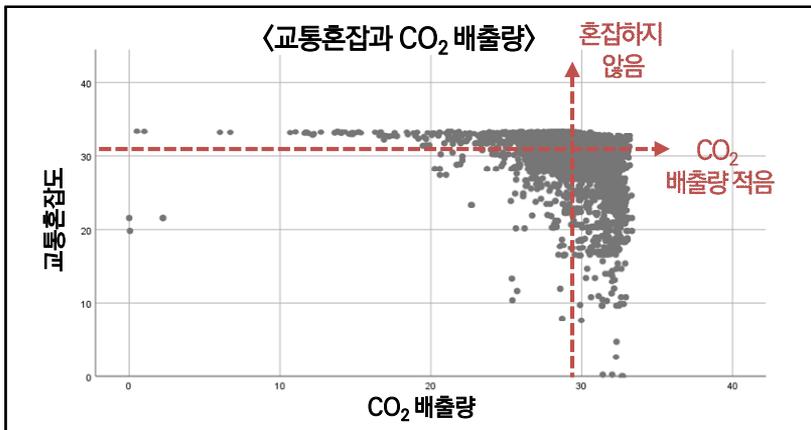
<표 5-1> 종합평가 요약

구분	교통 혼잡도	도로투자 대비 효율성	이산화탄소 배출량	총점	
평균	30.1	10.3	29.5	69.8	
중위수	31.4	9.7	30.0	70.1	
최소값	0	0	0	28.5	
최대값	33.3	33.3	33.3	86.8	
백분위수	10	25.2	6.1	26.8	64.0
	25	29.2	7.8	28.5	67.6
	50	31.4	9.7	30.0	70.1
	75	32.4	12.1	31.2	72.6
	90	32.8	15.5	32.0	75.4
N	4,322				

본 연구에서 도로 운영 평가 항목은 교통혼잡도, 도로투자대비 효율성 그리고 이산화탄소 배출량으로 구분하였다. 이 중에서 교통 혼잡도와 이산화탄소 배출량 항목의 점수가 높을수록 분석대상 도로구간의 교통 혼잡도가 낮고 이산화탄소 배출량이 적다는 것을 의미한다. 그러나 도로투자 대비 효율성 항목 점수가 높은 경우에는 도로사업 투자 대비 이용하는 교통량이 많기 때문에 예산 투입의 효율성이 높다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 <그림 5-1>부터 <그림 5-3>에서 보는 바와 같이 개별 도로 운영 평가 기준 항목 점수 사이의 산점도를 분석하였다.

일반적으로 교통혼잡도와 이산화탄소 배출량은 교통량과의 양의 상관관계를 갖는다. <그림 5-1>에서 보는 바와 같이 수원시의 주요 간선도로를 대상으로 교통혼잡도와 이산화탄소 발생량과의 상관관계를 분석한 결과 이산화탄소 배출량 점수가 높은 경우에는 교통혼잡도 점수가 함께 높아지는 것으로 나타났다. 즉, 이산화탄소 배출량이 적다는 의미는 분석대상 도로 구간에는 교통량이 적다는 것을 의미하며, 이로 인하여 교통 혼잡도도 감소되어 나타난 결과로 볼 수 있다. 다시 말해서 수원시 분석대상 도로구간의 교통혼잡도는 전반적으로 심각한 수준이 아닌 것으로 판단된다. 그러나 좌측 상단에 보는바와 같이 교통혼잡도 점수가 높으나 이산화탄소 배출량 점수가 낮은 부분은 교통량이 많고 속도가 높은 도로구간 즉, 연속류 구간인 것으로 나타났으며, 우측 하단에서 보는바와 같이 교통혼잡도 점수가 낮고 이산화탄소 배출량 점수가 높은 구간은 교통량이 적으나 교차로간 거리가 짧아 저속의 특성이 나타나는 구간인 것으로 분석된다. 따라서 교통혼잡을 해소하거나 이산화탄소배출량 저감 정책을 시행하기 위해서는 도로구간의 유형에 따라 교통혼잡도와 이산화탄소 배출량 분석 결과를 면밀히 분석하여 추진할 필요가 있다.

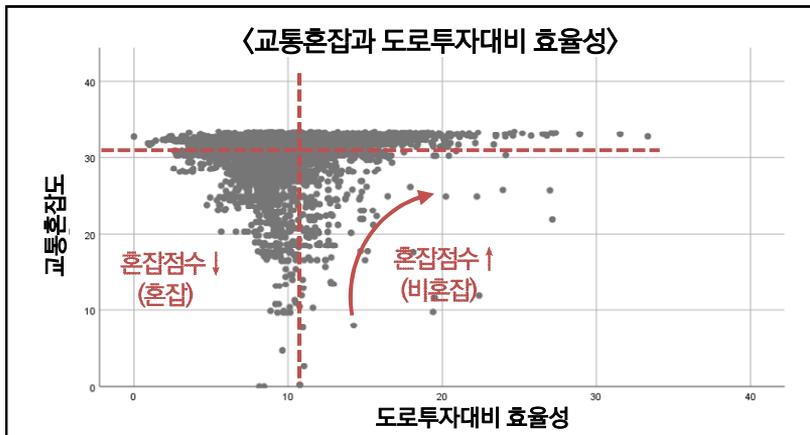
<그림 5-1> 교통혼잡도 점수와 이산화탄소배출량 점수의 산점도



〈그림 5-2〉은 교통혼잡도와 도로투자대비 효율성과의 상관관계를 나타낸 산점도이다.

분석 결과 교통혼잡도 점수가 높을수록 도로투자대비 효율성 점수는 선형관계를 갖지 않은 것으로 나타났다. 다시 말해서 도로투자 대비 효율성 점수가 10.3점까지 교통 혼잡도 점수는 점차 감소되다가 도로투자 대비 효율성 점수가 10.3점 이후부터는 교통 혼잡도 점수가 높아진다. 이는 도로투자대비 효율성 점수 10.3점을 기준으로 교통량 대비 도로용량 수준이 한계점인 것으로 판단할 수 있다. 즉, 도로투자대비 효율성 점수가 10.3점 이후부터는 해당도로를 이용하는 교통량에 비해서 해당도로의 용량이 과다하여 도로 사업에 과투자된 것으로 해석된다. 이때 도로투자대비 효율성 점수가 10.3점에 해당하는 도로구간 개수는 총 133개이며, 이 도로구간의 평균 교통량대비 용량비는 0.64에 해당된다. 따라서 도로투자 대비 효율성 점수가 10.3점( $V/C=0.64$ )까지 도로관리자 측면에서 투자 대비 효과가 가장 크게 발생하며, 이후에는 도로용량 당 교통량이 감소함으로써 교통 혼잡도 점수가 향상되므로 10.3점 이후의 도로투자에 신중한 검토가 필요함을 알 수 있다.

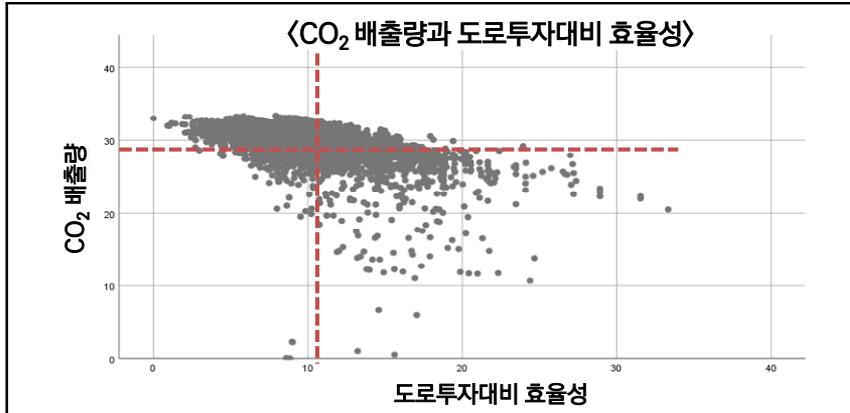
〈그림 5-2〉 교통혼잡도 점수와 도로투자대비 효율성 점수의 산점도



마지막으로 〈그림 5-3〉은 이산화탄소 배출량과 도로투자 대비 효율성 점수의 상관관계를 나타낸 산점도이다. 분석 결과, 분석대상 도로를 이용하는 교통량이 증가될수록 이산화탄소 배출량 점수는 점차 감소되는 음의 상관관계로 나타났다. 즉, 도로투자대비 효율성 점수가 10.3점까지는 이산화탄소배출량점수가 밀집도 있게 우하향 곡선을 보이지만, 도로투자대비 효율성 점수가 10.3점 이후부터는 도로용량에 비해서 교통량의 편차가 크게 발생하여 우하향으로 산점도의 퍼짐현상이 나타나고 있다. 이러한 퍼짐현상은 10.3점 이후 교통량대비 적

절한 도로투자가 이루어지지 않은 경우와 교통량대비 과도한 도로투자가 이루어졌을 경우가 혼재되어 나타난 결과로 판단된다. 결국, 본 연구의 종합평가 결과 도로투자대비 효율성 점수가 10.3점 즉, 교통량대용량비가 0.64인 경우 여러 주체의 요구사항이 융합될 수 있는 균형 점인 것으로 평가된다.

〈그림 5-3〉 이산화탄소 발생량 점수와 도로투자대비 효율성 점수의 산점도



## 제2절 도로축 단위 도로 운영 평가

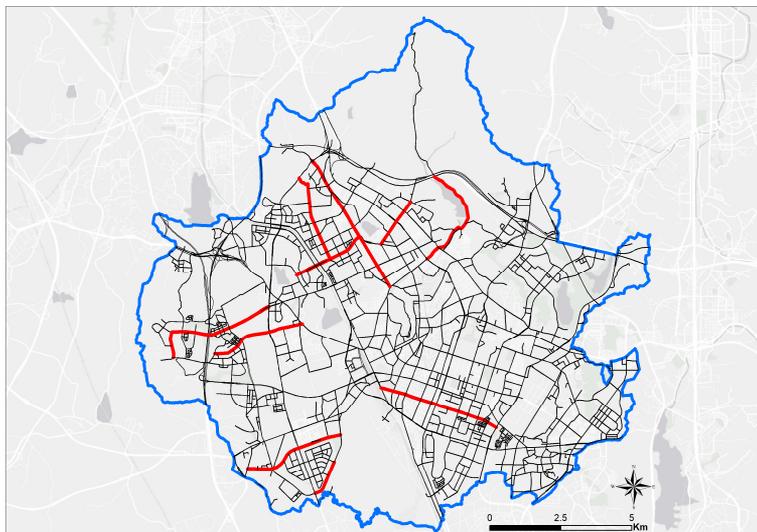
### 1. 교통혼잡도 평가 결과

본 연구에서는 수원시 관내 43개 주요 간선도로를 대상으로 교통혼잡도를 평가하였으며, <표 5-2>에서 보는 바와 같다. 43개 도로축의 교통혼잡도 평균 점수는 30.1점으로 분석되었다. 이중에서 교통 혼잡도가 적은 상위 10%(32.8점 이상)의 간선도로의 평균 점수는 33.0점, 교통 혼잡도가 높은 하위 10%(25.2점 이하)의 간선도로의 평균 점수는 20.6점으로 나타났다. 하위 10% 이상의 간선도로 중에서 광교산로, 천천로, 세권로는 총 연장대비 60% 이상의 도로구간에서 교통혼잡이 발생하는 것으로 분석되었다. <그림 5-4>는 교통혼잡도가 높은 도로축을 나타낸 것이다.

<표 5-2> 도로축 단위 교통혼잡도 평가 결과

No.	상위 10% 이내 10개 구간				하위 10% 이내 10개 구간			
	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
1	봉영로	8.25	11.7	70%	광교산로	9.66	12.5	78%
2	세화로	5.75	11.1	52%	천천로	3.34	4.9	68%
3	수인로	7.61	15.1	50%	세권로	4.15	6.9	60%
4	광교로	3.46	7.9	44%	오목천로	1.96	5.4	36%
5	경수대로	11.49	33.7	34%	금곡로	3.31	9.2	36%
6	서부로	9.4	27.9	34%	금호로	1.5	5.5	27%
7	광교중앙로	1.93	5.8	33%	정자천로	1.27	5.5	23%
8	동탄원천로	4.82	15.5	31%	송원로	0.74	3.4	22%
9	창룡대로	2.25	10.4	22%	장안로	2.22	10.6	21%
10	권선로	4.52	21.1	21%	서부로1390번길	0.41	2.1	19%

<그림 5-4> 도로축 단위 교통혼잡도 평가 결과



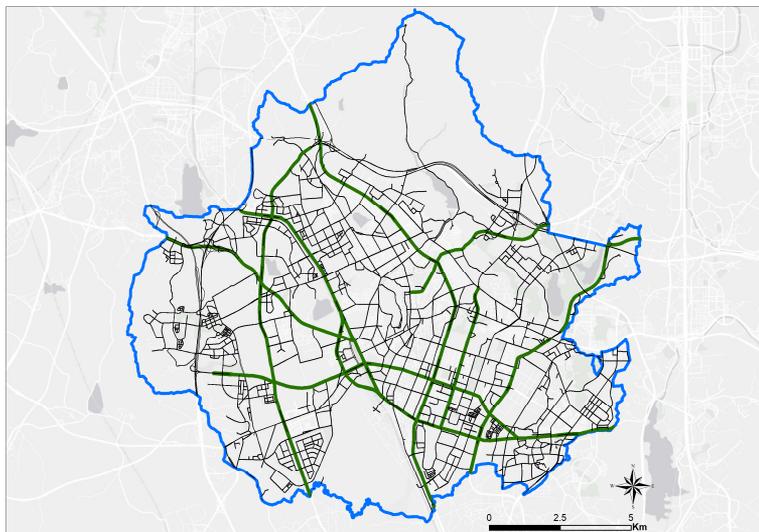
## 2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과

본 연구에서는 수원시 관내 43개 주요 간선도로를 대상으로 도로투자 대비 효율성을 평가하였으며, <표 5-3>에서 보는 바와 같다. 43개 도로축의 도로투자대비 효율성 평균 점수는 29.5점으로 분석되었다. 이 중에서 도로투자 대비 효율성이 높은 상위 10%(15.5점 이상)의 간선도로의 평균 점수는 18.4점, 도로투자 대비 효율성이 낮은 하위 10%(6.1점 이하)의 간선도로는 평균 4.8점으로 나타났다. 상위 10% 이상의 간선도로 중에서 세화로, 경수대로, 수인로가 전체 도로연장 대비 40% 이상의 도로구간에서 교통량대용량비 수준이 높은 것으로 나타나 도로투자 대비 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 이와는 반대로 송원로, 일월로에서는 전체 도로연장대비 40% 이상 구간에서 교통량이 적게 나타나 도로투자 대비 효율성이 낮은 것으로 분석되었다. <그림 5-5>는 도로투자 대비 효율성이 높은 도로축을 나타낸 것이다.

<표 5-3> 도로축 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과

No.	상위 10% 이내 10개 구간				하위 10% 이내 10개 구간			
	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
1	세화로	6.27	11.14	56%	송원로	2.00	3.41	59%
2	경수대로	16.67	33.72	49%	일월로	1.22	2.88	42%
3	수인로	6.38	15.09	42%	도청로	0.86	2.30	37%
4	서부로	9.94	27.88	36%	효원로	3.38	9.32	36%
5	권선로	6.39	21.07	30%	삼성로	2.05	6.54	31%
6	동탄원천로	4.03	15.54	26%	금곡로	2.56	9.22	28%
7	창룡대로	2.48	10.35	24%	금호로	1.26	5.50	23%
8	덕영대로	8.54	35.9	24%	동탄지성로	0.58	3.04	19%
9	권광로	2.05	10.13	20%	월드컵로	1.76	9.51	19%
10	광교호수로	1.61	9.51	17%	서수원로	2.14	12.63	17%

<그림 5-5> 도로축 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과



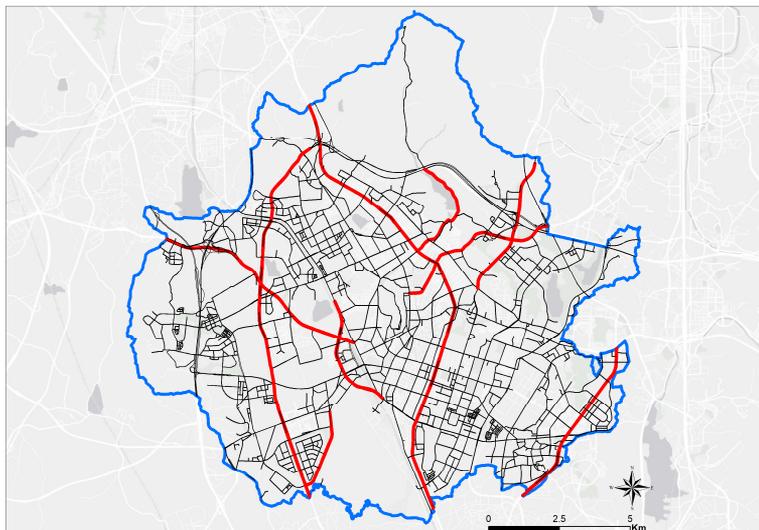
### 3. 이산화탄소 배출량 평가 결과

본 연구에서는 수원시 관내 43개 주요 간선도로를 대상으로 이산화탄소 배출량을 평가하였으며, <표 5-4>에서 보는 바와 같다. 43개 도로축의 이산화탄소 배출량 평균 점수는 29.8점으로 분석되었다. 이중에서 이산화탄소 배출량이 적은 상위 10%(32.0점 이상)의 간선도로의 평균 점수는 16.2점, 이산화탄소 배출량이 많은 하위 10%(26.8점 이하)의 간선도로는 23.4점으로 나타났다. 분석 결과 매송고색로794번길은 총 연장대비 91% 해당되는 도로구간에서 이산화탄소 배출량이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이외에도 서부로, 광교산로, 세화로, 경수대로 등 9개 구간에서는 전체 연장의 50% 이상의 도로구간에서 이산화탄소 배출량이 많이 발생하는 것으로 분석되었다. <그림 5-6>은 이산화탄소 배출량이 높은 도로축을 나타낸 것이다.

<표 5-4> 도로축 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과

No.	상위 10% 이내 10개 구간				하위 10% 이내 10개 구간			
	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
1	송원로	0.76	3.41	22%	매송고색로794번길	1.46	1.60	91%
2	매산로	0.44	3.75	12%	서부로	18.9	27.88	68%
3	일월로	0.32	2.88	11%	광교산로	8.38	12.46	67%
4	송정로	0.32	3.33	10%	세화로	7.19	11.14	65%
5	금호로	0.4	5.5	7%	서부로1390번길	1.24	2.14	58%
6	장안로	0.75	10.6	7%	경수대로	19.41	33.72	58%
7	서부로1390번길	0.13	2.14	6%	봉영로	6.58	11.72	56%
8	영통로	0.55	9.51	6%	수인로	8.42	15.09	56%
9	광교산로	0.66	12.46	5%	광교로	4.14	7.92	52%
10	동탄지성로	0.16	3.04	5%	창룡대로	5.1	10.35	49%

<그림 5-6> 도로축 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과



### 제3절 행정구 단위 도로 운영 평가

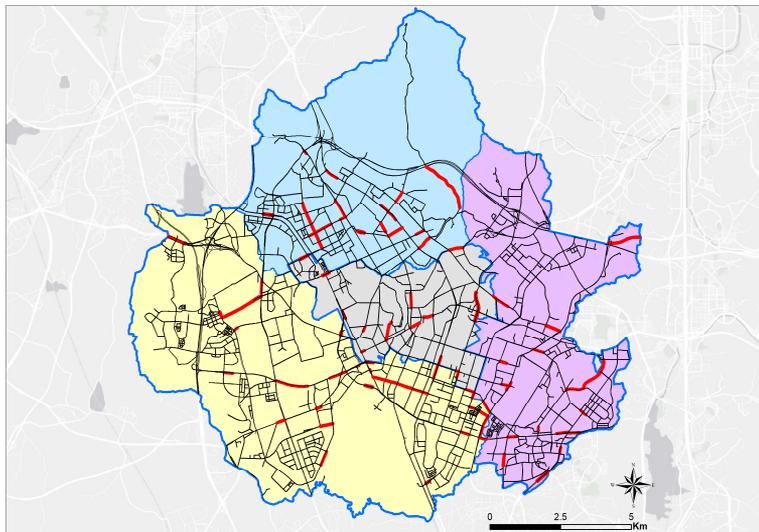
#### 1. 교통혼잡도 평가 결과

수원시 4개 행정구를 대상으로 도로 운영 평가를 수행하였으며, <표 5-5>에서 보는 바와 같다. 분석 결과 권선구, 장안구, 팔달구는 15.0점으로 수원시 전체 교통혼잡도 평가 점수와 동일하고, 영통구가 15.3점으로 다소 높게 나타났다. 즉, 네 개의 행정구 중에서 영통구에서 교통혼잡이 적게 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 행정구역 내 교통혼잡도가 높은 하위 10% 이내의 도로구간의 연장만을 비교해보면 권선구가 21.09km로 가장 길고 장안구가 20.13km, 영통구가 7.65km, 팔달구가 4.26km 순서로 나타났다. 그러나 교통혼잡도가 높은 하위 10%의 도로구간 총 연장 중 혼잡구간 연장 비율이 높은 권선구와 장안구가 각각 해당 행정구의 총 도로연장 대비 13%, 22%에 해당되는 것으로 분석되어 이들 구에서 교통혼잡 해소를 위한 특별관리가 필요한 것으로 판단된다. <그림 5-7>은 행정구역별 교통혼잡도가 높은 도로구간을 나타낸 것이다.

<표 5-5> 행정구 단위 교통혼잡도 평가 결과

상위 10% 이내				하위 10% 이내			
도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
권선구	30.59	159.44	19%	권선구	21.09	159.44	13%
영통구	20.39	112.25	18%	영통구	7.65	112.25	7%
장안구	7.65	89.96	9%	장안구	20.13	89.96	22%
팔달구	10.91	73.57	15%	팔달구	4.26	73.57	6%
<b>총합계</b>	<b>69.54</b>	<b>435.22</b>	<b>16%</b>	<b>총합계</b>	<b>53.13</b>	<b>435.22</b>	<b>12%</b>

<그림 5-7> 행정구 단위 교통혼잡도 평가 결과



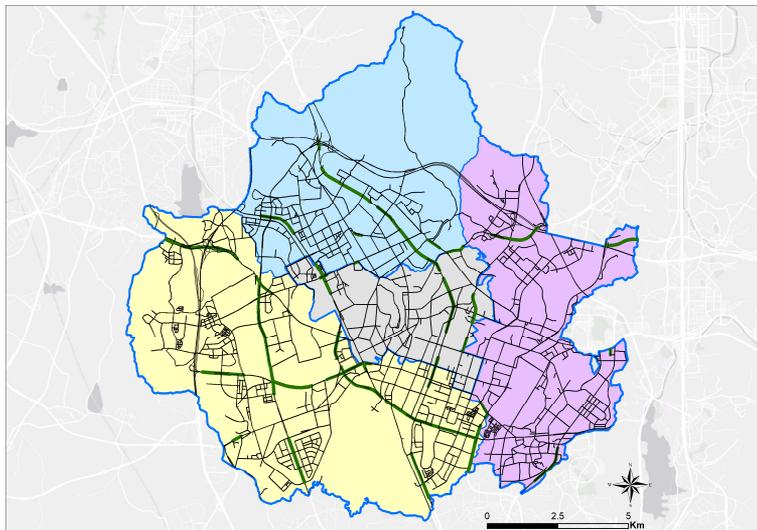
## 2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과

수원시 행정구를 대상으로 도로투자 대비 효율성 평가를 수행하였으며, <표 5-6>에서 보는 바와 같다. 분석 결과 행정구별 도로투자 대비 효율성이 높은 상위 10% 이내 도로가 권선구에서 지역 내 총 도로연장 대비 24%로 다른 구에 비해서 도로투자 대비 효율성이 가장 좋은 것으로 평가되었다. 그러나 도로투자 대비 효율성이 낮은 하위 10% 이내 도로구간을 대상으로 분석한 결과 영통구 8.75km, 권선구 7.57km, 팔달구 6.52km 그리고 장안구 3.99km 순서로 나타났다. <그림 5-8>은 행정구역별 도로투자대비 효율성이 높은 도로구간을 나타낸 것이다.

<표 5-6> 행정구 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과

상위 10% 이내				하위 10% 이내			
도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
권선구	37.6	159.44	24%	권선구	7.57	159.44	5%
영통구	5.36	112.25	5%	영통구	8.75	112.25	8%
장안구	13.77	89.96	15%	장안구	3.99	89.96	4%
팔달구	10.94	73.57	15%	팔달구	6.52	73.57	9%
<b>총합계</b>	<b>67.67</b>	<b>435.22</b>	<b>16%</b>	<b>총합계</b>	<b>26.83</b>	<b>435.22</b>	<b>6%</b>

<그림 5-8> 행정구 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과



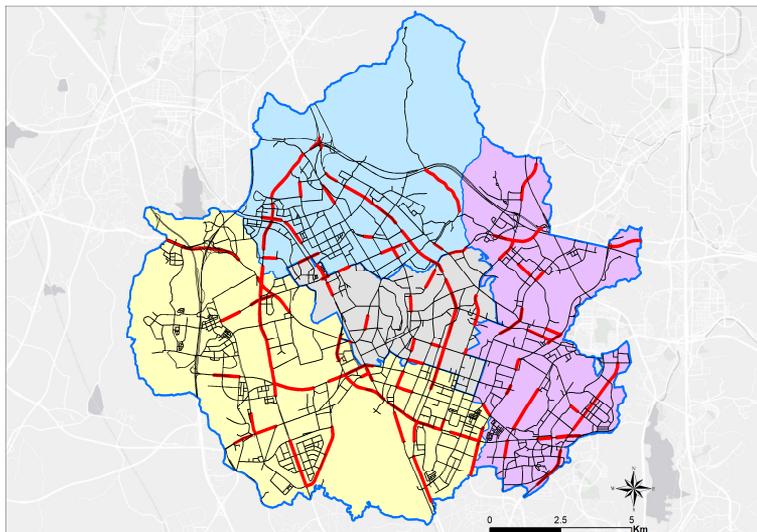
### 3. 이산화탄소 배출량 평가 결과

수원시 행정구를 대상으로 이산화탄소 배출량 평가를 수행하였으며, <표 5-7>에서 보는 바와 같다. 분석 결과 자치구 내 이산화탄소 배출량이 높은 하위 10% 이내 도로 중에서 권선구가 65.84km로 지역 내 총 도로연장 대비 41%로 다른 행정구에 비해서 이산화탄소 배출량이 가장 높게 나타났으며, 이와는 반대로 영통구가 30%로 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 이산화탄소 배출량은 교통량이 많고 더욱이 화물자동차 통행량이 많은 도로일수록 배출량이 높다. 따라서 권선구의 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해서는 지역 간 통행량 감축뿐만 아니라 화물자동차의 통행량 수준을 검토하여 이산화탄소 감축 정책을 마련할 필요가 있다. <그림 5-9>는 행정구역별 이산화탄소 배출량이 높은 도로구간을 나타낸 것이다.

<표 5-7> 행정구 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과

상위 10% 이내				하위 10% 이내			
도로명	연장(km)	총연장(km)	비율	도로명	연장(km)	총연장(km)	비율
권선구	3.72	159.44	2%	권선구	65.84	159.44	41%
영통구	2.72	112.25	2%	영통구	33.35	112.25	30%
장안구	4.14	89.96	5%	장안구	33.92	89.96	38%
팔달구	1.86	73.57	3%	팔달구	23.22	73.57	32%
<b>총합계</b>	<b>12.44</b>	<b>435.22</b>	<b>3%</b>	<b>총합계</b>	<b>156.33</b>	<b>435.22</b>	<b>36%</b>

<그림 5-9> 행정구 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과



## 제4절 세부 도로구간 단위 도로 운영 평가

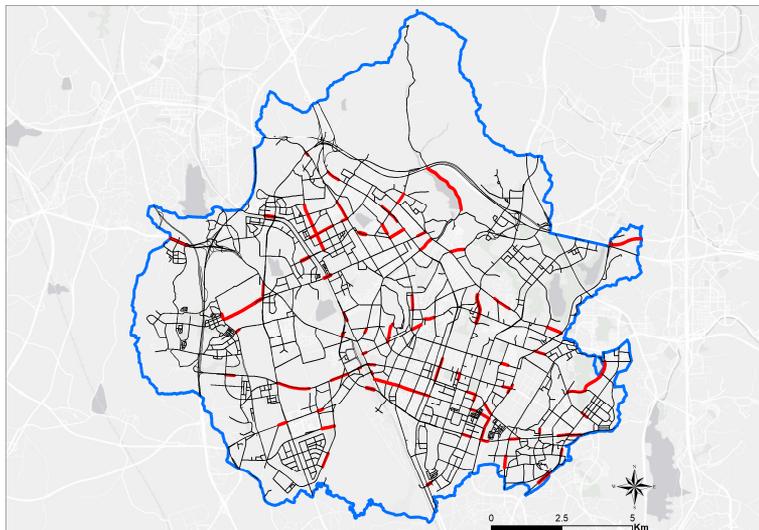
### 1. 교통혼잡도 평가 결과

본 연구는 앞서 도로축 단위의 교통혼잡도 평가 결과를 제시하였다. 교통 혼잡이 크게 발생하는 도로 축에 대해서 보다 세부적인 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 43개 주요 간선도로 축을 총 4,322개 세부 도로구간<sup>12)</sup>으로 구분하여 교통 혼잡이 발생하는 구간을 선정하고 그 원인을 분석하였다. 분석 결과 <표 5-8>에서 보는 바와 같이 교통 혼잡도가 높은 하위 10% 이내는 248개 도로구간이 선정되었으며, 이들 도로구간의 총연장은 53.13km로 나타났다. 여기서 총 구간수<sup>13)</sup> 대비 교통혼잡 구간수가 차지하는 비율이 높은 도로축은 천천로이며, 35%를 차지한다. 이외에도 세권로, 금곡로, 송정로, 광고산로, 세화로, 권광로에서 총구간수 대비 교통혼잡 구간수 비율이 10% 이상으로 분석되었다. 개별 구간의 위치는 <그림 5-10>에서 보는 바와 같다.

<표 5-8> 세부 도로구간 단위 교통혼잡도 평가 결과

구분	구간수	점수	연장(km)
교통 혼잡도	상위 10%	171	32.8
	하위 10%	248	25.2
	전체	4,322	30.1

<그림 5-10> 세부 도로구간 단위 교통혼잡도 평가 결과



12) 교차로와 교차로 사이의 도로구간을 의미함

13) 하나의 간선도로 축을 구성하는 세부 도로구간 총 개수를 의미함

〈표 5-9〉 세부 도로구간 교통혼잡도

도로명	혼잡 구간수	총 구간수	혼잡구간 비율	도로명	혼잡 구간수	총 구간수	혼잡구간 비율
천천로	12	34	35%	인계로	4	68	6%
세권로	15	48	31%	매산로	3	52	6%
금곡로	16	85	19%	매송고색로	8	142	6%
송정로	5	31	16%	금호로	3	57	5%
광고산로	6	54	11%	광고호수로	4	77	5%
세화로	9	88	10%	동탄지성로	2	40	5%
권광로	12	122	10%	서부로1390번길	1	20	5%
팔달로	5	55	9%	동수원로	7	146	5%
봉영로	9	101	9%	영통로	6	127	5%
만석로	4	48	8%	수성로	4	100	4%
정자천로	4	51	8%	서부로	8	203	4%
장안로	8	108	7%	권선로	8	212	4%
오목천로	4	56	7%	매영로	3	89	3%
동탄원천로	8	116	7%	정조로	5	157	3%
수인로	12	174	7%	경수대로	10	316	3%
효원로	8	127	6%	서수원로	2	129	2%
송원로	3	49	6%	창룡대로	1	121	1%
월드컵로	7	115	6%	중부대로	1	163	1%
덕영대로	21	355	6%	<b>총합계</b>	<b>248</b>	<b>4,322</b>	<b>6%</b>

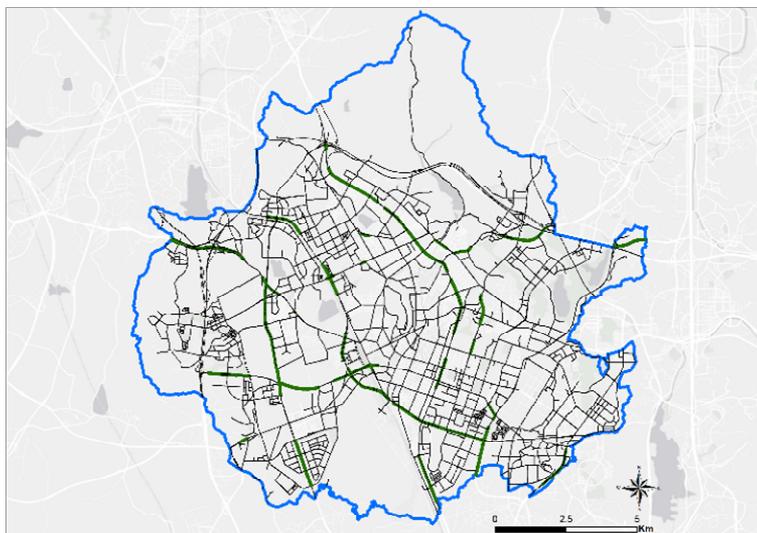
## 2. 도로투자 대비 효율성 평가 결과

도로 운영 및 관리자의 목표는 도로투자대비 효율성을 얻는 것이다. 도로부문에서 도로사업 투자에 대한 효율성은 해당도로를 이용하는 교통수요 증가로 인하여 사업 대상 주변 도로의 교통흐름이 개선되어 경제적 파급효과가 발생하는 것이다. 이를 위해서는 사업대상 도로를 이용하는 교통수요가 도로용량에 가깝게 나타나야 효율성이 증가되는 것이다. 이처럼 수원시 간선도로를 대상으로 도로투자 대비 효율성 평가를 수행한 결과는 <표 5-10>에서 보는 바와 같다. 효율성이 높은 상위 10% 이내 도로구간 개수는 189개(67.67km)이며, 이와는 반대로 효율성이 낮은 하위 10% 이내 도로구간 개수는 203개(26.8km)로 분석되었다. 개별구간의 위치는 <그림 5-11>에서 보는 바와 같다. 총 분석대상 도로구간 중에서 도로투자대비 효율성이 가장 높은 간선도로는 세화로이며, 총구간수 대비 17%가 이에 해당된다. 이와는 반대로 총 분석대상 도로구간 중에서 도로투자대비 효율성이 가장 낮은 간선도로는 매송고색로이며, 총구간수 대비 1%만이 효율성이 높은 도로구간 개수에 해당되는 것으로 평가되었다. <표 5-11>는 세부 도로구간 단위 도로투자 대비 효율성을 나타낸 표이다.

<표 5-10> 세부 도로구간 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과

구분	구간수	점수	연장(km)	
도로투자대비 효율성	상위 10%	189	15.5	67.67
	하위 10%	203	6.1	26.83
	전체	4,322	10.3	435.2

<그림 5-11> 세부 도로구간 단위 도로투자 대비 효율성 평가 결과



〈표 5-11〉 세부 도로구간 도로투자 대비 효율성

도로명	효율성이 높은 구간수	총 구간수	효율성이 높은 구간 비율	도로명	효율성이 높은 구간수	총 구간수	효율성이 높은 구간 비율
세화로	15	88	17%	동탄원천로	6	116	5%
경수대로	48	316	15%	권광로	4	122	3%
서부로	23	203	11%	송정로	1	31	3%
덕영대로	35	355	10%	광고호수로	2	77	3%
수인로	15	174	9%	봉영로	2	101	2%
권선로	18	212	8%	월드컵로	2	115	2%
창릉대로	10	121	8%	매송고색로	2	142	1%
수성로	6	100	6%	<b>총합계</b>	<b>189</b>	<b>4,322</b>	<b>4%</b>

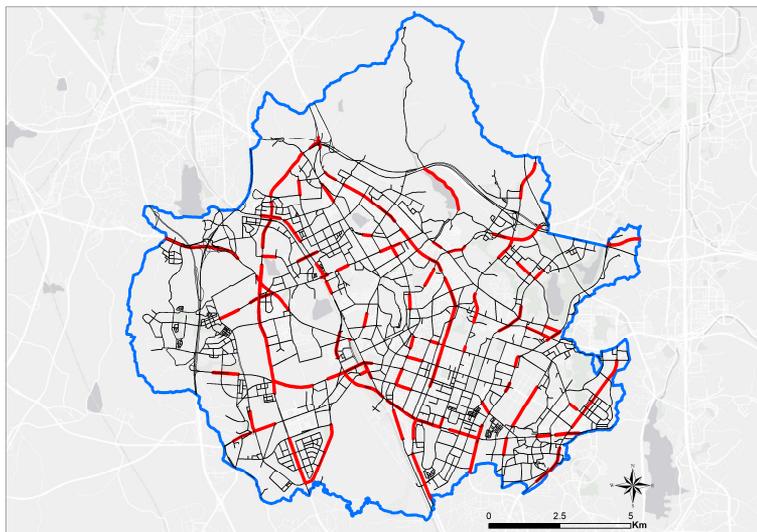
### 3. 이산화탄소 배출량 평가 결과

수원시 간선도로를 대상으로 이산화탄소 배출량 평가를 수행한 결과는 <표 5-12>와 같으며, 이산화탄소 배출량 평가 점수가 높은 상위 10% 이내 도로구간(이산화탄소 배출량이 적은 구간) 연장은 12.44km이며, 이와는 반대로 이산화탄소 배출량 평가 점수가 낮은 하위 10% 이내 도로구간(이산화탄소 배출량이 많은 구간) 연장은 156.33km로 나타났다. 개별 구간의 위치는 <그림 5-12>에서 보는 바와 같다. 총 분석대상 도로구간 중에서 이산화탄소 배출량이 많은 간선도로는 매송고색로794번길과 서부로이며, 총 구간수 대비 각각 20%가 이에 해당된다. 이외에도 세화로, 광고로, 경수대로, 서부로1390번길, 덕영대로, 봉영로, 창룡대로, 수인로, 동탄원천로, 수성로는 해당 도로의 총 연장 대비 10% 이상이 이산화탄소 배출량이 많은 구간으로 평가되었으며, <표 5-13>에서 보는 바와 같다.

<표 5-12> 세부 도로구간 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과

구분	구간수	점수	연장(km)	
CO <sub>2</sub> 배출량	상위 10%	261	32.0	12.44
	하위 10%	357	26.8	156.33
	전체	4,322	29.5	435.2

<그림 5-12> 세부 도로구간 단위 이산화탄소 배출량 평가 결과



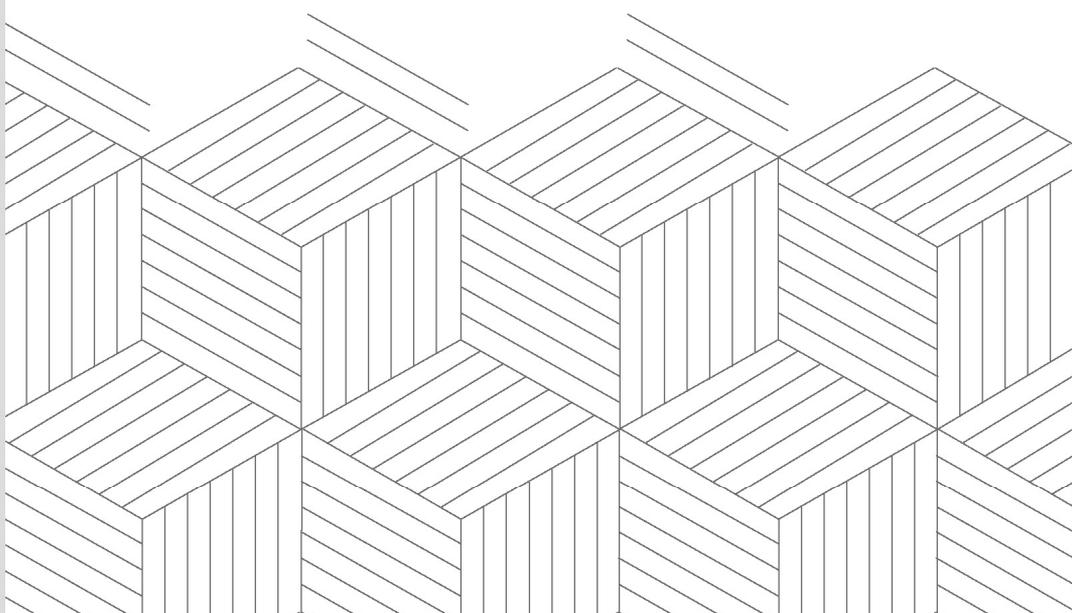
〈표 5-13〉 세부 도로구간 이산화탄소 배출량

도로명	CO <sub>2</sub> 배출 구간수	총 구간수	CO <sub>2</sub> 배출량 하위 10% 구간 비율	도로명	CO <sub>2</sub> 배출 구간수	총 구간수	CO <sub>2</sub> 배출량 하위 10% 구간 비율
매송고색로794번길	2	10	20%	송정로	2	31	6%
서부로	40	203	20%	일월로	2	34	6%
세화로	16	88	18%	천천로	2	34	6%
광고로	14	82	17%	광고호수로	4	77	5%
경수대로	50	316	16%	동탄지성로	2	40	5%
서부로1390번길	3	20	15%	권광로	6	122	5%
덕영대로	51	355	14%	월드컵로	5	115	4%
봉영로	14	101	14%	매송고색로	6	142	4%
창릉대로	16	121	13%	동수원로	6	146	4%
수인로	22	174	13%	정자천로	2	51	4%
동탄원천로	12	116	10%	광고산로	2	54	4%
수성로	10	100	10%	서수원로	4	129	3%
도청로	2	22	9%	인계로	2	68	3%
권선로	19	212	9%	삼성로	2	88	2%
세권로	4	48	8%	매영로	2	89	2%
광고중앙로	4	50	8%	장안로	2	108	2%
정조로	12	157	8%	중부대로	3	163	2%
팔달로	4	55	7%	효원로	2	127	2%
금곡로	6	85	7%	<b>총합계</b>	<b>357</b>	<b>4,322</b>	<b>8%</b>

# 제6장

## 효율적인 도로관리 방향

- 제1절 포용적 측면의 도로관리 방향
- 제2절 사회·경제적 측면의 도로관리 방향
- 제3절 환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향



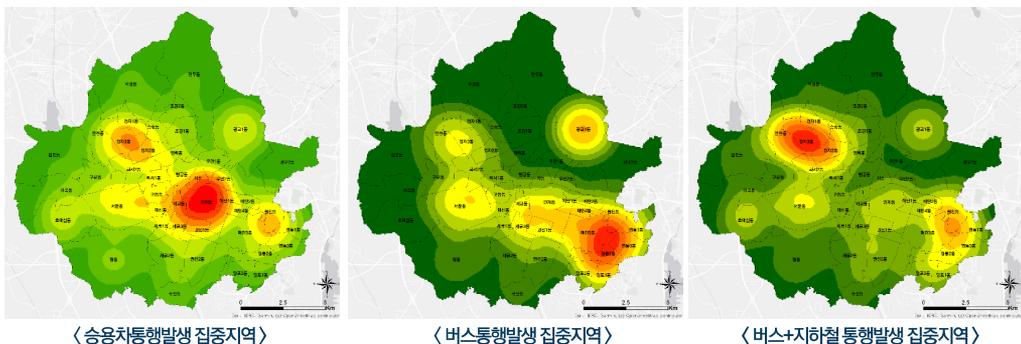


## 제6장 효율적인 도로관리 방향

### 제1절 포용적 측면의 도로관리 방향

현재 수원시 네 개의 행정구 면적 당 도로연장률(도로보급률)을 비교해 보면 팔달구가 13.6%로 가장 높다<sup>14)</sup>. 이는 행정구의 도로보급률에 대한 지역 간 불균형이 발생하고 있다는 것을 의미한다. 또한 <그림 6-1>은 수원시 네 개 행정구를 44개 동으로 구분하여 해당 동에서 발생하는 교통수단별 GIS 커널밀도분석 결과를 나타낸 것이다. 팔달구는 승용차 통행발생량이 집중되어 있고 영통구는 버스 통행발생량이 그리고 장안구는 버스와 지하철(환승) 통행발생량이 집중되어 있다. 그리고 권선구는 승용차와 버스 의존도가 비교적 높게 나타났다. 이 분석 결과도 수원시의 불균형적인 수단별 집중률을 나타내고 있는 것이다. 앞서 제시한 연구 결과에 따르면 팔달구는 도로보급률은 높으나 승용차 이외에 다른 대체 교통수단이 부족하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

<그림 6-1> 교통수단별 GIS 커널밀도분석 결과

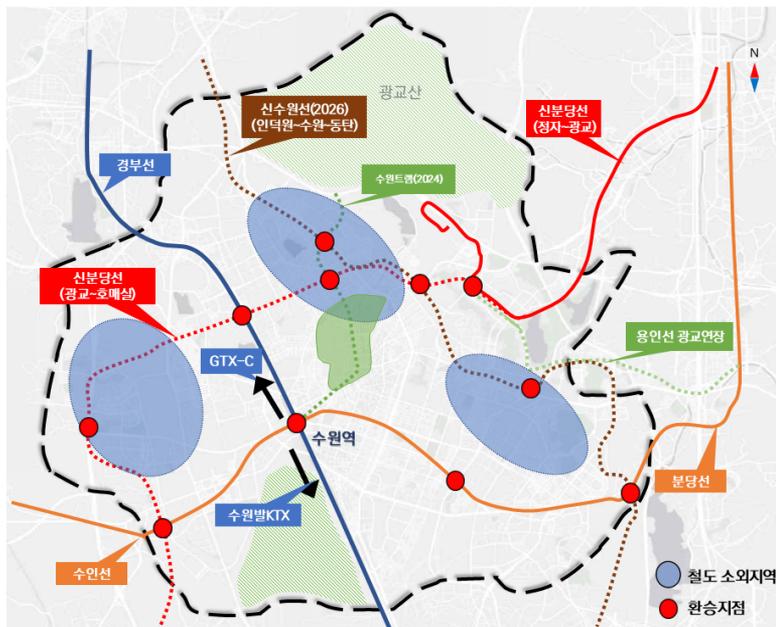


14) 권선구 7.3%, 영통구 7.7%, 장안구 7.6%, 팔달구 13.6%, KOSIS, 2019년 기준.

이처럼 대중교통수단은 각종 시설과의 편리한 접근 및 사회활동 참여를 가능하게 하므로 지역 내 통합과 포용성장에 중요한 요소라 할 수 있다. 대중교통 서비스의 포용정책은 사회적 약자의 이동권을 보장할 수 있는 필수 사항이나 노선의 연속성, 경제적 타당성 등을 통해 추진해 온 그동안의 대중교통정책은 포용성이 반영된 정책으로 보기가 어렵다. 즉, 수원시를 연결하는 광역·도시 철도는 수원역을 중심으로 지속적인 확장 및 신설계획이 있으나 민간투자 사업으로 시행 등 지역 내 통합을 위한 포용성 보다는 수익 우선 구조의 사업 방식이기 때문에 인구밀집도가 높은 지역을 연계하는 노선계획으로 추진 중이다. 이러한 상황에서 버스노선이 철도의 보완 수단으로 적극적으로 배치되어야 함에도 불구하고 수원시의 버스노선은 민영제로 운영 중에 있어 수원시가 합리적이고 효율적인 버스 정책을 추진하기에는 어려운 실정이다.

따라서 수원시는 포용적 측면에서 지역 내 형평성과 효율성을 갖춘 도로관리 전략이 필요한 실정이다. <그림 6-2>에서 보는 바와 같이 승용차, 버스, 버스와 지하철(환승) 통행발생 집중지역을 연결하는 순환형 BRT를 통해 지역 내 대중교통 음영지역을 해소하고 철도역과의 연계환승체계를 구축하여 승용차 이용수요를 감소시키는 방향으로 포용적 도로관리가 요구된다.

<그림 6-2> 수원시 순환형 BRT 구축 방향(안)



## 제2절 사회·경제적 측면의 도로관리 방향

본 연구에서는 도로 운영 및 관리자 관점에서의 도로투자 대비 효율성을 도로 운영 평가 기준 항목으로 선정하였다. 이 항목은 투자된 도로구간의 도로용량 대비 실제 이용하는 교통량을 의미한다. 그러나 도로투자 대비 효율성은 근본적으로 도로 이용자와 도로 운영 및 관리자가 추구하는 목적이 다르다. 즉, 도로 이용자의 입장에서 보면 도로 기능이 충분히 발휘할 수 있는 조건하에서 운전자는 어느 도로구간에서든지 쾌적성을 잃지 않고 설계속도 이내에서 자유로이 주행속도를 유지할 수 있기를 희망한다. 그러나 도로 운영 및 관리자 입장에서는 이러한 도로는 투자대비 효율성이 낮은 도로이며, 실제 도로를 이용하는 교통량 수준대비 과다한 사업비가 투입된 것이다. 결국 도로 이용자와 도로 운영 및 관리자가 추구하는 목적의 균형점을 찾기 위해서는 도로계획 단계부터 도로투자 대비 적정 수준의 교통량을 수용할 수 있도록 도로가 설계되어야 하나 장래 교통환경 변화를 정확하게 예측하기가 어렵다. 결국 불확실한 장래 도로 운영 상태를 평가하기 보다는 현재 운영 중인 도로 상태를 평가하여 개선 대안을 마련하는 것이 현실에 부합한 도로정책이 될 수 있다.

본 연구에서 도출한 도로구간별 교통량대용량비( $V/C=0.64$ )는 도로 투자 여부를 결정짓는 기준점으로 적용될 수 있다. 다시 말해서 수원시가 가용할 수 있는 도로투자 예산이 충분하다면 우회도로 신설, 차로수 증설, 교차로 입체화 등과 같은 대규모 사업을 통해 적극적으로 교통혼잡을 해소할 수 있을 것이다. 그러나 수원시의 도로투자를 위한 가용예산이 열악한 실정이라면 선정된 교통혼잡 구간을 대상으로 차로 재배분, 신호체계 개선, 교차로 도류화 등 소규모, 저비용, 고효율의 단기사업을 추진할 수 있는 정책적 결정 기준이 될 수 있다.

무엇보다도 수원시의 도시안전통합센터에서 수집되고 있는 각종 교통정보의 활용성에 대해서 고민해볼 필요가 있다. 현재 ITS 구축사업으로 수원시 관내 주요도로에서는 첨단신호시스템, 각종 교통정보 수집 장치가 설치되어 있고 이를 통해 다양한 교통정보를 수집하고 있다. 하지만 실시간으로 수집되고 있는 교통량 및 속도자료는 모든 교통정책의 기본이 되는 자료로서 그 중요성이 세계적으로 인정받고 있으나 수원시는 이러한 자료를 통계적 변화추이, 시간대별 속도 제공 등 단편적인 교통정보 제공을 위해 활용되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 ITS에서 수집되고 있는 각종 교통정보 자료는 최적의 경로를 제공함으로써 도로용량이 부족한 간선도로의 수요관리, 교통류 행태 분석을 통한 도로 운영체계 개선 등 다양한 도로관리 정책을 마련하는데 활용될 수 있다.

### 제3절 환경·첨단기술 측면의 도로관리 방향

본 연구는 이용자 관점에서의 교통혼잡도를 도로 운영 평가 기준 항목으로 선정하였다. 이 항목과 관련된 도로 운영 평가 지표는 차로수, 중앙분리대, 도로입체시설, 제한속도, 도로용량, ITS 시설, 도로보급률 등 7개 지표가 교통 혼잡에 통계적으로 유의미한 지표로 분석되었다. 그러나 수원시 간선도로의 교통혼잡에 영향을 미치는 요인들은 앞서 언급한 지표 이외에도 불합리한 신호현시, 중차량 비율, 가감속 편차 등 다양한 요인에 의해서 복합적으로 발생하게 된다. 이러한 교통 혼잡으로 인하여 도로에서 발생하는 이산화탄소 배출량도 증가하게 되는 것이다.

무엇보다도 운송물류부문에서 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력은 세계적으로 높은 관심을 보이고 있는 실정이다. 이에 정부는 탄소중립 비전 및 중점 추진과제로 전기·수소차 보급을 가속화하고 대중교통 활성화 계획을 수립 중에 있다<sup>15)</sup>. 특히, 탄소감축 효과가 큰 사업용 차량의 전기·수소차 전환을 우선 추진하고, 이와 관련하여 전기 충전소는 거주지 및 직장 등 생활거점에 그리고 수소 충전소는 교통물류 거점을 중심으로 설치할 계획이다. 따라서 향후 도로구간에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 감소할 것으로 판단된다. 또한 정부는 2021년 자율주행차 규제혁신 로드맵 2.0을 수립<sup>16)</sup>하여 2022년 레벨 3 자율주행차 출시를 시작으로 본격적인 자율주행 시대가 개막되고, 2027년에는 레벨 4 자율주행차가 상용화될 수 있을 것으로 전망<sup>17)</sup>하고 있다. 그러나 정부의 자율주행차 상용화 목표연도에는 수원시에서 자율주행차가 운행되는 모습은 보기 어려울 것으로 판단된다. 그 이유는 자율주행차가 상용화되기 위해서 현재 수원시 주요 간선도로에는 AI, IoT, 빅데이터 등 혁신 기술이 융합된 디지털 도로망이 구축되고 있어야하기 때문이다.

따라서 수원시는 중앙정부의 이산화탄소 배출량 감축정책에 동참하기 위해서는 본 연구에서 도출된 이산화탄소 발생 집중 구간에 대한 정비가 필요하다. 그리고 수원시는 국토지리정보원과 협력체계를 구축하여 수원시 관내 도로구간에 대한 정밀도로지도를 확장하고 상시적으로 정밀도로지도 데이터를 갱신하여 수원시 도로관리에 활용될 수 있도록 기반 마련이 필요하다. 더 나아가 수원시는 육상교통 경쟁력 제고를 위해 수요응답형 교통수단, 개인형이동수단 등 다양한 첨단교통기술과 친환경 교통수단 도입을 위한 환경·첨단기술 측면의 도로관리가 필요하다.

15) 「국토교통 탄소중립 로드맵」, 국토교통부, 2021

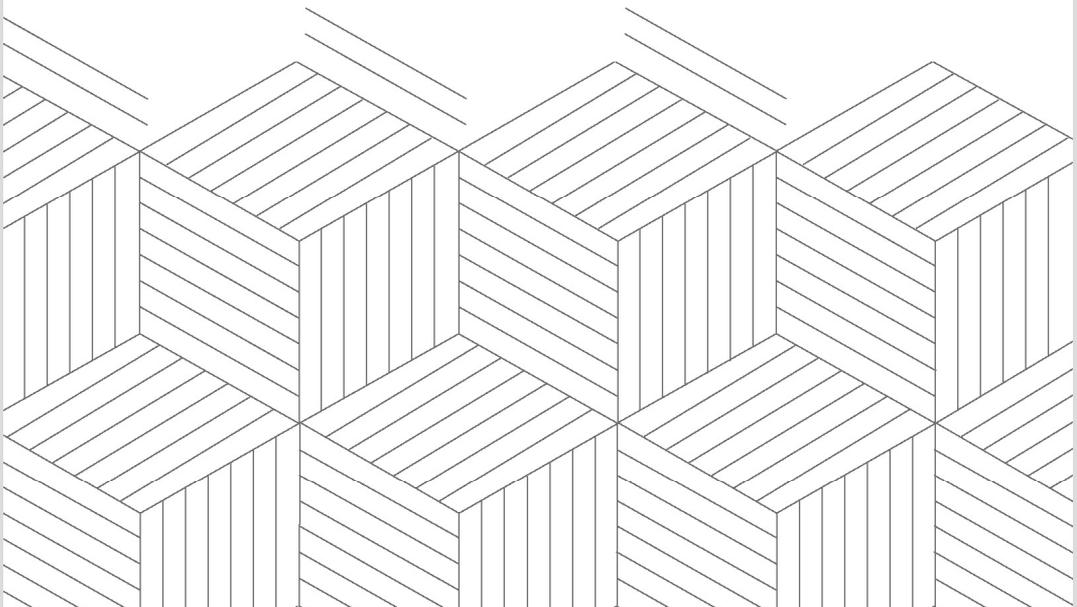
16) (자율차) Lv.3 승용('22) → Lv.3 상용('24) → Lv.4 저속셔틀('25) → Lv.4 승용·상용('27) (서비스) 시범·실증(~'23) → 저속 셔틀, 화물차 군집주행('25) → 공유차, 순찰 등('27~)

17) "선제적 규제정비로 자율주행차 상용화 앞당긴다" 국토교통부 보도자료, 2021.12.23

# 제7장

## 결론 및 향후 과제

제1절 결론  
제2절 향후 과제





## 제7장 결론 및 향후 과제

### 제1절 결론

본 연구는 수원시 주요 간선도로를 대상으로 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자 모두의 요구사항이 반영될 수 있는 균형 잡힌 도로정책의 목표를 실현하기 위해 도로 운영 평가 지표를 개발하여 현재 운영 중인 도로의 효율성을 진단하고 향후 경제적이고 효율적인 도로 관리방향을 제시하는데 목적이 있다.

최근까지 수행된 도로 운영 평가와 관련된 선행연구는 다양한 주체의 요구사항을 포괄할 수 있는 평가 지표 및 평가 방법론 개발에 관한 연구가 미미한 실정이므로 미래 교통환경 변화에 대비한 새로운 평가 지표가 개발되어야만 한다. 이에 본 연구는 도로 운영 평가 기준 항목을 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자, 정책입안자의 요구사항이 반영될 수 있도록 교통 혼잡도, 도로투자 대비 효율성 그리고 이산화탄소 배출량으로 선정하였다. 그리고 도로 운영 평가지표는 선행연구를 통해 신뢰성, 타당성 등을 검증 받은 도로 운영 평가 지표들을 도로 운영 평가 지표 후보군으로 선정하였다. 최종 도로 운영 평가지표 선정을 위해서 본 연구는 평가 기준 항목과 평가 지표 후보군 사이의 인과관계 분석을 위해서 다중선형 회귀분석을 적용하였다. 먼저 도로 이용자 관점의 요구사항이 반영된 교통혼잡도와 인과관계가 있는 도로 운영 평가지표는 차로수, 중앙분리대, 도로입체시설, 제한속도, 도로용량, ITS 시설, 도로 보급률 변수가 선정되었다. 그리고 도로 운영 및 관리자 관점의 요구사항이 반영된 도로 운영 평가 지표는 차로수, 일방통행, 도로입체시설, 승용차 교통량, 버스 교통량, 버스+지하철(환승) 통행발생량, 도로보급률이 유의미한 변수로 선정되었다, 마지막으로 정책입안자 관점의 요구사항이 반영된 도로 운영 평가 지표는 구간연장, 도로입체시설, 자동차전용도로, 신호등 밀도, 총교통량, 도로보급률 변수가 선정되었다.

여기서 고려해야할 사항은 모든 주체의 요구사항을 반영할 수 있는 도로 운영 평가 결과를 도출해내기 위해서 각 주체의 요구사항이 반영된 도로 운영 평가 결과의 통합이 필요하다.

이에 본 연구는 도로 운영 평가 통합 모형을 제안하였다. 먼저 각 주체별 요구사항을 반영한 도로 운영 평가 모형을 구성하는 설명변수들 중에서 중복된 설명변수를 제외하고 총 15개 설명변수가 도로이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항을 반영할 수 있는 통합 도로 운영 평가 지표로 선정하였다. 그리고 이 15개 도로 운영 평가 지표 값을 앞서 개발한 세 개의 주체별 요구사항을 반영한 모형식에 적용하여 개별 평가 기준 항목 당 33.3점 만점으로 총 3개 항목을 합산한 총점을 산출하였다. 여기서 산출된 총점은 모든 주체의 요구사항이 반영된 것으로 총점이 높을수록 도로이용자, 도로 운영 및 관리자 그리고 정책입안자의 요구사항의 반영도가 높은 것으로 평가하였다.

수원시 43개 주요 간선도로를 대상으로 도로 운영 평가를 수행하였으며, 종합평가, 도로축 단위, 행정구 단위 그리고 세부 도로구간 단위로 평가 결과를 제시하였다.

종합평가는 교통혼잡도, 도로투자대비 효율성 그리고 이산화탄소 배출량 점수에 대해서 개별 평가 기준 항목별 산점도 분석을 수행하였다. 평가 결과 교통량대용량비(V/C)가 0.64인 경우 여러 주체의 요구사항이 융합될 수 있는 균형점인 것으로 평가되었다.

도로축 단위의 도로 운영 평가 결과 광교산로, 천천로, 세권로는 총 연장대비 60% 이상의 도로구간에서 교통혼잡이 발생하는 것으로 분석되었으며, 송원로, 일월로에서는 전체 도로연장대비 40% 이상 구간에서 교통량이 적게 나타나 도로투자 대비 효율성이 낮은 것으로 분석되었다. 그리고 매송고색로794번길은 총 연장대비 91%가 이산화탄소 배출량이 많은 도로축으로 나타났다.

행정구 단위의 도로 운영 평가 결과 장안구의 교통혼잡 구간의 도로연장은 20.13km로 장안구의 총 도로연장 대비 22%에 해당되어 다른 구에 비해서 교통혼잡도가 가장 높은 행정구로 분석되었다. 그리고 영통구의 도로투자 대비 효율성이 낮은 구간의 도로연장은 8.75km로 다른 행정구에 비해서 도로투자 대비 효율성이 가장 낮은 행정구로 나타났으며, 권선구의 이산화탄소배출량이 높은 도로 구간 연장은 65.84km로 지역 내 총 도로연장 대비 41%로 다른 구에서 비해서 이산화탄소 발생량이 가장 많은 행정구로 분석되었다.

세부 도로구간 단위의 도로 운영 평가 결과 총 4,322개 분석 대상 세부 도로구간 중에서 교통혼잡도가 높은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 248개(총연장 53.13km)이며, 이 중에서 천천로는 교통혼잡도로 구간수가 차지하는 비율이 가장 높은 간선도로로 나타났다. 그리고 도로투자 대비 효율성이 낮은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 203개(총 연장 26.8km)이며, 매송고색로는 도로투자 대비 효율성이 가장 낮은 간선도로로 분석되었다. 그리고 이산화탄소 배출량이 많은 상위 10% 이상 도로구간 개수는 357개(총 연장 156.33km)이며, 매송고색로 794번길과 서부로가 이산화탄소 배출량이 가장 많은 간선도로로 선정되었다.

본 연구는 수원시 주요 간선도로 운영 평가 결과를 토대로 수원시 맞춤형 도로관리 방향을 제시하였다.

첫째, 수원시는 포용적 측면의 도로관리가 필요하다. 본 연구에서는 수원시의 44개 행정동을 대상으로 교통수단별 통행발생량을 이용하여 GIS 커널밀도 분석을 수행한 결과 팔달구는 승용차 통행발생량이 집중되어 있고, 영통구는 버스 통행발생량이 그리고 장안구는 버스와 지하철(환승) 통행 발생량이 집중되어 있다. 그리고 권선구는 승용차와 버스 의존도가 비교적 높은 것으로 분석되었다. 이처럼 수원시의 교통수단별 불균형을 해소하기 위해서는 지역 내 사회적 교통약자의 이동권 보장과 도로의 효율성을 고려한 포용적 측면의 도로관리 정책 필수적이다. 따라서 포용적 측면에서 지역 내 형평성과 효율성을 갖춘 도로관리 전략이 필요한 실정이다. 즉, 수원시는 승용차, 버스, 버스와 지하철(환승) 통행발생 집중지역을 연결하는 순환형 BRT를 통해 지역 내 대중교통 음영지역을 해소하고, 철도역과의 환승체계를 구축하여 승용차 이용수요를 감소시키는 방향으로 포용적 도로관리가 요구된다.

둘째, 수원시는 사회·경제적 측면의 도로관리가 필요하다. 앞서 기술한바와 같이 도로이용자의 요구사항과 도로 운영 및 관리자의 요구사항은 대립관계에 있다. 본 연구에서 도출한 도로구간별 교통량대용량비( $V/C=0.64$ )는 도로 이용자와 도로 운영 및 관리자가 추구하는 목적의 균형점이 될 수 있으며, 더 나아가 도로 투자 여부를 결정짓는 기준점으로 활용될 수 있다. 다시 말해서 교통량대용량비( $V/C=0.64$ )를 기준으로 도로 사업이 필요한 구간을 선정하고 수원시가 가용할 수 있는 도로투자 예산 수준에 따라 도로신설 및 확장 등 대규모 사업 또는 신호체계개선, 교차로 도류화 등과 같은 소규모 사업으로의 사회·경제적 측면의 도로관리가 요구된다.

셋째, 수원시는 환경·첨단기술 측면의 도로관리가 필요하다. 교통부문에서 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력은 세계적으로 높은 관심을 보이고 있다. 이에 중앙정부는 탄소중립 비전 및 중점 추진과제로 전기·수소차 보급을 가속화하고 대중교통 활성화를 도로정책 방향으로 설정하고 있어 향후 도로구간에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 감소할 것으로 판단된다. 그러나 수원시가 중앙정부의 교통부문 이산화탄소 배출량 감축 정책을 반영하기 위해서는 본 연구에서 도출된 바와 같이 이산화탄소가 집중적으로 발생되고 있는 도로구간에 대한 정비 및 이산화탄소 감축 정책을 위한 도로관리 방향을 설정할 필요가 있다. 더 나아가 수원시 주요 간선도로에 AI, IoT, 빅데이터 등 혁신 기술이 융합된 디지털 도로망 구축으로 도로 정책이 확대 되어야만 한다.

## 제2절 향후 과제

본 연구는 수원시 맞춤형 도로 운영 평가를 위한 지표를 개발하고, 이 지표를 이용하여 현재 운영 중인 주요 간선도로의 평가를 통해 향후 수원시가 나아가야 할 중장기적 도로정책 방향을 제시하는 기초연구로서 의의가 있다. 그러나 본 연구가 실무에 적용되기 위해서는 연구 수행 과정에서 나타난 한계점이 보완되어야 하며, 이를 위한 향후 과제는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 설정한 도로 운영 평가 기준 항목 및 개별 기준 항목마다의 지표 그리고 도로 운영 평가 결과는 도로 이용자, 도로 운영 및 관리자, 정책입안자 등과 같이 개별 주체마다 원하는 필요성, 시급성, 범용성, 기대수준 등이 다를 수 있기 때문에 도로 운영 평가 시 별도의 협의체를 통한 의견 수렴과 정무적 판단이 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구는 다양한 검지기를 통해 수집된 자료를 기반으로 연구를 수행하였다. 그러나 첨단기기를 통해 수집된 자료라도 다양한 원인에 의해서 오차가 발생할 수 있다. 따라서 후속 연구 수행 시 수집된 검지기 자료에 대한 면밀한 검증을 통해 분석결과의 정확도를 높일 필요가 있다.

셋째, 본 연구는 도로 운영 및 관리자의 요구사항을 반영하기 위해 평가 기준 항목을 교통량대 도로용량 비를 적용하였다. 이때 도로용량은 이상적인 도로 기하구조 및 교통환경 조건 하에서 산출된 값이고, 교통량 자료는 분석 대상구간에서 조사된 교통량이다. 그러나 차로수, 길어깨 폭, 종단경사, 설계속도, 교차로 존재 유무 등과 같은 다양한 도로조건이 도로용량에 영향을 미친다<sup>18)</sup>. 다시 말해서 교통량대용량비는 고속도로 기본구간, 진출입이 제한된 간선도로 등과 같이 연속류 도로구간의 효과평가를 위한 지표로 사용되고 있으나 본 연구의 범위는 도심부 간선도로로서 신호에 의한 영향을 배제할 수 없다. 따라서 향후 연구에서는 교차로에서 신호제어에 의한 지체도와 대기행렬 등을 고려한 미시적 효과분석이 수반되어야 한다.

이외에도 교통사고 유발요인에 대한 도로 운영 평가가 추가로 수행되어야 하며, 선행연구에서 적용된 방법론과 본 연구의 방법론 비교·분석을 통해 본 연구의 우수성을 입증할 수 있는 후속연구가 별도로 수행되어야 할 것이다.

18) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 -해설 및 지침-」, 국토해양부, 2012, p.96.

## | 참고문헌 |

## 〈국문 자료〉

- 고준호. (2018). 교통부문 탄소배출 감소추세 '뚜렷' 교통수요관리 정책 지속 추진 필요. 서울연구원 브리프(2017-BR-11)
- 국토해양부. (2012). 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 -해설-」.
- 국토교통부. (2016). 「2016년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2017). 「2017년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2018). 「2018년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2019). 「2019년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2020). 「2020년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2021). 「2020년 수도권 여객기중점통행량(OD) 조사 및 현행화 공동사업」
- 국토교통부. (2021). 「2020 국가교통통계」
- 국토교통부. (2021). 「국토교통 탄소중립 로드맵」.
- 국토교통부. (2021). 선제적 규제정비로 자율주행차 상용화 앞당긴다. 보도자료.
- 김기용, 김원철, 장명순. (2013). 도로교통안전도 비교평가지수 산정연구. 대한교통학회지. 제31권 5호. pp.26-36.
- 김상근. (2010). 도시부 교통류의 운영평가지표에 대한 정량적 특성분석. 아주대학교 석사학위논문.
- 김상구. (2019). 도로교통사고 안전지표의 국제간 비교분석 평가. 디지털융복합연구. 제17권 9호. pp.429-438.
- 김상구. (2021). 교통사고 위험도 지표 결정을 위한 노출변수 분석과 국제간 동등비교. 대한교통학회지. 제39권 6호. pp.780-792.
- 김숙희. (2019). 「수원시 스마트교통 추진전략 연구」. 수원시정연구원.
- 김장욱, 이수범. (2008). 고속도로의 서비스질 평가지표 개발에 관한 연구. 「대한교통학회 학술대회지」. 제58회. pp.86-95.
- 김주영, 이상민, 조종석. (2008). 다중 평가지표에 기반한 도로용량 증대 소요예산 추정. 대한교통학회 제26권 5호. pp.175-184.
- 김태호, 고준호, 원재무. (2008). 변형된 IPA 분석기법을 활용한 도시부 도로 서비스 질 평가. 「한국도로학회논문집」 제10권 1호. pp.91-100.
- 김형태, 류덕현, 김의준, 이재훈. (2010). 「교통 SOC 투자 적정성 및 효율화 방안. 2010-2014년 국가재정운용계획: 분야별 종합보고서Ⅲ」. 기획재정부.
- 노화준. (2015). 「정책평가론」. (5판). 서울: 법문사.
- 문형표, 박현, 고영선, 허석균. (2004). 「우리나라 SOC 스톡진단 연구」. 한국개발연구원.

- 박수빈, 최새로나, 이설영, 오철. (2020). 도로교통 특성을 반영한 지자체 교통안전 유형 분류. 대한교통학회지. 제38권 5호. pp. 361-374.
- 박준석, 오주택. (2022). 도로교통 혼잡도 분석을 통한 수도권 광역도로교통 개선방안 연구. 대한교통학회. 제40권 1호. pp.69-80.
- 손원표, 강전용, 송민태, 박경석. (2015). 그린네트워크 도로설계기법 적용을 위한 평가지표 연구. 「교통기술과 정책」. 제12권 1호. pp.73-82.
- 수원시(2021). 「수원시도로건설·관리계획(2021-2025)」
- 안흥기, 정일호, 김민철, 윤성민, 최지선. (2007). 「건설교통분야 SOC 스톡에 관한 기초연구」. 국토교통부.
- 오혜림, 한동희, 이영인, 강태석. (2017). DSRC 자료를 이용한 교통혼잡지표 평가 및 제안. 「대한교통학회 학술대회지」. 제77회. pp.405-410.
- 유재광, 전용현, 노정현. (2017). 사회경제지표를 고려한 국내 지역 간 도로스톡 수준 비교 연구. 「국토연구」. 제93권. pp.3-16.
- 유정복, 천승훈, 이종운, 김진우. (2016). 「국가도로망의 효율성 평가지표 개발 및 운영전략」. 한국교통연구원.
- 전교석, 이현미, 장정아. (2021). 도시부 잠재적 교통사고의 상대적 위험도 평가를 위한 지표 개발. 「대한교통학회 학술대회지」. 제84회. pp.117-118.
- 최민철. (2020). AHP 분석의 문제점과 수정가중치모형의 개발. 대한경영정보학회. 「경영과 정보연구」. 제39권 2호. pp.145-162.
- 최용석. (2011). 지속가능성을 고려한 도시부 도로의 서비스수준 통합 평가 연구. 인천대학교 석사학위논문.
- 한국환경정책평가연구원. (2011). 「기후변화 적응정책 우선순위의 평가 방법론 분석」.

#### <영문 자료>

- S. H. C. Toit, A. G. W. Steyn, R. H. Stumpf. (2012). Graphical exploratory data analysis. Springer. ISBN 978-1-4612-9371-2.
- Chen, K.X. (1999). The Epistemology of Grey Medical Analysis. Ph.D. Thesis, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China.
- Deng, J. (1990) Application of Grey System Theory in China. In Proceedings of the First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis, College Park, MD, USA, 3-5 December.
- Deng, J.L. (1989). Introduction to Grey System Theory. J. Grey Syst. 1-24.
- Liu, S.F. (2010). Lin, Y. Grey Systems—Theory and Applications; Springer: Berlin, Germany.

- Federal Highway Administration (2011), Safe Roads for a Safer Future investment in roadway safety saves lives, U.S. Department of Transportation, <https://safety.fhwa.dot.gov>
- Forrest, J., Liu, S.F. (2011). A Brief Introduction to Grey Systems Theory, Grey Systems: Theory and Applications. In Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, Nanjing, China, 15-18, Volume 2.
- Liu, S.F., Dang, Y.G., Li, B.J. (1998). Computational analysis on the periodic contribution of technological advances in Henan Province. J. Henan Agric. Univ., 32, 203-207.
- Liu, X.Q.; Wang, Z.M. (1996). Grey Econometric Models and Applications; Yellow River Press: Jinan, China.
- NCHRP (1997). "Quantifying Congestion", Report 398.
- Podręcznik Internetowy ze Statystyki StatSoft. (2019). Available online: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.htm> (accessed on 10 November 2019).
- Sullivan, James L. Aultman-Hall, Lisa Watts, Richard. (2010). The challenges of measuring transportation efficiency, 51st Annual Transportation Research Forum, Arlington, Virginia, March 11-13.
- Tan, X.R. (1997). Grey Medical Incidence Theory and Applications. Ph.D. Thesis, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China.
- Texas Transportation Institute (2009). Urban Mobility Report.
- Wang, Z.X., Pei, L.L. (2014). System thinking Based grey model for sustainability evaluation of urban tourism. Kybernetes 43, 462-479.
- Yang, Y. Wang, S.W. Hao, N.L. Shen, X.B. Qi, X.H. (2009). Online noise source identification based on power spectrum estimation and grey relational analysis. Appl. Acoust., 493-497.

### 〈인터넷 자료〉

국가통계포털(KOSIS) <https://kosis.kr>

경기교통정보센터자료 <https://gits.gg.go.kr>



# Abstract



## Development of Road Operation Evaluation Indicators and Effective Road Management Directions in Suwon City

The objective of this study was to develop a balanced road policy for major arterial roads in Suwon, South Korea, that reflects the requirements of road users, road operators and managers, and public officials. The methodology for developing the road operation evaluation index is described below.

First, a criteria index for road operation evaluation that met the requirements was determined. The evaluation criteria indices for the requirements of road users, road management, and public officials were the degree of congestion, traffic volume-to-capacity ratio (V/C), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, respectively.

Second, road operation evaluation indicators were selected through regression analysis. For these indicators, statistically significant ( $p$ -value  $\leq 0.05$ ) variables were selected through a causal relationship analysis between the evaluation criteria index (dependent variables) and collected data (independent variables). The results indicate that 15 indicators affect the requirements, including number of lanes, median, overpass, and motorway.

Third, an integrated road operation evaluation model was developed that reflects these requirements. The value calculated through the model is 33.3 points per evaluation criterion index. Then, the total score is calculated by summing three evaluation criteria indices in the integrated model. The higher the total score, the higher the reflection of the requirements.

In this study, road operations for 43 major arterial roads in Suwon were evaluated. The evaluation was performed by dividing the arterial, town, and roadway segments.

A comprehensive evaluation was conducted to analyze the scatterplots of the

degree of congestion, V/C, and CO<sub>2</sub>. Consequently, it was determined that when the V/C was 0.64, the requirements were at a balance point.

In the arterial road evaluation, it was found that a degree of congestion occurred in more than 60% of the total corridor length of Gwanggyosan-ro, Cheoncheon-ro, and Segwon-ro. The V/C was low in more than 40% of the total arterial road length in Songwon-ro and Ilwol-ro. It was found that 91% of Maesonggosaek-ro 794beon-gil was an arterial road with high CO<sub>2</sub> compared to the total length.

The town evaluation revealed that in comparison with other towns, Jangan-gu had the longest congestion road length compared to the total road length. Yeongtong-gu had the lowest road investment efficiency compared to the other towns. Additionally, the amount of CO<sub>2</sub> was the largest in Gwonseon-gu.

In the evaluation of 4,322 roadway segments, it was found that Cheoncheon-ro had the highest percentage of congestion roadway segments, and Maesong-gosaek-ro had the lowest V/C. Maesonggosaek-ro 794beon-gil and Seobu-ro were selected as the arterial roads with the highest CO<sub>2</sub> emissions.

The results of this study suggest a road management direction for Suwon based on the operational evaluation of major arterial roads.

First, an inclusive road management strategy is needed that achieves equity and efficiency by applying circular bus rapid transit in the region.

Second, an economic road management direction is necessary that suits the financial level of Suwon. It should be established by determining the priority of road projects based on the V/C (V/C = 0.64).

Third, it is necessary to check the road sections where CO<sub>2</sub> is concentrated and then expand the road policy by establishing a digital road network in preparation for future advanced traffic technologies.

Keyword : Degree of Congestion, traffic volume-to-capacity ratio (V/C), carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ), bus rapid transit (BRT), Road Management
---



| 저자 약력 |

김도훈

교통공학박사

수원시정연구원 도시공간연구실 연구위원(현)

E-mail : dhkim@suwon.re.kr

주요 논문 및 보고서

「동탄인덕원선 영통입구역 추가설치 검토」 (2022, 수원시정연구원)

김성희

조경학박사수료

수원시정연구원 도시공간연구실 연구원(현)

E-mail : sh2022@suwon.re.kr

