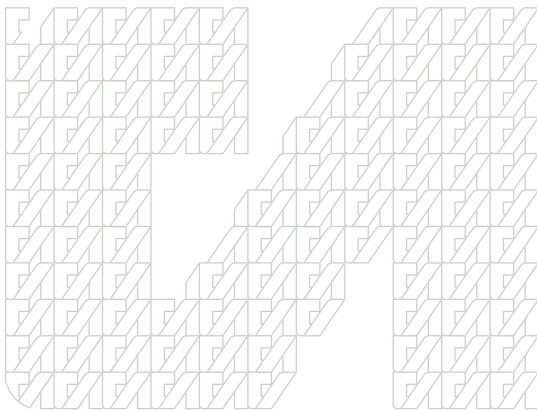


교통관리를 위한 통행시간 신뢰성 분석

유 승 규



기본연구 2022-18

교통관리를 위한 통행시간 신뢰성 분석

유 승 규

연구책임

- 유승규 / 세종연구실 연구위원

연구자문

- 김민기 / 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 박성원 / 인천대학교 연구교수
- 류인곤 / 아주대학교 연구교수
- 박성호 / 아주대학교 연구교수

기본연구 2022-18

교통관리를 위한 통행시간 신뢰성 분석

발행인 박 노 동

발행일 2022년 11월

발행처 대전세종연구원

34051 대전광역시 유성구 전민로 37(문지동)

전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3508

홈페이지: <http://www.dsi.re.kr>

인 쇄 (주)경성문화사 TEL 044-868-3537 (FAX: 044-868-3565)

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 세종특별자치시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책제언

■ 연구 배경

- 교통정체는 지속적으로 증가하고 있으며 교통량의 증가뿐만 아니라 다양한 요인에 의해서 증가되고 있음
 - 교통 혼잡도에 영향을 미치는 요인들은 매일 다르게 나타나기 때문에, 교통혼잡 수준은 매일 다르게 나타남
 - 비록 반복적인 통행시에도 통근자들은 회사 출근이나 퇴근 후 약속에 늦을 수 있고, 출장 여행자들은 회의에 늦을 수 있으며, 화물 운전자들은 상품을 제시간에 배달하지 못할 수 있음
- 통행시간 신뢰성은 시간 경과에 따른 이동 시간이 변화하는 양으로 정의됨
 - 하루중의 통행시간의 변동은 매우 다양하기 때문에 다양한 교통체증의 원인 (물리적 병목 현상, 교통사고, 공사구간, 날씨, 교통신호, 교통이벤트등)은 신뢰할 수 없는 통행시간을 산출함
 - 평균속도 또는 일반적인 속도차이 관점에서 혼잡을 정의할 수 없다는 것이 분명해지고 있음

■ 연구 목적

- 본 연구는 세종시의 통행속도와 통행량 빈도를 검토후, 각 구간 및 지점별 통행시간 신뢰성을 산출하는데 목적이 있음
- 또한 이를 활용하여 향후 교통정체 개선 방향 수립에 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있음
 - 노변기지국 (Roadside Equipment, RSE) 및 차량검지시스템 (Vehicle Detection System, VDS) 데이터를 활용하여 각 구간 및 지점별 통행속도 데이터 분석 및 시각화를 구축함
 - 통행속도 및 통행시간 기반을 둔 통행 정체 구간 분석

- 다양한 교통체증의 원인중 하나인 강수량 데이터와 통행시간 데이터와의 비교 분석
- 다중의 신뢰성 지표를 산출하여, 향후 교통정체 개선 방향 수립에 다각도의 정보 제공

■ 연구 범위

- 본 연구의 범위는 세종시 중에서 상대적으로 교통혼잡이 심한 행정중심복합도시를 공간적인 범위로 구성함
- 행정중심 복합도시중 RSE와 VDS 데이터가 수집가능한 136개 구간 및 400개 지점을 대상으로 분석함
- 시간적 데이터는 계절별, 분기별의 편향된 값의 산출을 막기 위해서 1년(2021.7-2022.6) 데이터를 사용함

■ 연구 방법

- 연구목적에 따라 이하의 보고서는 다음과 같이 수행하였음
 - 통행시간 신뢰성 분석에 대한 선행 연구를 고찰하며 세부적인 통행시간 신뢰성 지표값 산출 방법에 대해서 검토함
 - 세종시 빅데이터 분석 시스템을 통한 수집되는 데이터를 검토함
 - 수집된 데이터를 바탕으로 빅데이터 분석을 수행하였으며, 통행시간 분석, 강우량과 통행시간과의 관계, 통행시간 신뢰성 분석을 수행함
 - 분석된 결과값의 향후 활용방안에 대해서 기술함

■ 연구 결과의 활용 및 기대 효과

- 데이터기반 통행시간 신뢰성 분석 연구를 통해, 향후 세종시 교통혼잡 관리, 도로 교통계획 및 대중교통계획 수립에 참고자료로 활용 가능
- 교통 계획 및 교통 운영 전략 수립의 대안 평가 및 우선순위 결정에 활용이 가능하며, 교통 정보 제공의 고도화로 인하여 이용자에게 통행시간 신뢰성 기반 정보 제공이 가능함

■ 연구결과

□ 통행시간 신뢰성 정의

- FHWA는 도로의 혼잡상황은 본질적으로 일관되고 반복적이지만 매우 가변적이고 예측 불가능하다고 기술함
- OECD 는 다음과 같은 고려사항에 부합하는 통행시간 신뢰성에 대한 일반적인 정의를 제공함

“The ability of the transport system to provide the expected level of service quality, upon which users have organized their activities”

- 통행 경로상의 통행시간은 고정된 패턴을 보여주지만, 예측할 수 없는 상황이 발생시 예측된 통행시간과 실제 운행된 통행시간은 큰 편차가 발생함
- 어떤 구간에서 편차가 자주 발생하고 심각할수록 예측 불가능하며 이 구간의 통행시간은 상대적으로 신뢰성이 떨어짐

□ 추천 신뢰성 지표

- 기존 연구자들에 의해서 추천되는 신뢰성 지표값은 백분율 변동, Buffer Index, 계획 시간 지수, Misery Index를 통행시간 신뢰성 지수로 추천하고 있으며, 기본적인 통계값인 표준편차와 변동계수는 비추천하고 있음

□ 통행시간 신뢰성 지표 활용 연구

- 교통 네트워크의 신뢰성을 향상 시키기 위한 많은 기법과 수단이 존재할 수 있으며 크게는 4개로 구분해서 신뢰성 관리 방안을 살펴볼 수 있음
 - 용량의 물리적 확장
 - 용량의 향상된 관리
 - 신뢰성을 위한 가격정책
 - 정보제공 체계

□ 세종시 교통 빅데이터

- 현재 세종시는 교통정보 시스템을 통하여 교통정보, 버스정보, 주차정보, 빅데이터 분석 정보를 제공하고 있음
- 세종시는 교통정보 시스템의 빅데이터 분석 시스템은 데이터 기반 시스템으로서 대중교통 데이터와 승용차 통행 속도 및 교통량 데이터를 수집하여 교통 소통과 관련된 정보를 제공함
- 승용차 데이터는 통행속도와 교통량 그리고 통행속도 기반 도로 소통 정보를 제공함
- 통행 속도 데이터는 일자별, 요일별, 시간별 데이터를 제공하며, 노변 기지국 시스템 (Roadside Equipment, RSE)에서 수집되는 샘플 차량을 기반으로 구가별, 도로별 15분 및 1시간 데이터를 제공함

□ 분석 데이터

- 세종시 도시 통합 정보 센터로부터, RSE 데이터와 VDS 데이터를 수집하였으며, 수집기간은 본 연구에 사용되는 1년치 (2021년 6월 ~ 2022년 7월) 데이터를 수집하였으며 15분 간격으로 구성된 데이터를 사용함
- 15분 데이터의 구성은 도로 ID, 도로명, 구간명, 방향, 날짜, 상세도로, 시간, 분, 요일, 교통량, 속도, 통행시간으로 구성되어 있으며, 데이터 필드에 제시하는 교통량은 RSE 데이터 경우, 근거리 전용 통신기 (Dedicated Short Range Communication, DSRC) 가 부착된 샘플 데이터를 의미함
- 출근시간의 첨두시간은 8시부터 9시까지 설정하였으며 퇴근시간의 경우 18시부터 19시로 설정하였음
 - 새벽 교통량에 의한 통행시간을 자유 교통류상의 통행시간으로 설정하였으며, 오후 23시부터 다음날 6시까지의 통행시간을 평균을 자유 교통류상의 통행시간으로 사용함

□ 통행속도 분석

- 세종시 모든 지점의 통행시간 합을 분석했을 때 각 첨두시간의 통행시간은 비첨두의 통행시간보다 약 20% 더 통행시간이 더 소요되는 것으로 분석됨
- 통행속도 분석 결과, 정부청사가 위치하는 중심지 지역의 통행속도가 낮음을 보임
- 통행속도가 낮은 이유에는 신호교차로의 영향, 방지턱과 같은 교통시설물의 영향, 교통량의 영향으로 볼 수 있음
 - 중심지의 경우 위에서 언급한 3가지의 요소가 다 포함됨
- 행복도로는 대전시와 연결되는 연속류 도로로서, 출·퇴근시 교통 혼잡이 발생하며, 이로 인한 속도 저하라고 유추 할 수 있음
- 통행속도 지도를 통하여 낮은 통행속도의 원인을 유추 할 수 있으나, 각 도로마다 제한 속도가 다르고, 시간대별 교통량 집중도가 다르기 때문에 지점별 통행속도를 상대적으로 비교하기에는 한계가 있음

□ 통행시간 분포 분석

- 평균 통행시간 분석 결과, 평균 통행시간은 분포는 4개로 분류할 수 있음
 - 첫 번째는 오전 첨두시간과 오후 첨두시간이 뚜렷하게 나타나는 구간
 - 두 번째는 오후 첨두시간에만 정체가 나타나는 구간
 - 세 번째는 오전 첨두시간에는 정체가 나타나는 구간
 - 마지막으로 아무런 패턴이 없는 형태로, 이는 구간길이가 짧은 경우 또는 샘플데이터의 부족, 데이터 검지 장치의 오류라고 판단됨.

□ 통행시간에 따른 교통량 분포

- 통행시간 신뢰성 분석을 위해서는 통행시간별 교통량 분포가 중요하며, 이를 통하여, Buffer Index (BI), 계획 시간 지수 (Planning time index, PI), Misery Index (MI)등의 신뢰성 지표 산출이 가능

- 현재 정규분포 형태, 긴꼬리 분포 형태등 각 지점별로 다양한 분포 형태가 나타나고 있으며, 긴꼬리 분포 현상이 강할수록 통행시간 신뢰성 값은 높은 값 (신뢰성이 떨어짐) 을 산출함

□ 통행시간과 강수량 데이터와 상관성

- 교통혼잡은 교통량의 증가, 교통사고와 같은 돌발상황뿐만 아니라 기상 변화, 특히 강수 발생으로 인해서도 영향을 받음
- 강우 등급을 3단계 구간으로 구분하여 분석 하였지만, 강우시와 비강우시에 대한 뚜렷한 통행시간 차이를 보이지 않고 있음
- 비록 전체적으로 강우에 대해서 영향을 받지 않지만, 구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계) 지역은 오전 첨두시간에 강우에 의한 영향으로 통행시간의 차이는 140초까지 발생하며, 오후 첨두시간에는 16초 그리고 비첨두 시간에는 22초의 정체가 발생함

□ 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI) 분석

- 통행시간 지수 (TTI)는 첨두시간의 평균 통행시간을 자유교통류 상의 통행시간으로 나눈 값으로서 첨두시 이동에 소요되는 평균 추가시간을 의미함
- 정부청사가 위치한 세종시 중심부 (도움 3로, 한누리대로)의 첨두시간 평균통행시간이 자유교통류상의 통행시간보다 상대적으로 높은값을 나타내고 있으며 대전시와 연결되는 행복대로의 첨두시간 통행시간도 높은 값을 나타냄
 - 또한 나성동 주변, 한누리대로 북측, 조치원과 연결되는 1번 국도 북측도 높은 값을 나타냄
 - 반면에 금강 남쪽인 대평동, 소담동, 반곡동, 집현동 직역은 첨두시간의 통행시간이 비첨두시간의 통행시간보다 높지 않은 것으로 분석됨

□ Buffer Index (BI) 지수 분석

- 통행자가 계획된 시간에 도착할 수 있는 추가적인 시간 (Buffer Time) 과 평균 통행시간과의 차이에 대한 비율을 의미함
 - 가장 BI 지표값이 높은 곳은 오송역을 연결하는 한누리대로 북측과 청주지역을 통행하는 언청로, 그리고 고속도로와 연결되는 정안세종로, 대전지역을 연결하는 행복대로로 분석됨

□ Planning Time Index (PI) 지수 분석

- 계획 시간 지수는 Buffer 시간과 자유교통류 상태의 통행시간의 비율로 계산됨
 - BI와 PI의 차이점은 BI는 평균 통행시간 추가해야 하는 추가 지연 시간을 나타내고 PI는 총 이동 시간(평균 통행 시간 + 버퍼 시간)을 나타냄
- PI 지표값의 분포는 BI 지표값의 분포와 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 이는 수식에서 95% 통행시간을 공유하며, 평균 통행시간과 자유교통류상의 통행시간이 비슷한 패턴을 보이기 때문이라고 분석됨
- PI 지표의 경우, BI 지수와 비교했을 때 세종시 중심로 향하는 동서축 (절재로)의 값이 높게 나타남

□ Misery Index (MI) 지수 분석

- MI는 평균 통행시간에 대한 초과 통행시간의 비율을 의미하며, 정체 통행시간에 대한 평균이 전체 평균 통행시간보다 얼마나 더 걸리는지를 측정하는 지수임
- MI 지표값의 분포는 다른 신뢰성 지표값과 비슷한 분포를 보임
 - TTI 지표에서는 집현동지역의 혼잡이 미미했으나 교통 신뢰성 지표에서는 집현동지역의 혼잡이 높은 것으로 분석됨
 - 다른 신뢰성 지표와 다르게 세종시청이 위치한 보람동 지역의 MI 신뢰성 지표가 높은 것으로 분석됨

□ 종합적인 검토

- 세 개 (BI, PI, MI) 의 신뢰성 지표를 분석한 결과 대부분의 구간이 일치함
 - 신뢰성 지표 계산시 평균 통행시간, 정체시의 통행시간, 자유교통류상의 통행시간을 사용하기에 비록 값의 차이는 존재하나 신뢰성이 낮은 구간은 비슷한 구간으로 선정됨
 - 신뢰성 지수만을 고려했을 때 세종 내부의 통행시간 신뢰성보다는 세종과 외곽지역(세종-청주, 세종-오송, 세종-정안IC, 세종-대전)을 연결하는 중요지점의 신뢰성이 낮은 것으로 분석됨
 - 이는 첨두시간의 교통량이 비첨두시간의 교통량보다 집중적으로 통행하기 때문에 나타나는 현상으로 분석됨
 - 세종시 내부의 경우, 정부청사가 위치한 도움3로와 한누리대로의 통행시간 신뢰성이 낮은 것으로 분석됨

□ 통행시간 신뢰성 지표 활용 사례 시사점

- 국내에서의 통행시간 신뢰성 지표 활용에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 연구를 통해 통행시간 신뢰성 지표를 활용하기 위한 사례연구가 다양하게 수행되었음
 - 통행시간 신뢰성 지표 활용에 대한 학술적인 연구는 활발하게 진행되어 왔지만 이를 이용한 서비스 혹은 지속적인 활용 사례는 미비한 것으로 조사됨
- 해외에서는 미국 등 다양한 나라에서 이미 통행시간 신뢰성 지표를 활용하고 있으며, 주기적으로 관련 보고서가 발행되고 있음
 - 통행시간 신뢰성 지표의 활용 분야는 도시간 교통혼잡 비교, 지역 내 도로 별 교통혼잡 산정 등에 활용하고 있음
- 기존 문헌에 의하면 현재 구축되어 운영되고 있는 교통정보센터에서 수집하는 데이터만을 이용하여 통행시간 신뢰성 지표를 도출할 수 있음을 알 수 있음

- 또한 기존 연구들에서는 공통적으로 통행시간 신뢰성 지표를 통해 다양한 교통정책에 활용할 수 있음을 언급하고 있음
- 선행연구 등을 참조한 신뢰성 지표 활용 방안은 다음의 4가지 정도로 요약할 수 있음
 - 지방정부의 교통정책 및 법정계획의 현황 분석
 - 교통계획 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
 - 교통운영 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
 - 교통정보 제공 지표 고도화

■ 정책적 제언

□ 신뢰성 지표를 산출할 수 있는 시스템을 구축

- 현재 많은 지자체 및 국가 도로관리 기관에서 통행속도와 통행시간에 대한 데이터를 수집하고 있으며 지속적인 모니터링을 통하여 교통운영 및 관리 전략을 수립하고 있음
 - 기존의 데이터를 이용하여 통행시간 신뢰성을 분석할 수 있는 시스템 구축이 가능하며, 많은 비용이 필요하지 않음
 - 데이터의 신뢰성 확보가 중요하며, 데이터의 오류 및 보정할 수 있는 시스템도 동반 구축되어야 됨
- 지역간 통행 소통이 관리 비교시 제한속도 및 통행 강도의의 다름으로 인하여 직접적인 비교가 불가능
 - 통행시간 신뢰성의 경우, 제한속도 및 통행 강도 설명이 가능하며, 지역간 교통소통 비교에 용이함
 - 통행시간 신뢰성 지표는 교통소통과 관련된 지역간 직접적인 비교가 가능하며, 각 지역의 교통관리 및 운영전략의 장점을 벤치마킹 할 수 있음

□ 교통 운영 및 전략 방향 설정

- 교통 혼잡을 줄이기 위해서 많은 지역 및 지점에서 도로 건설, 교통용량 확장등과 같은 교통시설물에 투자가 이루어 지고 있으며, 교통신호 체계 개편과 같은 교통운영 전략을 수립하고 있음
 - 각 지점별로 교통 혼잡의 원인이 다르며, 효율적인 교통혼잡 해결 방안도 다름
 - 예를 들어 도로건설 및 도로 용량 확장의 경우, 대부분의 교통 혼잡을 완화 시킬수 있으나, 토지 확보의 어려움과 비용 소모가 큼
 - 신호체계 개편의 경우, 교통량이 용량보다 적을 경우 효과적일 수 있으나, 교통량의 집중이 주어진 용량을 초과 할 경우 한계가 존재함
- 통행시간 신뢰성을 바탕으로 시간대별, 경로별 교통 혼잡 강도를 분석하여, 상황에 맞는 교통신호 운영전략이 필요하며, 교통량이 과다 집중되는 지점의 경우, 도로 용량 확장 검토가 필요함
- 대중교통 운영시, 시간대별 각 정류장간 혼잡강도를 파악하며, 정시성 향상을 위한 운행시간의 조정에 통행시간 신뢰성 지표가 이용 가능함
 - 버스의 과속 운행 방지를 통한 승객의 안정성 향상 및 향후 혼잡 발생 구간을 우회할 수 있는 버스 노선 발굴이 가능함

□ 교통 운영 평가

- 통행시간 신뢰성 지표는 예측 할 수 없는 교통 환경 변화를 고려한 통행시간 변동성 평가에 용이함
- 지속적인 통행시간 신뢰성 모니터링을 바탕으로 교통 운영의 문제점을 파악하고 이에 따른 개선방안 도출이 필요함

□ 통행시간 신뢰성을 고려한 교통투자의 우선순위 기준 마련

- 효과적인 교통투자를 위해서 통행시간 신뢰성을 활용한 교통투자 우선순위 기준 마련이 필요함
 - 통행시간 기준, 통행속도 기준시, 일시적인 교통 혼잡 완화를 기대할 수 있으나, 장기적인 관점에서 통행시간 가치 증대에는 한계가 존재함

- 효율적인 예산 집행, 혼잡완화, 교통사고와 같은 교통 이벤트 방지를 위해서 통행시간 신뢰성을 반영한 교통투자 우선순위 매뉴얼 개발이 필요함

□ 교통정보 제공

- 통행자는 정시에 도착하기 위해서 평균 통행시간에 추가되는 통행시간에 관심이 높음
 - 기존의 교통정보에서는 통행시간만을 제공하는데 통행시간 신뢰성 지표를 동시에 제공해주면 이용자가 출발시간 및 통행경로 선택시 판단할 수 있는 추가 지표로 활용 가능함
 - 실제로, 미국 워싱턴 주에서는 95% 통행시간을 보장하는 통행시간 신뢰성 기반 경로를 제공함
 - 화재, 병원등 긴급 운송이 필요한 경우, 통행시간 뿐만 아니라 통행시간 신뢰성도 고려한 경로 선택이 가능함

차 례

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 목적	3
1. 연구의 배경	3
2. 연구의 목적	4
제2절 연구의 범위 및 방법	5
1. 연구의 범위	5
2. 연구의 방법	6
3. 연구결과의 활용 및 기대효과	6
제2장 통행시간 신뢰성 분석 선행 연구	7
제1절 통행시간 신뢰성 분석 연구	9
1. 통행시간 신뢰성 정의	9
2. 통행시간 신뢰성 관련 선행 연구	11
제2절 통행시간 신뢰성 지표 산출	16
1. 통행시간 신뢰성 지표	16
제3절 통행시간 신뢰성 지표 활용 연구	22
1. 통행시간 신뢰성 지표 활용 학술 연구	22
2. 통행시간 신뢰성 지표 적용 연구	26
제3장 세종시 교통 빅데이터	35
제1절 세종시 교통정보 시스템	37
1. 세종시 교통정보 시스템 소개	37
2. 세종시 빅데이터 분석 시스템	39
제2절 통행속도 데이터 및 분석 범위 설정	43
1. 통행속도 데이터 및 교통량 데이터	43

2. 시간적 범위 설정	44
3. 공간적 범위 설정	46
제4장 세종시 통행속도 및 통행시간 신뢰성 분석	49
제1절 데이터 전처리 및 분석 방법	51
1. 데이터 전처리	51
2. 분석 방법 (데이터 시각화)	56
제2절 통행속도 및 통행시간 분석	61
1. 평균 통행속도 및 평균 통행시간 계산	61
2. 통행속도 및 통행시간 분석	62
3. 통행시간에 따른 교통량 분석	71
4. 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI) 분석 결과	77
제3절 통행시간과 강수량 데이터 분석	82
1. 통행시간과 강수량 데이터와 상관성	82
2. 통행시간과 강우량 데이터와 상관성 분석 결과	85
제4절 통행시간 신뢰성 분석	88
1. 통행시간 신뢰성 계산	88
2. Buffer Index (BI) 지수 분석 결과	91
3. Planning Time Index (PI) 지수 분석 결과	93
4. Misery Index (MI) 지수 분석 결과	95
제5장 통행시간 신뢰성 지표 활용	99
제1절 통행시간 신뢰성 지표 활용방안	101
1. 통행시간 신뢰성 지표 활용 사례 시사점	101
2. 지방정부의 교통정책 및 법정계획의 현황 분석	102
3. 교통계획 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정	103
4. 교통운영 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정	104
5. 교통정보 제공 지표 고도화	105
6. 교통운영 방안 개선 효과 분석	106

제6장 결론	107
제1절 종합	109
제2절 정책제언	114
참고문헌	117

표 차례

[표 2-1] 통행시간 신뢰성 요약	21
[표 3-1] 대전세종충청권 각 수단별 시간대별 교통량	45
[표 4-1] 노드(NODE) 데이터	52
[표 4-2] 링크(LINK) 데이터	53
[표 4-3] 누적강수량 데이터	54
[표 4-4] 평균 속도 20km/h 미만 구간	65
[표 4-5] 세종시 구간별 TTI 지수	80
[표 4-6] 기존연구에서 제안된 강우 수준 구분	84
[표 4-7] 강수량 등급에 따른 침투시간별 통행시간 차이	87
[표 4-8] 세종시 구간별 BI 지수	92
[표 4-9] 세종시 구간별 PI 지수	94
[표 4-10] 세종시 구간별 MI 지수	96
[표 4-11] 세종시 신뢰성 지표값 (종합)	97

그림 차례

[그림 2-1] 통행시간과 통행시간 신뢰성 관계	16
[그림 2-2] 통행시간 신뢰성 계산	17
[그림 2-3] 네트워크 및 이용자 관점의 신뢰성 구분	24
[그림 2-4] 부천시 주요 네트워크 TTI 지표 산출 결과	27
[그림 2-5] 대전시와 부천시의 TTI 비교 분석 결과	28
[그림 2-6] 서울시 TTI 분석 결과	30
[그림 2-7] 서울시 도로위계별 TTI	31
[그림 2-8] Urban Mobility report의 도시별 TTI	32
[그림 2-9] Maryland State Highway Mobility Report의 고속도로 TTI	33
[그림 3-1] 세종시 교통정보 시스템	37
[그림 3-2] 세종시 주차정보 시스템	38
[그림 3-3] 세종시 빅데이터 분석 시스템 대시보드	39
[그림 3-4] 세종시 버스 통행속도 분석	40
[그림 3-5] 세종시 승하차 인원 분석	40
[그림 3-6] 세종시 통행속도 데이터 분석	41
[그림 3-7] 세종시 교통량 데이터 분석	41
[그림 3-8] 세종시 도로소통 정보	42
[그림 3-9] 세종시 통행속도 및 교통량 데이터	43
[그림 3-10] 세종시 속도 데이터 수집 지점	46
[그림 3-11] 공간적 분석 범위	47
[그림 4-1] 파일 병합 함수 소스 코드	51
[그림 4-2] 누적강수량 데이터 보간 소스 코드	55
[그림 4-3] 누적강수량 데이터 15분 단위 집계 소스 코드	55

[그림 4-4] 통행속도 및 통행시간 분포 대시보드	56
[그림 4-5] 통행시간 그룹(개월) 간 차이(Gap) 분석 워크시트	57
[그림 4-6] 통행시간별 침두 및 비침두 시간대 교통량 분석 대시보드	58
[그림 4-7] 강우 등급에 따른 통행시간 비교 분석 대시보드	59
[그림 4-8] GIS 기반 통행시간 신뢰성 지표 분석 대시보드	60
[그림 4-9] 평균 통행속도 및 통행시간 대시보드	62
[그림 4-10] 갈매로(양지중사거리-푸르지오시티앞사거리) 통행시간 분포 ..	63
[그림 4-11] 지점별 평균 통행속도	64
[그림 4-12] 통행시간 4개 분포 특성 지점	66
[그림 4-13] 통행시간 분포 특성	67
[그림 4-14] 세종시 주 대로 통행시간 분포	68
[그림 4-15] 세종시 가름로 통행시간 분포	69
[그림 4-16] 세종시 집현동 통행시간 분포	70
[그림 4-17] 세종시 개발 예정 지구 및 세종오송로 통행시간 분포	71
[그림 4-18] 양지중 사거리-푸르지오시티앞 사거리 교통량 분포	72
[그림 4-19] 세종 엠코 타운-가재마을 12단지앞 사거리 교통량 분포	73
[그림 4-20] 도움 8로 교차로 - 햇무리교 교통량 분포	74
[그림 4-21] 고속버스터미널앞 사거리-금남교 앞 교통량 분포	75
[그림 4-22] 모개고가 차도-연기 삼거리 교통량 분포	76
[그림 4-23] 송원 교차로 - 학나래교 동측 교통량 분포	77
[그림 4-24] 세종시 TTI 지수	78
[그림 4-25] 세종시 통행속도 지도(좌), TTI 지수 지도 (우)	81
[그림 4-26] 세종시 모든 지점에 대한 시간대별 평균 통행시간의 합	85
[그림 4-27] 세종시 강우에 의한 통행시간 영향 지점	86
[그림 4-28] 송원교차로-학나래 동측 지점의 통행시간 분포	90
[그림 4-29] 세종시 BI 지표 분포	91
[그림 4-30] 세종시 PI 지표 분포	93
[그림 4-31] 세종시 MI 지표 분포	95
[그림 4-32] 세종시 신뢰성 지표값이 높은 지점	98

서론

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위 및 방법

1장

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

- 교통정체는 지난 20년 동안 증가했으며 단순 교통량의 증가뿐만 아니라 다양한 요인에 의해서 증가되고 있음
 - 교통 혼잡도에 영향을 미치는 요인들은 매일 다르게 나타나기 때문에, 동일한 도로, 동일한 시간 일지라도 교통혼잡 수준은 매일 다르게 나타남
 - 혼잡한 도로에서 통행자들은 예정시간에 도착하기 위해서 혼잡에 대한 통행계획을 수립해야 됨
 - 통행계획을 수립하여도, 통근자들은 회사나 퇴근 후 약속에 늦을 수 있고, 출장 여행자들은 회의에 늦을 수 있으며, 화물 운전자들은 상품을 제시간에 배달하지 못할 수 있음
- 통행시간 신뢰성은 시간 경과에 따른 이동 시간이 변화하는 양으로 정의됨
 - 하루중의 통행시간의 변동은 매우 다양하기 때문에 다양한 교통체증의 원인 (물리적 병목 현상, 교통사고, 공사구간, 날씨, 교통신호, 교통이벤트등)은 신뢰할 수 없는 통행시간을 산출함
 - 도로 성능은 본질적으로 일관되고 반복적이지만 매우 가변적이고 예측 불가능
 - 통행자는 통행시간의 가변성에 따라 출발시간에 민감하게 반응함
 - 평균속도 또는 일반적인 속도차이 관점에서 혼잡을 정의할 수 없다는 것이 분명해지고 있음

2. 연구의 목적

- 본 연구는 세종시의 통행시간 신뢰성을 검토하고 향후 교통정체 개선 방향 수립에 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있음
 - 목적을 달성하기 위해 도로변에 설치된 노변기지국 (Roadside Equipment, RSE) 및 차량검지시스템 (Vehicle Detection System, VDS) 데이터를 활용함
 - 각 구간 및 지점별 통행속도 데이터 분석 및 시각화를 구축하여, 향후 교통정체 구간 파악 및 개선 방향에 대한 자료를 제공함
 - 단순 평균속도 지표가 아닌 신뢰성 지표에 기반을 둔 통행 정체 구간 분석
 - 다양한 교통체증의 원인중 하나인 강수량 데이터와 통행시간 데이터와의 비교 분석
 - 하나의 신뢰성 지표가 아닌 다종의 신뢰성 지표를 산출하여, 향후 교통정체 개선 방향 수립에 다각도의 정보 제공

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

- 본 연구의 범위는 세종시 중에서 상대적으로 교통혼잡이 심한 행정중심복합도시를 공간적인 범위로 구성함
- 행정중심 복합도시중 RSE와 VDS 데이터가 수집가능한 136개 구간 및 400개 지점을 대상으로 분석함
 - 분석된 구간은 136개 구간이지만, 구간 데이터는 지점데이터의 평균을 의미하며, 만약 1개 구간이 1개 지점만을 포함했을 경우 포함된 1개 지점이 구간의 대표값을 나타낸다고 가정함
- 시간적 데이터는 계절별, 분기별의 편향된 값의 산출을 막기 위해서 1년 (2021.7-2022.6) 데이터를 사용함
 - 침두시간은 출퇴근 시간을 대상으로 하였으며, 오전 침두시간은 8시부터 9시, 오후 침두시간은 18시부터 19시의 데이터를 사용하여 분석함
- 15분 데이터를 사용하여 분석
 - 현재 VDS 데이터는 15분 단위로 교통량과 평균 통행속도가 수집되는 관계로 15분 데이터를 사용하여 분석함
 - RSE를 통한 통행속도 데이터는 비록 5분 단위로 수집되고 있으나, VDS 데이터와의 시간적 일치를 위해서 15분 평균 데이터를 사용함
- 현재 RSE 데이터는 근거리 전용 통신 기기 (Dedicated Short Range Communication, DSRC)가 부착된 차량의 데이터를 통하여 산출됨
 - RSE를 통하여 수집되는 교통량은 DSRC가 부착된 차량의 교통량을 의미하며, 본 연구에서는 교통량의 총량보다는 통행속도와 통행시간에 따른 교통량 빈도분석이 중요하기에 RSE를 통하여 수집된 교통량을 샘플데이터로 가정하고 분석함

2. 연구의 방법

- 본 연구는 RSE와 VDS에서 수집되는 데이터를 통하여 세종시 통행시간 신뢰성 지표값을 산출하며 지표값을 통하여 현재 세종시의 교통혼잡구간을 진단하고 향후 교통정체 개선에 활용하고자 하였음
- 연구목적에 따라 이하의 보고서는 다음과 같이 수행하였음
 - 제2장에서는 통행시간 신뢰성 분석에 대한 선행 연구를 고찰하였으며 세부적인 통행시간 신뢰성 지표값 산출 방법에 대해서 살펴보았음
 - 제3장에서는 세종시 빅데이터 분석 시스템을 통한 수집되는 데이터를 검토하였음
 - 제4장에서는 수집된 데이터를 바탕으로 빅데이터 분석을 수행하였으며, 통행시간 분석, 강우량과 통행시간과의 관계, 통행시간 신뢰성 분석을 수행하였음
 - 제5장에서는 분석된 결과값의 향후 활용방안에 대해서 기술하였음
 - 제6장에서는 앞서 논의된 내용을 요약 및 정리하고 정책제언을 언급하고자 함
- 빅데이터 분석 연구자와 세종시 교통 데이터 담당 공무원의 의견을 고려하여 연구를 수행함

3. 연구결과의 활용 및 기대효과

- 데이터기반 통행시간 신뢰성 분석 연구를 통해, 향후 세종시 교통혼잡관리, 도로 교통계획 및 대중교통계획 수립에 참고자료로 활용 가능
- 교통 계획 및 교통 운영 전략 수립의 대안 평가 및 우선순위 결정에 활용이 가능하며, 교통 정보 제공의 고도화로 인하여 이용자에게 통행시간 신뢰성 기반 정보 제공이 가능함

통행시간 신뢰성 분석 선행 연구

제1절 통행시간 신뢰성 분석 연구

제2절 통행시간 신뢰성 지표 산출

제3절 통행시간 신뢰성 지표 활용 연구

2장

제2장 통행시간 신뢰성 분석 선행 연구

제1절 통행시간 신뢰성 분석 연구

1. 통행시간 신뢰성 정의

□ 통행시간 신뢰성이란?

- FHWA (Cambridge Systematics, 2005)는 도로의 혼잡상황은 본질적으로 일관되고 반복적이지만 매우 가변적이고 예측 불가능하다고 기술함
 - 교통 첨두시간은 정기적으로 발생하며 교통 엔지니어와 통행자 모두 첨두시간에 혼잡이 발생한다는 것은 예측 할 수 있음
 - 예를 들어 출·퇴근시간에 상대적으로 높은 교통 수요가 발생하며, 높은 교통수요의 영향으로 통행시간이 비첨두 시간보다 오래 걸림
 - 그러나, 도로의 상황은 매우 가변적이고 예측의 어려움이 존재함
 - 교통 수요의 증가, 운전자의 행동, 교통사고 및 기타 재해, 기상 및 도로공사등 예측할 수 없는 상황이 도로의 상황을 변화시켜 통행 속도의 저하를 유도함
 - 따라서, 통행 경로상의 통행시간은 고정된 패턴을 보여주지만, 예측할 수 없는 상황이 발생시 예측된 통행시간과 실제 운행된 통행시간은 큰 편차가 발생함
 - 어떤 구간에서 편차가 자주 발생하고 심각할수록 예측 불가능하며 이 구간의 통행시간은 상대적으로 신뢰성이 떨어짐
- OECD (Jeekel, 2010)는 다음과 같은 고려사항에 부합하는 통행시간 신뢰성에 대한 일반적인 정의를 제공함

“The ability of the transport system to provide the expected level of service quality, upon which users have organized their activities”

- 이 정의의 핵심은 사용자의 기대 통행시간이 실제 운행된 통행시간에 부합한다는 것임
- 예를 들어, 다수의 통행자들은 오전/오후 첨두시간의 통행시간을 예측할 때 비첨두시간보다 통행시간이 오래 걸리거라 예측하고 출발시간을 설정함
- 만약 예측된 통행시간과 실제 운행된 통행시간의 편차가 적다면 이 구간의 통행시간 신뢰성은 높다고 정의 할 수 있음

□ 통행시간 신뢰성의 중요성

- Martchouk의 (2009)는 과거에 통행시간은 교통 소통과 관련된 가장 중요한 척도였으나, 최근 통행시간만이 아닌 다른 척도가 필요하다고 기술함
- Bremmer의 (2004)는 통행시간 예측과 신뢰성이 대중에게 가장 중요하며 종종 통행시간 자체보다 훨씬 더 큰 관심사라고 언급함
 - 통행시간의 변동성은 통근자와 운송업자가 출근의 지각과 배달의 비용을 증가시키는 불확실성으로 나타나기 때문임
- OECD(2010)는 물류 및 개인의 통행패턴 변화로 인하여 통행시간 신뢰성이 점점 중요해지고 있다고 설명함
 - 경제발전과 생활 방식의 변화로 인하여 물류 공급망이 점점 복잡해지고 개인 통행자의 통행 활동 역시 점점 복잡해지고 있기 때문에 신뢰할 수 있는 도로 네트워크와 서비스가 필요함
 - 지난 수십 년 동안 통신과 다른 기술의 급속한 발전으로 통행자는 지속적으로 신뢰할수 있는 실시간 교통정보를 원함에 따라 통행시간의 신뢰성의 중요성은 점점 증가하고 있음
- FHWA(2005)는 사람들이 목적지에 제시간에 도착할 확률을 높이기 위해 여행 시간에 여유 시간을 추가할 수 있다고 언급함
 - 비록 정시도착이 아닌 계획된 시간보다 일찍 도착하지만, 늦게 도착하는 위험을 방지할 수 있음

2. 통행시간 신뢰성 관련 선행 연구

□ 해외 사례 연구

- Yang (2006) 은 일반도로에서의 통행시간 신뢰성에 대한 연구는 상당히 제한적이라고 설명.
 - 일반도로를 주행하는 차량은 일반 지체뿐만 아니라 교차로에서 발생하는 제어지체로 인하여 통행시간 예측은 고속도로보다 일반도로에서 더 어렵다고 정의
- Polus (1979)는 통행 경로상에서 통행시간과 통행시간의 신뢰성 분석을 수행함
 - 각 경로상에서의 경로 통행시간을 수집하여 분석한 결과, 경로 통행시간의 분포는 감마 분포를 따르는 것으로 분석되었으며 이를 바탕으로 통행시간 신뢰성 지표 도출이 가능하다고 기술함
- Fu와 (2001)은 신호교차의 대기행렬을 고려한 통행시간 신뢰도 산출 모델을 연구함
 - 신뢰성 지표를 바탕으로 대기행렬 시간 및 길이 추정도 가능하다고 분석함
 - 그러나 데이터를 얻기 위해서 실제 데이터가 아닌 시뮬레이션을 통한 데이터를 사용함
- Clark와 Watling(2005)은 확률적 수요를 바탕으로 통행시간 신뢰성 연구를 진행함
 - 각 구간 또는 지점의 신뢰성이 아닌 네트워크 측면의 신뢰성 값 도출에 대해서 연구를 진행하였으며, 확률 분포 추정에 초점을 맞추고 있음
 - 확률적 수요 기반 통행배정 모델을 사용하여 각 구간의 통행시간을 산출하였고, 산출된 통행시간 데이터를 바탕으로 적합한 통행분포 모델을 도출함
 - 도출된 분포를 바탕으로 신뢰성 지표를 방법에 대해서 논의하였으며, 용량증가에 따른 신뢰성 변화 민감도를 수행함

- 그러나 도출된 모델을 시뮬레이션을 통한 데이터를 바탕으로 하고 있으며 실제 도시 네트워크가 아닌 가상을 네트워크를 대상으로 함
- van Lint (2004)는 차량의 차선변경과 차량간의 가·감속에 초점을 맞추었으며 이는 통행시간의 변동을 초래 할 수 있다고 분석함
 - 통행시간 신뢰성에 영향을 줄 수 있는 요소로 구간 길이를 제시하였으며, 교차로간 긴 구간 길이는 차선변경 및 차량의 가·감속으로 인하여 통행시간의 변동성이 증가한다고 서술함
- van Lint (2008)는 평균과 분산은 특정 상황에서 분포의 중요한 측면을 모호하게 하는 경향이 있기 때문에 많은 의미있는 결과값을 제공하지 못한다고 기술함
 - 분포의 왜도 (Skewness)와 분포의 너비가 중요하게 고려되어야 된다고 주장하였으며, 분포의 10번째 백분위수, 50번째 백분위수 그리고 90번째 백분위수의 통행시간 값을 사용하여 신뢰성 지표를 제시함
 - 제시된 지표를 바탕으로 통행시간 신뢰성 지표 지도를 만들었으며, 특정기간 및 특정 시간에 대해서 신뢰성이 높은 구간과 신뢰성이 나쁜 구간에 대해서 표출함
 - 또한 통행시간 신뢰성 기반 교통 수단 선택 모형도 제시함
- Nam외 (2005)은 통행시간 신뢰성 가치 추정에 대해서 연구함
 - 통행시간의 가치와 통행시간 신뢰성의 가치를 추정하기 위해서 다항 로짓과 네스티드 로짓 모델을 사용함
 - 분석 결과, 통행시간 신뢰성은 교통수단선택시 중요하게 적용되며, 같은 수준의 통행시간 개선보다는 통행시간 신뢰성을 높이는 정책이 더 중요하다고 서술함
- 플로리다 대학의 교통 연구 센터(2000)는 플로리다의 고속도로와 간선도로의 통행시간에 영향을 줄 수 있는 4가지 요인 (정체, 작업구역, 날씨, 사고)을 이용하여 통행시간 신뢰도를 추정하는 모델을 개발함
 - 통행시간의 세 부분(통행시간, 대기행렬의 대기시간, 대기행렬 안에서의 이동시간)을 추정함.

- Sumalee와 Watling (2008)은 재해 후 이동 시간 신뢰성의 관점에서 효율적인 파티션 기반 방법을 제안함
 - 개발된 알고리즘은 네트워크 상태를 신뢰할 수 있는 파티션, 신뢰할 수 없는 파티션 및 결정되지 않은 파티션으로 분류함
 - 단조 증가성을 갖는 신뢰도 함수 개발하였으며 재해로 인한 도로의 통행이 불가 했을때의 통행배정 모델을 확률적으로 제시하였음
- Shap외 (2006)는 수요 변동을 고려한 도로망에서 통행시간 신뢰성의 기반의 다계층 통행배정을 연구함
 - 기상의 영향을 고려한 확률적 통행배정 모델을 개발하였고, 이 모델을 통하여 불확실성이 있는 도로망에 대하여 강수에 대한 경로 선택 모형을 수치적으로 보여줌
- Lyman과 Bertini (2008) 지역 교통 계획 및 운영 개선을 위한 통행 시간 시간 신뢰성 측정을 연구함
 - 데이터를 사용하여 실시간 교통 관리 및 통행자의 편의를 개선하기 위해 통행시간 신뢰성 지표의 사용이 중요하다고 강조함
 - 오리건 주 포틀랜드의 데이터를 사용한 사례 연구를 통해 통행시간, 95 번째 백분위수 통행시간 시간, 통행시간 지수, 통행시간 버퍼 지수, 통행계획 시간 지수 및 혼잡 빈도를 포함한 다양한 신뢰성 지표를 산출함
 - 또한 신뢰성 지표값에 대한 시각화 시스템 개발이 필요하고, 통행시간 신뢰성 척도에 따른 도로구간 평가가 필요하며 신뢰성 지표값을 바탕으로 도로용량이 확장되어야 한다고 결론 지음
- Pu (2011)는 통행시간과 통행시간 신뢰도 값의 상관 분석 관계를 연구함
 - 연구에서 90번째 또는 95번째 백분위 수 이동 시간, 표준 편차, 변동 계수, 완충 지수, 계획 시간 지수, 통행시간 지수, 정시도착 지수등 다양한 지수 분석을 수행함
 - 이 연구는 다양한 신뢰성 측정치를 검토하고 수학적 관계와 상호 의존성을 검토함

- 다른 연구와 달리 표준편차에 대한 신뢰성 지표값이 다른 신뢰성 지표보다 더 좋은 값을 나타낸다고 설명함
 - 특히 통행시간 분포가 심하게 치우쳐 있는 경우(중앙값 기반 버퍼 인덱스)에 평균 기반 버퍼 인덱스값이 적절한 값이 아니라고 설명함
- Cambridge Systematics (2013)는 신뢰성 완화 전략 연구에서 교통 사고, 날씨, 교통 작업 구역, 특수 사건, 교통 통제 장치등과 같은 비반복적 혼잡의 영향을 분석함
- 통행시간 신뢰성을 정의하고, 통행시간 신뢰도 측정을 위한 통행시간 분포의 중요성을 설명했으며, 구체적인 신뢰도 측정 방법을 통하여 비반복적 정체 원인을 분석 함
 - 고속도로 뿐만 아니라 도시부 도로에 대해서도 연구를 진행하였으며 다양한 측면에서 교통혼잡을 감소시킬 수 있는 방법에 대해서 제시함
 - 연구에서 제시한 방법은 지속적인 모니터링이 필요하며, 데이터 기반 한 연구가 필요하다고 제시하였음
 - 연구의 중요한 결론은 통행시간 신뢰성을 향상 시키기 위해서는 교통 수요를 줄이고, 도로 용량을 늘리며, 교통 운영이 개선되어야 된다고 설명함
- 노스웨스턴 대학교 (Yu외, 2010)는 신뢰할 수 있는 경로 안내 제공 연구를 수행함
- 실제 교통 데이터를 사용하여 신뢰성이 높은 구간에 대한 경로 안내 알고리즘 개발에 초점을 맞춰서 연구를 진행함

□ 국내 사례 연구

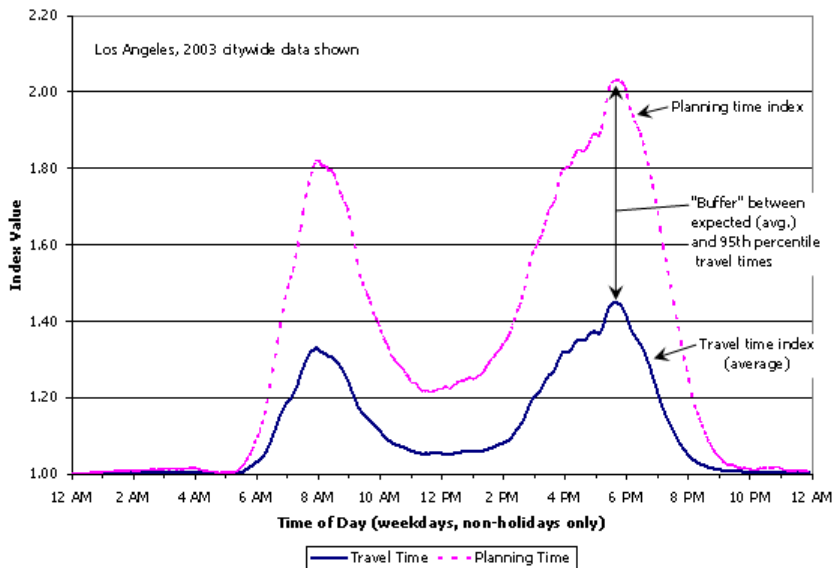
- 통행시간 신뢰성 향상 편익 산정 연구 (2020)에서는 통행시간 신뢰성의 가치에 대해서 연구함
- 도로 부분과 철도부분을 구분하여 연구를 진행하였으며, 신뢰성 가치를 구현하기 위한 모델을 개발함

- 단순 모형 개발 뿐만아니라 실제 신뢰성 값을 고려한 도로부분 편익과 철도 부분 편익 분석을 수행함
- 도로 투자 평가에서의 통행시간 신뢰성 편익 도입방안 연구 (2021)에서는 경제성 분석시 신뢰성 평가지표의 도입방안에 대해서 연구함
 - 통행시간 신뢰성의 개념에 대해서 정의 하였으며, 신뢰성 지표를 산정할 수 있는 활용데이터를 검토함
 - 마지막으로 신뢰성 편익 도입을 위한 필요조건을 검토함
- 장수은 외(2008)는 통행시간 신뢰성 지표로 통행시간과 계획된 통행시간의 가치 추정에 초점을 맞춰서 분석하였으며, 도시부 연속류, 단속류, 지역간 도로로 세분화 하여 연구를 수행함
- 허은진(2021)은 통행목적별 통행시간의 가치를 이용하여 통행 목적별 통행신뢰성 가치를 추정함
- 빅찬운(2019)는 데이터 기반 통행시간 신뢰성 모형 산정에 대한 연구를 진행하였으며, 표준편차와 차로수를 값을 활용하여 신뢰성 모델을 개발한후 신뢰성 가치에 대해서 연구를 진행함

제2절 통행시간 신뢰성 지표 산출

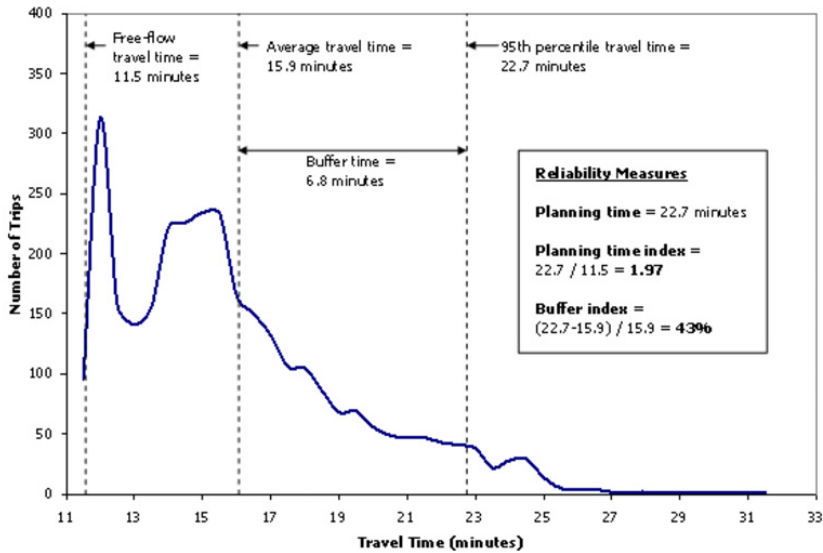
1. 통행시간 신뢰성 지표

- 연방 도로국은 교통 시스템을 더 잘 관리하고 운영하기 위해 기관들이 이동 시간 신뢰성 지표 산출을 권장하고 있으며 다음과 같은 신뢰성 계산 방법을 소개함
- [그림 2-1]은 통행시간과 통행시간 신뢰성 지표의 관계를 보여주며 [그림 2-2]는 통행시간 분포에서의 통행시간 신뢰성 지표값 계산 예시를 보여줌



[그림 2-1] 통행시간과 통행시간 신뢰성 관계

자료: 통행시간 신뢰성: 정시 도착 목표
(https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/ttr_report.htm)



[그림 2-2] 통행시간 신뢰성 계산

자료: 통행시간 신뢰성: 정시 도착 목표

(https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/ttr_report.htm)

- Pu(2011)는 만약 통행자가 같은 구간을 반복적으로 통행한다면, 평균 통행시간에 기초한 Buffer Index를 선호할 것이며, 비반복적인 통행자의 경우 자유 교통류상의 통행시간을 기초로 제안된 계획시간을 선호할 거라 정의함

□ 90번째 또는 95번째 백분위수 (Buffer) 통행시간

- 이 지표는 같은 구간을 통행시, 90번째 또는 95번째 백분위 수의 통행시간을 의미
 - 비교적 간단한 지표로서 만약 100일동안 같은 구간을 같은 시간에 통행할시 100번의 통행중 통행시간이 오래 걸린 순서대로 통행시간이 90번째 또는 95번째의 통행시간을 의미함
 - 즉, 확률상 5일(5%)는 이 지표보다 통행시간이 초과 될 수 있음을 의미
 - 그러나 각 구간마다 통행시간이 다르기 때문에, 다른 구간과의 상대적 비교의 어려움이 존재

□ 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI)

- 자유 교통류 상황에서의 통행시간과, 첨두시간 상황에서의 평균 통행시간과의 비율로서, 첨두시 통행시간이 자유 교통류시 통행시간 보다 몇% 초과되는지는 의미함
 - 평균 통행시간/자유 교통류상의 통행시간 값으로 계산됨.

□ Buffer Index (BI)

- 통행자가 정시에 도착할 수 있도록 통행시간을 산출 할 때, 평균 통행시간보다 추가되는 버퍼 시간을 의미함
 - 버퍼 인덱스는 백분율로 표현되며 신뢰성이 안 좋을수록 값이 증가함
 - $(95\text{번째 백분위수 통행시간} - \text{평균 통행시간}) / \text{평균 통행시간의 값}$ 으로 계산됨

□ 계획 시간 지수 (Planning Time Index, PI)

- 버퍼 시간이 포함될 때 계획해야 되는 통행시간 신뢰성 지수를 의미함
 - 계획 시간 지수는 일반적인 정체뿐만 아니라 예상치 못한 정체를 포함한다는 점에서 버퍼 인덱스와 다름
 - 95번째 백분위수 통행시간/자유 교통류상의 통행시간 값으로 계산됨

□ 정체 빈도

- 정체가 예상 임계값을 초과할 때의 빈도를 의미함
 - 일반적으로 계획된 통행시간을 몇 분을 초과하거나 통행 속도가 몇 km미만으로 떨어지는 일 또는 시간을 백분율로 표시함
 - 혼잡도 측정 빈도는 지속적인 교통 데이터를 사용할 수 있는 경우 상대적으로 계산하기 쉬우며, 일반적으로 교통량이 가장 많은 시간대인 평일에 보고됨
 - 현재 세종시에서 혼잡 구간을 정의 할 때 사용되는 지표임

□ 표준 편차

- 통계 및 확률 이론에 사용되는 변동성 또는 다양성에 사용되는 측정값
 - 표준 편차값은 평균값에서 변동 또는 분산이 측정치를 의미하며, 신뢰성 지표값으로도 사용됨
 - 비록 고전적이며 대중에게 널리 알려져 있는 지표지만, 계획된 도착시간의 초과시간과 도착시간보다 빨리 도착하는 시간의 가치를 동일한 가치로 설정하는 단점이 존재

□ 변동 계수 (Coefficient of Variation, CV)

- 평균에 대한 표준 편차의 비율로서 표준 편차와 같은 단점이 존재

□ 백분율 변동

- 1998년 캘리포니아 교통 계획에서 백분율 변동이라고 부르는 값을 생성하기 위한 비율로 통계적으로 변동 계수의 백분율을 보여줌
 - 백분율 변동(%)=(표준 편차/평균 통행시간)*100.
 - 수학적으로 변동 계수와 같은 특성을 보이며, 백분율 변동은 평균 이동 시간의 백분율로 표현되기 때문에 대중이 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있음 (Pu, 2010).

□ 정시 도착 비율

- 정시도착 비율은 허용 가능한 지연 임계값을 기준으로 통행자가 정시에 도착하는 빈도를 추정하여 계산되며 정시도착을 결정하기 위한 임계 통행시간은 평균통행 시간의 110% ~ 113% 으로 설정됨

□ The Urban Mobility Study Report

- 이 연구보고서는 통행시간 신뢰성에 대해 평균 통행시간 시간보다 10% 높은 임계값까지를 신뢰성이 있는 통행시간으로 정의함
 - 10%의 임계값 설정은 일부 지역의 경우 신뢰성 지표 산정시 상대적으로 보수적인 단점이 존재 (대부분 구간의 신뢰성이 떨어짐)

□ Misery Index (MI)

- Misery index는 통행시간 분포에서 정체 통행시간의 평균과 평균 통행시간의 비율을 분석함
 - 평균 정체 통행시간과 일반적인 평균 통행시간의 차이를 의미하며 $MI = (\text{정체 통행시간의 } 20\% \text{ 평균} - \text{평균 통행시간}) / \text{평균 통행시간}$ 으로 계산됨

□ Skew Index

- Skew는 왜도값을 의미하며 분포의 비대칭성을 나타내는 척도임
 - 통행시간 분포에서 (90번째 백분위수 통행시간 - 50번째 백분위수 통행시간) / (0번째 백분위수 통행시간 값 - 10번째 백분위수 통행시간) 값으로 산출됨
 - 만약 계산된 왜도값이 0과 1 사이에 있으면 분포가 왼쪽으로 치우친 것이며 1보다 크면 분포가 오른쪽으로 치우친 것을 의미
 - 계산된 값은 비율을 의미하므로 통행시간의 절대 크기에 관계 없이 해석이 가능하며 큰 값 일수록 신뢰할수 없는 구간으로 판별됨

□ 신뢰성 지표 적용

- [표 2-1]은 기존 연구자들에 의해서 추천되는 신뢰성 지표값을 요약함
 - 대부분의 연구에서 백분율 변동, Buffer Index, 계획 시간 지수, Misery Index를 통행시간 신뢰성 지수로 추천하고 있으며, 기본적인 통계값인 표준편차와 변동계수는 비추천하고 있음

[표 2-1] 통행시간 신뢰성 요약

통행시간 신뢰성 지표	Lomax외 (2003)	FHWA Guide (2006)	NCHRP Report 618 (2008)	SHRP 2 (2008)	California Transportation Plan (1998)
95번째 백분위수		○			
표준 편차		X	X		
변동 계수		X	X		
백분율 변동	○		○		○
Skew Index				○	
Buffer Index	○	○	○	○	
계획 시간 지수		○	○	○	
정체 빈도		○			
정시 도착 비율			○	○	
Misery Index	○		○	○	

* ○ : 추천; X: 비추천

자료: Pu, W. (2011), Analytic relationships between travel time reliability measures. Transportation Research Record, Vol.2254, No.1, 122~130.

제3절 통행시간 신뢰성 지표 활용 연구

1. 통행시간 신뢰성 지표 활용 학술 연구

- 통행시간 신뢰성 지표는 사용 목적 등에 따라 측정 방식이 달라지며, 이때 사용 목적은 크게 신뢰성 지표가 교통 관리자 혹은 통행자에게 제공되는지 여부에 따라서 구분될 수 있음
- 국내외 신뢰성 지표 활용에 대한 관심 영역은 다소 상이한데 국외에서는 통행시간 정보를 기반으로 운영과 관련된 활용 방안에 중점을 두었다면, 국내에서는 기반시설의 건설 등에 있어 신뢰성에 따른 편익 항목 도출에 중점을 두고 관심이 증대되어 있음
 - 통행자에 교통정보 제공 측면에서의 활용 목적은 유사하게 강조됨

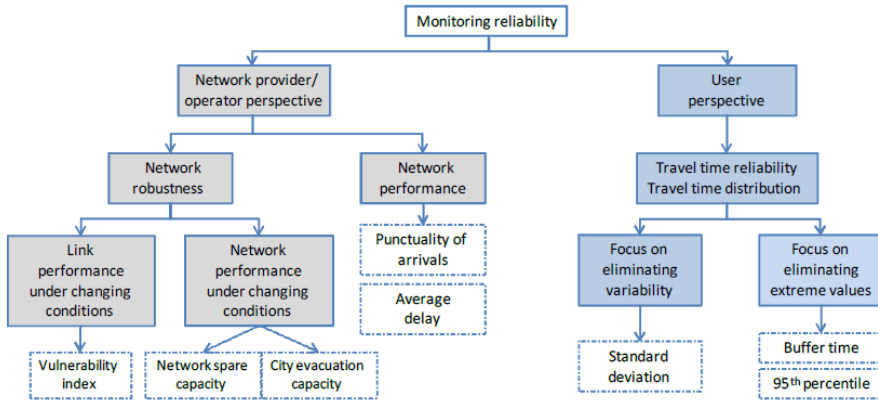
□ Eisele & Crawford(2008)의 연구

- 신뢰성 지수를 포함하여 혼잡 지표는 목표값 설정이 중요한데 이는 시민, 기업, 의사결정자, 교통전문가 등의 의견수렴을 통해 설정되며, 비전과 실행 전략을 연결해주는 역할을 함
- 이때 지표들은 지속적인 장기계획과 그 개발의 결과이며, 혼잡에 대한 평가를 왜곡하지 않을 수 있도록 합리적이고 현실적이어야 함
- 각각의 신뢰성 지표는 아래와 같은 분석 수준 및 유형에 맞추어서 측정되어야 함
 - 정부의 교통투자와 정책 기초자료
 - 국가/지방 교통정책 및 전략수립
 - 민간센터 의사결정을 위한 정보제공
 - 토지개발에 의한 영향 평가
 - 교통모델의 입력자료
 - 대기오염과 에너지 사용 모델의 입력자료

- 교통문제의 발견
- 교통전략 수립시 대안의 비교 지표
- 대안평가의 효과 측정자료
- 교통개선의 우선순위 결정
- 대중교통 경로/스케줄/정류장위치 평가
- 교통류제어, TDM 등 평가
- 실시간 경로선택 정보 제공

□ Jeekel(2010) 의 연구

- 운영자 관점과 이용자 관점에서의 신뢰성 지표를 모두 측정하고 보고하는 것은 매우 중요하며, 이를 측정하고 보고하는 방식 자체가 또한 정책으로서 기능하게 됨
- 운영자 관점에서는 도시 교통 네트워크의 품질과 관련된 신뢰성 지표를 중요하게 여기는데 이를 통해서 어떤 정책이 제공 및 계획되어야 하는지 검토할 수 있게 되며, 이용자 관점에서는 이용자가 네트워크에서 경험한 것, 혹은 경험의 반응에 대한 신뢰성 지표를 중요하게 여김
 - 네트워크 공급 혹은 운영자 관점에서 전체 시스템의 강건성(robustness)이나 취약성(vulnerability)이 중요하며, 이는 도시 내 조건 변화에 따른 링크(도로 구간)나 네트워크의 성능 지표에 초점을 둠
 - 이용자 관점에서 경험하게 되는 통행시간의 변동성(variability)이 중요하며, 이를 통해 통행을 계획하는데 활용하게 됨
 - 또한 이용자 관점의 신뢰성 지표는 일반적인 통행시간의 변동성과 예상치 못했던 통행시간의 변동성으로 구분해서 이용 가능함



[그림 2-3] 네트워크 및 이용자 관점의 신뢰성 구분

- 교통 네트워크의 신뢰성을 향상 시키기 위한 많은 기법과 수단이 존재할 수 있으며 크게는 4개로 구분해서 신뢰성 관리 방안을 살펴볼 수 있음
 - 용량의 물리적 확장
 - 용량의 향상된 관리
 - 신뢰성을 위한 가격정책
 - 정보제공 체계
- 신뢰성을 활용한 도시 교통 용량의 확장
 - 공급측면에서 도시 기반시설의 설계 및 건설은 신뢰성 증진 대안으로 작용하며, 공급 측면에서의 신뢰성 향상이 예측 불가능했던 서비스 지장 요인의 확률 감소시켜 줌
 - 기반시설의 확장을 통한 용량증가는 도로 구간의 용량을 개선시키거나 추가하는 것, 특정 축이나 환승지점에서의 교통서비스를 증가시키는 것, 새로운 차선이나 구간을 건설하는 것, 심지어 새로운 대중교통 노선이나 터미널을 건설하는 것을 포함하게 됨
 - 다만, 용량을 새롭게 공급하는 것은 신뢰성 제고에 비용 효과적일 수도 있으나 비용 및 시간이 소요되며 정치적으로도 어려울 수 있음

○ 신뢰성을 활용한 도시 교통 용량의 향상된 관리

- 신뢰성 제고를 위해서는 교통 네트워크의 용량을 잘 관리하는 다양한 방법이 존재하며, 이 방법론들은 교통 네트워크의 취약한 부분을 능동적으로 감시 및 관리하는 방법과 향상된 유고관리시스템 등을 포함하게 됨
- 예를 들어, 가변 속도 제한이나 가변차로제 등을 통해 용량을 일시적으로 공급하는 방안은 혼잡으로 인한 신뢰성에 대한 영향을 경감시켜 주며, 대중교통에도 향상된 감시 관리체계 등을 도입할 수 있음
- 철도 네트워크에 대해서 사고 발생 시 최적화된 시간표나 동적인 스케줄링을 적용하는 것도 방법임
- 향상된 교통관리 기법은 교통 네트워크의 이용자에게 사고 관리에 따른 영향을 줄여줄 수 있으며, 사고 관리 활동 자체의 비용적 측면도 감소시켜 줌
- 민관(PPP; Public-Private Partnership) 사업의 경우 동시에 많은 구간에서 공사를 진행하는 것을 자제하는 것을 계약 내용에 포함시킬 수 있음
- 신뢰성을 제공하기 위해서는 결국 동적인 교통 네트워크의 관리를 통해서 용량을 잘 관리하는 것이 중요한 정책이 되며, 신뢰성에 문제가 발생할 수 있는 국경, 항구, 내륙 연결 등의 지점에 집중해야 함

○ 신뢰성을 활용한 동적 요금체계 구상

- 교통 네트워크의 사용에 대해서 요금을 지불시키는 것은 교통 수요 관리의 일반론적인 방법이 되고 있으며 결과론적으로 교통류와 교통 네트워크에 신뢰성을 제고시키게 됨
- 요금 부과는 교통 네트워크의 일부 구간에 선택적으로 적용될 수도 있으며 넓은 영역에 걸쳐서 적용될 수도 있음
- 미국의 Interstate 15번 도로의 동적요금은 예측된 통행시간을 확보하기 위하여 요금이 오르거나 내리면서 조정되는데 이를 통해 신뢰성을 높여줄 수 있음

- 신뢰성을 위해 기반시설의 사용이나 서비스 공급에 따라 다양한 요금 체계를 마련하는 것은 적절한 수준의 신뢰성을 제공할 수 있으나, 다양한 이용자 유형에 맞추어 신뢰성 수준을 매칭시키고 요금화하는 것은 어려울 수 있음
- 교통정보의 활용을 통한 통행비용 경감
 - 교통정보시스템은 교통 네트워크의 유고에 따른 부정적 결과 상황을 감소시켜줄 수 있는데, 유고에 따른 혼잡 지점으로부터의 우회를 가능하게 함
 - 또한 교통정보는 불확실성의 상황에서 스트레스를 감소시켜주며 일정 에 지체가 발생할 수 있는 문제를 관리할 수 있게 해줌
 - 즉, 교통정보가 유고 상황의 발생 자체를 막지는 못하지만 사고로부터 기인하는 비용의 문제를 감소시킬 수 있음
 - 정보는 통행 전 정보와 통행 중 정보로 구분될 수 있으며 통행자가 경로를 전환하는 경우나 그렇지 않다 하더라도 파급 효과(ripple effect)를 통해서 교통 네트워크의 신뢰성을 향상시키는데 활용될 수 있음
 - 정보 제공에는 가변 표지판이나 네비게이션, 인터넷, 핸드폰을 활용한 문자 등을 통해 제공될 수 있음
 - 결국 정보는 신뢰성이 낮은 상황을 완화시키는데 활용되며, 유고상황에 따른 연속적 영향과 비용을 비용효과적으로 감소시켜주게 됨

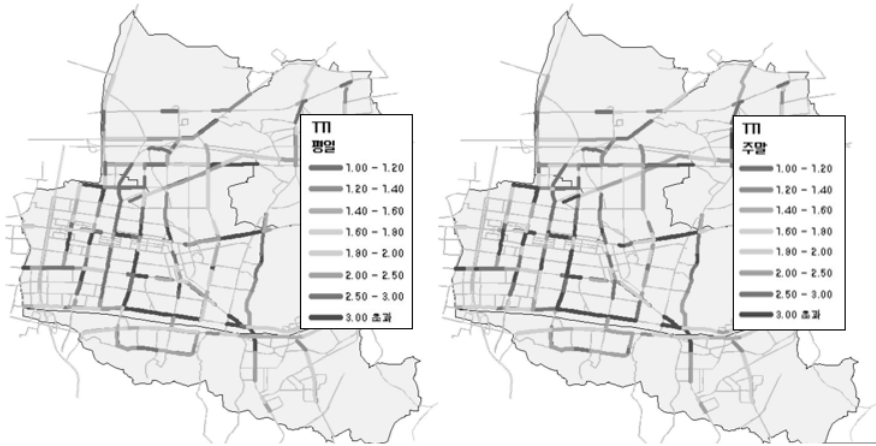
2. 통행시간 신뢰성 지표 적용 연구

□ 교통 네트워크 소통 성능지표 연구¹⁾

- 해당 연구에서는 기 구축되어 있는 자료를 활용하여 개별 교통수단별 교통지표를 정의하고 지표산출방안을 제시함
- 산출된 교통지표를 통해 분석 대상 도시(부천시)의 자동차 및 대중교통망 성능평가를 실시함

1) 2013년 국가교통조사 및 DB구축사업 최종보고서 중 일부.

- 자동차 교통망성능평가지표로 평균 AADT, 평균 차로당 AADT, 총지체시간, 총차량통행지체, 평균 혼잡율, 평균 TTI, 교통혼잡 비용 등 다양한 지표를 활용하였음

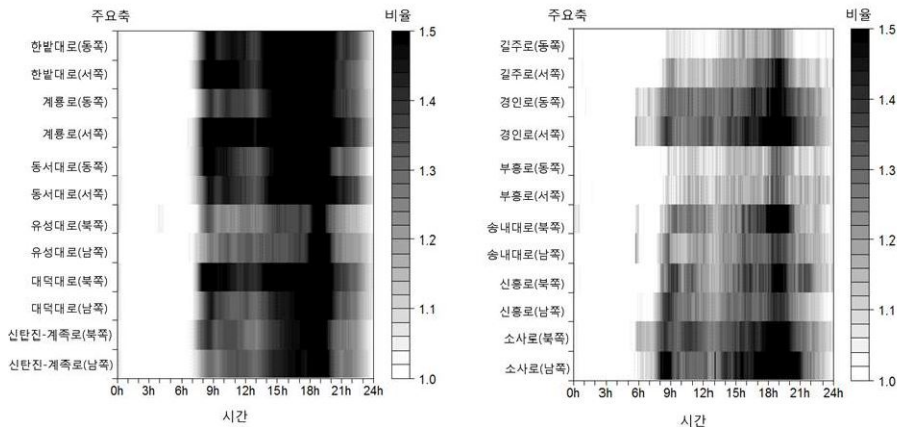


[그림 2-4] 부천시 주요 네트워크 TTI 지표 산출 결과

- 해당 연구에서는 교통량과 통행속도 데이터가 확보되었을 때 산출 가능한 교통망 성능 평가지표에 대해서 다음과 같이 언급함
 - 통행속도 데이터만으로 산출된 지표는 개별 링크 및 특정 교통시스템에서 개별 차량 및 통행자들만의 지표임
 - 따라서 통행속도 데이터만으로 산출된 지표는 시스템 전체의 서비스 제공 능력, 시스템 전체에서 소요되는 비용 등을 판단하는 지표가 될 수 없음
 - 그러나 교통량을 반영한 통행시간 지체 TTI 등의 지표는 서비스 수혜자의 수를 고려할 수 있으므로 시스템 전반적인 측면에서의 소요 비용, 에너지 소모량 등을 가늠할 수 있음
 - 그러므로 교통량을 반영한 교통망 성능 평가지표의 활용성이 더 큰 것으로 볼 수 있으며, 여러 개의 교통시설 중 개선이 시급한 우선순위를 선정할 때 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단함

□ ITS 빅데이터를 이용한 도시 모빌리티 분석 및 정책 활용방안²⁾

- 해당 연구는 ITS 빅데이터를 이용하여 도시 모빌리티 분석과 교통정책에의 활용성을 검증하고, 국내 ITS 빅데이터의 교통정책 활용을 위한 정책방안 마련을 목적으로 함
- 도시 모빌리티 평가를 위한 기본지표로 속도와 교통량을 설정하였으며, 기본지표를 바탕으로 통행시간 관련지표, 누적이용 평가지표, 누적운영 성능지표 등 교통서비스의 신뢰도를 평가하는 2차 지표를 산출함
 - 산출된 2차 지표 중 통행시간 관련지표는 TTI, PI, BI 등을 사용하였으며, 상이한 길이를 갖는 축들의 운영 성능 비교를 용도로 하였음
- 해당 연구에서는 실증을 위한 대상 지역으로 대전시와 부천시를 분석하였으며, 교통정보센터에서 ITS 정보수집 장비를 통해 실시간으로 수집되는 교통정보만을 활용함



[그림 2-5] 대전시와 부천시의 TTI 비교 분석 결과

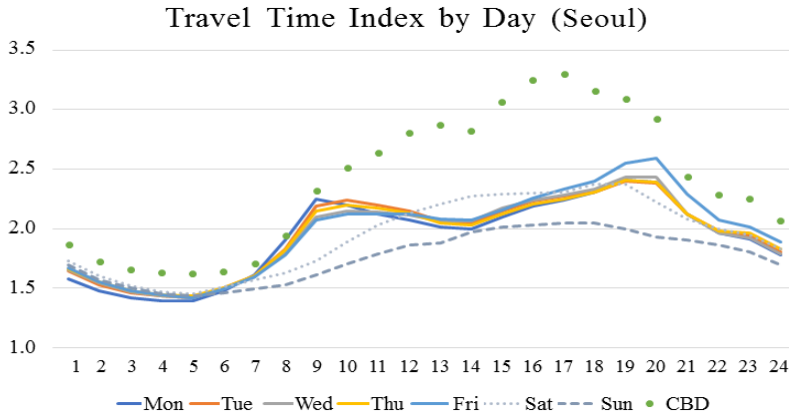
2) 이백진, 정진규, 오성호, 김광호, ITS 빅데이터를 이용한 도시 모빌리티 분석 및 정책 활용방안, 2015, 국토연구원

- 또한 단순히 TTI와 PTI에 대한 산출 뿐만 아니라 TTI 및 PI(PTI) 시계열에 기반을 둔 혼잡 지속시간 분석을 실시함
 - TTI 시계열 분석을 통해 특정값보다 높은 TTI값이 나타나는 시간을 측정하여 혼잡 지속시간의 평균값을 측정함

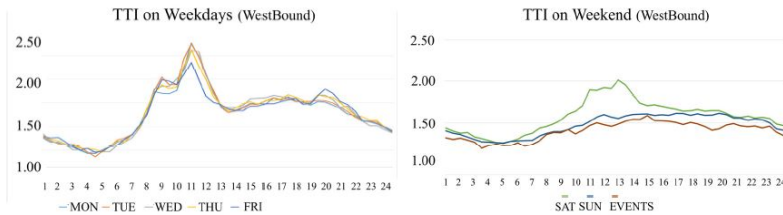
□ DTG 빅데이터 기반의 도심네트워크 혼잡분석 방안 연구³⁾

- 해당 연구는 디지털운행기록계(DTG, Digital Tachograph) 데이터를 활용하여 TTI를 산출하는 방법을 제시하였으며, TTI의 활용 사례 분석을 실시하였음
- TTI의 활용 사례 분석의 첫 번째 사례로 혼잡패턴 분석을 실시하였음
 - 서울시의 5분 단위 링크 평균통행시간 자료를 이용하여 서울시 전체의 TTI를 산출하고 이를 통해 서울시의 혼잡 특성을 분석함
 - 또한 개별 링크의 TTI를 활용하여 교차로의 접근로 단위의 혼잡패턴을 분석하였음

3) 한여희, 김영찬, DTG 빅데이터 기반의 링크 평균통행시간을 이용한 도심네트워크 혼잡분석 방안 연구, 한국ITS학회논문지 제16권 제5호, 2017



(a) 서울시 전체의 요일별 TTI 산출 결과



(b) 서울시 전농동사거리의 동측 접근로 요일별 TTI 분석 결과

[그림 2-6] 서울시 TTI 분석 결과

□ 서울시 교통혼잡 비교분석을 위한 TTI 지표 산출 및 적용성에 관한 연구⁴⁾

- 해당 연구는 서울시 교통정보센터에서 제공하는 통행속도 데이터를 활용하여 TTI를 도출하고, 사례 분석을 통해 TTI의 활용 가능성을 제시 하였음
- TTI를 활용한 사례분석으로 TTI를 이용한 지역범위별, 도로위계별로 요일별-시간대별 이동성 패턴을 분석하였음
 - 서울시 전체의 요일별-시간대별 분석 결과 월요일 오전과 금요일 오후에 혼잡한 패턴을 보임
 - 도로위계별 분석 결과 강남대로의 TTI가 매우 높아 극심한 혼잡축으로 분석됨

4) 조은희, 서울시 교통혼잡 비교분석을 위한 TTI 지표 산출 및 적용성에 관한 연구, 2017, 서울시립대학교



(a) 서울시 전체의 요일별 TTI 산출 결과

[그림 2-7] 서울시 도로위계별 TTI

- 이와 같이 TTI 분석을 통하여 공간범위에 맞는 첨두시를 확인하고 가장 혼잡한 지역 파악하여 교통정책 수립을 위한 혼잡 모니터링에 적극 활용할 수 있을 것이라고 언급함

□ Urban Mobility Report

- Texas A&M Transportation Institute에서는 1982년부터 매년 Urban Mobility report를 발행하여 미국 100여 개의 주요 도시의 교통 혼잡을 집계하고 있음
 - 도시의 인구 규모에 따라 Very Large Urban Areas (3백만 이상), Large Urban Areas(1백만~3백만), Medium Urban Areas(50만~1백만), Small Urban Areas(50만 이하)로 구분
- 도시 교통 혼잡의 MOE로는 Travel Time Index, Travel Delay, Excess Fuel Consumed, Congestion Cost, Truck Congestion Cost, Commuter Stress Index 등이 사용됨
 - 이 중 Travel Time Index와 Commuter Stress Index로 도시의 교통 혼잡을 판단하기 위하여 통행시간 신뢰성 지표가 사용되고 있음을 알 수 있음

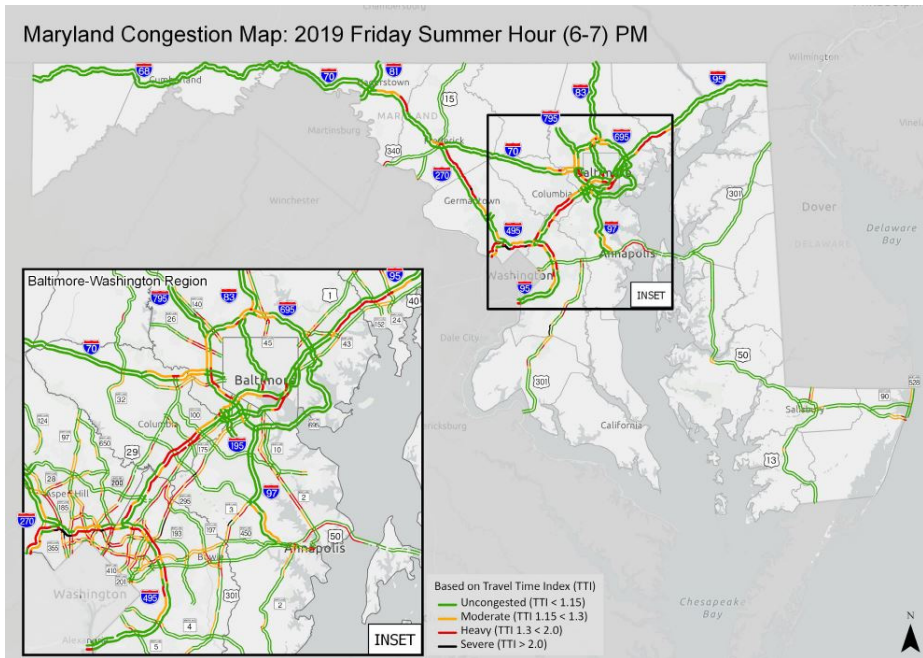
Table 1. What Congestion Means to You, Continued

Urban Area	Annual Person-Hours of Delay per 2019 Commuter				Travel Time Index			
	2020		2019		2020		2019	
	Hours	Rank	Hours	Rank	Index	Rank	Index	Rank
Large Average (32 areas)	28		55		1.09		1.24	
Austin, TX	41	7	68	12	1.13	6	1.35	8
Sacramento, CA	38	11	56	30	1.11	20	1.27	22
Oklahoma City, OK	35	14	47	51	1.12	10	1.20	38
Kansas City, MO-KS	34	16	50	41	1.10	29	1.16	59
Providence, RI-MA	33	17	47	51	1.13	6	1.16	59
St. Louis, MO-IL	33	17	46	57	1.08	44	1.14	79
Minneapolis-St. Paul, MN-WI	32	21	59	26	1.11	20	1.26	23
San Antonio, TX	32	21	52	36	1.12	10	1.23	31
Portland, OR-WA	31	24	66	12	1.10	29	1.35	6
San Jose, CA	31	24	80	6	1.12	10	1.44	3
Cleveland, OH	29	29	47	51	1.08	44	1.14	79
Milwaukee, WI	29	29	47	51	1.07	57	1.16	59
San Juan, PR	29	29	57	29	1.13	6	1.32	15
Memphis, TN-MS-AR	28	36	54	31	1.08	44	1.18	41
Nashville-Davidson, TN	28	36	66	15	1.06	75	1.23	31
Baltimore, MD	27	42	63	19	1.07	57	1.26	23
Columbus, OH	27	42	49	44	1.08	44	1.18	41
Cincinnati, OH-KY-IN	26	47	52	36	1.06	75	1.17	49
Denver-Aurora, CO	26	47	62	21	1.09	40	1.32	15
Indianapolis, IN	26	47	52	36	1.06	75	1.18	41
Salt Lake City-West Valley City, UT	26	47	46	57	1.06	75	1.17	49
Pittsburgh, PA	25	55	45	60	1.08	44	1.18	41
Riverside-San Bernardino, CA	25	55	64	17	1.08	44	1.33	13
Charlotte, NC-SC	24	63	53	33	1.06	75	1.22	34
Richmond, VA	24	63	35	91	1.07	57	1.12	91
Louisville-Jefferson County, KY-IN	22	72	48	47	1.05	85	1.17	49
Orlando, FL	22	72	61	22	1.07	57	1.24	28
Virginia Beach, VA	22	72	43	69	1.06	75	1.16	59
Jacksonville, FL	21	77	53	33	1.06	75	1.21	37
Las Vegas-Henderson, NV	18	87	50	41	1.07	57	1.25	25
Tampa-St. Petersburg, FL	18	87	53	33	1.08	44	1.25	25
Raleigh, NC	17	92	40	78	1.05	85	1.17	49

[그림 2-8] Urban Mobility report의 도시별 TTI

□ Maryland State Highway Mobility Report

- Maryland Department of Transportation에서는 고속도로의 소통 현황 분석을 위하여 Maryland State Highway Mobility Report를 매년 발행함
- 해당 보고서에서는 속도가 아닌 TTI를 이용하여 고속도로 소통 현황을 분석하였으며, TTI에 따른 혼잡 정도를 4단계로 구분함
 - 1.15 이하 : Uncongested
 - 1.15 ~ 1.30 : Moderate congestion
 - 1.30 ~ 2.0 : Heavy congestion
 - 2.0 이상 : Severe congestion
- 또한 보고서에서는 고속도로 중 혼잡이 가장 심한 고속도로를 순위로 제공하고 있음



[그림 2-9] Maryland State Highway Mobility Report의 고속도로 TTI

세종시 교통 빅데이터

제1절 세종시 교통정보 시스템

제2절 통행속도 데이터 및 분석 범위 설정

3장

제3장 세종시 교통 빅데이터

제1절 세종시 교통정보 시스템

1. 세종시 교통정보 시스템 소개

- 현재 세종시는 교통정보 시스템을 통하여 교통정보, 버스정보, 주차정보, 빅데이터 분석 정보를 제공하고 있음



[그림 3-1] 세종시 교통정보 시스템

5) 세종시 교통정보 시스템, <https://bis.sejong.go.kr/web/main/main.view>

- 시스템을 통하여 현재 교통 정체 구간 및 버스 노선 정보, 공영 주차장 위치 정보 및 잔여 주차 대수를 실시간으로 제공함
 - 주차 정보 시스템⁶⁾의 경우, 실시간 주차 잔여 대수 제공으로 인하여, 향후 주차장을 고려한 경로 안내, 주차장 추가 설계 및 스마트 주차 서비스등 다양한 주차 관련 교통계획에 응용이 가능

주차정보

주차정보

실시간 주차정보

- 도시상징광장 주차장
- 아름등 주차타워
- 정부세종청사BRT환승센터
- 조지원 주차타워
- 중촌동 주차타워**
- 첫마을 BRT 환승 주차장A
- 첫마을 BRT 환승 주차장B

중촌동 주차타워

운영시간	평일: 08:00~23:00 / 휴일: 08:00~23:00	총주차대수	160
주 소	달빛로 53(중촌동(주1-18))	전화번호	044-850-1100

잔여주차대수 2022-09-03 05:55:30 현재

구분	일반	경차	대형	긴급차량	장애인	여성	기타
중촌동 주차타워	148	0	0	0	0	0	0

© NAVER Corp. NAVER 3km

[그림 3-2] 세종시 주차정보 시스템

6) 세종시 실시간 주차 정보, <https://bis.sejong.go.kr/ext/w/parkingInfo.view>

2. 세종시 빅데이터 분석 시스템

□ 빅데이터 분석 시스템 대시보드

- 세종시는 교통정보 시스템의 빅데이터 분석 시스템(은 데이터 기반 시스템으로서 대중교통 데이터와 승용차 통행 속도 및 교통량 데이터를 수집하여 교통 소통과 관련된 정보를 제공함
- 빅데이터 분석 시스템에서 제공되는 데이터는 데이터 시각화뿐만 아니라, 조건별 (일자, 요일, 시간, 구간등) 선택을 통해서 엑셀 데이터 다운이 가능함

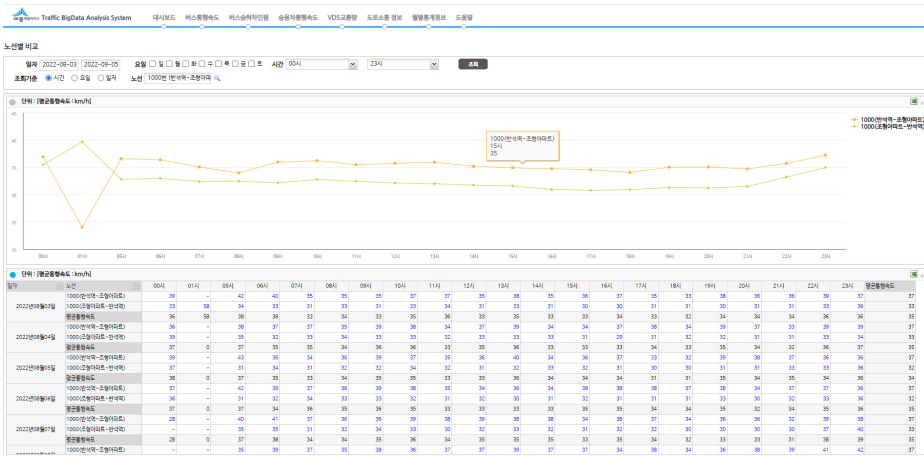


[그림 3-3] 세종시 빅데이터 분석 시스템 대시보드

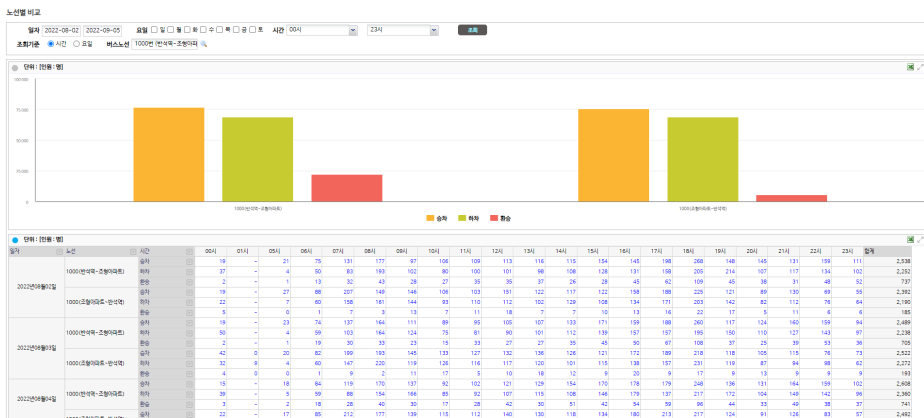
□ 대중교통 데이터

- 대중교통 데이터는 버스 통행 속도 데이터와 버스 승하차 인원 데이터를 제공하고 있으며, 일자별, 요일별, 시간별 데이터를 수집하여 노선별, 정류장별, 도로별 버스 통행 속도 및 승하차 인원 제공함

7) 세종시 빅데이터 분석 시스템, <http://tdata.sejong.go.kr:8080/ingecep/launcher/dashboard/>



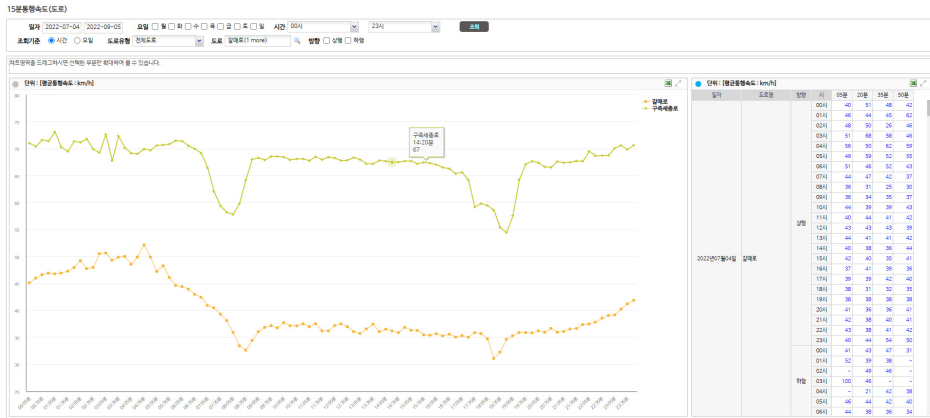
[그림 3-4] 세종시 버스 통행속도 분석



[그림 3-5] 세종시 승하차 인원 분석

□ 승용차 데이터

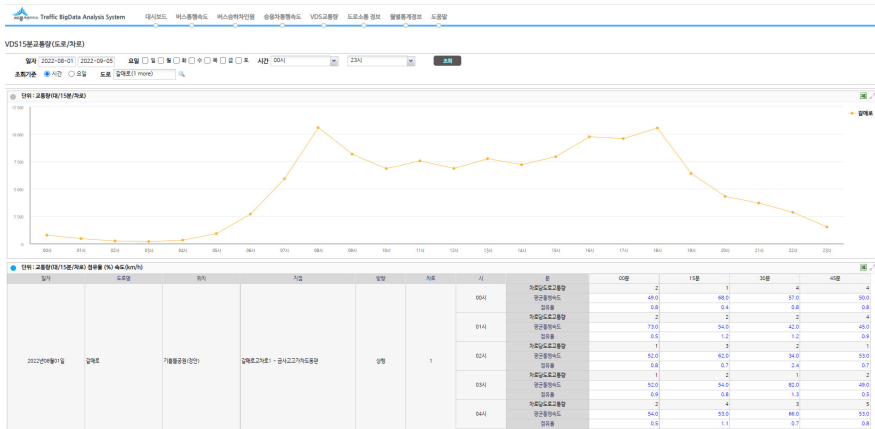
- 승용차 데이터는 통행속도와 교통량 그리고 통행속도 기반 도로 소통 정보를 제공함
- 통행 속도 데이터는 일자별, 요일별, 시간별 데이터를 제공하며, 노변 기자국 시스템 (Roadside Equipment, RSE)에서 수집되는 샘플 차량을 기반으로 구가별, 도로별 15분 및 1시간 데이터를 제공함



[그림 3-6] 세종시 통행속도 데이터 분석

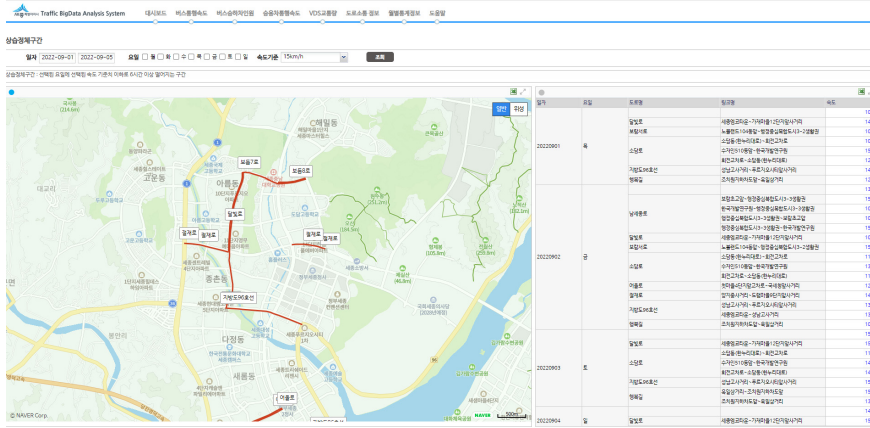
○ 차량 검지기 (Vehicle Detection System, VDS)를 통하여 15분 및 1시간 데이터를 제공하고 있으며, 도로 전체 및 차로별 교통량 데이터 및 통행 속도 데이터를 제공함

- 구간 데이터의 경우, 구간의 VDS에서 검지된 평균 데이터를 제공함



[그림 3-7] 세종시 교통량 데이터 분석

- 도로 소통 정보는 기준치 아래의 속도 정보를 이용한 상습 정체구간 및 상세 정체 시간 정보를 제공함
- 사고 다발 구간과 통행속도 분포, VDS에 검지된 교통량 분포 및 도로 별 통행속도 정보를 제공함



[그림 3-8] 세종시 도로소통 정보

제2절 통행속도 데이터 및 분석 범위 설정

1. 통행속도 데이터 및 교통량 데이터

- 세종시 도시 통합 정보 센터로부터, RSE 데이터와 VDS 데이터를 수집 하였으며, 수집기간은 본 연구에 사용되는 1년치 (2021년 6월 ~ 2022년 7월) 데이터를 수집함
- 5분 데이터와 15분 데이터를 수집하였으며, 현재 VDS 데이터가 15분 간격으로 수집되는 관계로, 통행속도도 15분 기반 평균 데이터를 사용함
- 15분 데이터의 구성은 도로 ID, 도로명, 구간명, 방향, 날짜, 상세도로, 시간, 분, 요일, 교통량, 속도, 통행시간으로 구성되어 있으며, 데이터 필드에 제시하는 교통량은 RSE 데이터 경우, 근거리 전용 통신기 (Dedicated Short Range Communication, DSRC) 가 부착된 샘플 데이터를 의미함

도로ID	도로명	구간	방향	날짜	상세도로	시간	분	요일	교통량	속도	통행시간
3100000053	절재로	절재로(도렘마을9단지)하행	하행	2021년07월04일	보람로교차로4 ~ 노드_004	00시	00분	일요일	2	12	24
3100000018	한누리대로	한누리대로(한누리대교)상행	상행	2021년07월04일	노드_136 ~ 한누리대로지하5남측	00시	00분	일요일	11	38	12
3100000271	한누리대로	한누리대로(행정중심복)상행	상행	2021년07월04일	여울초교앞 ~ 교육청앞	00시	00분	일요일	16	48	27
3100000038	지방도96호선	지방도96호선(성남교사)상행	상행	2021년07월04일	노드_090 ~ 노드_089	00시	00분	일요일	4	26	10
3100000006	세종1로	세종1로(고속시외버스터)하행	하행	2021년07월04일	대평삼거리 ~ 대평지하차도	00시	00분	일요일	14	23	33
3100000096	일반국도36호선	일반국도36호선(죽림삼)하행	하행	2021년07월04일	죽림삼거리 ~ 도장말길시점	00시	00분	일요일	15	60	16
3100000203	일반국도36호선	일반국도36호선(탐연삼)상행	상행	2021년07월04일	두전아파트앞 ~ 미호중앙	00시	00분	일요일	60	58	11
3100000096	일반국도36호선	일반국도36호선(죽림삼)하행	하행	2021년07월04일	도장말길시점 ~ 흥몰러스	00시	00분	일요일	15	60	9
3100000203	일반국도36호선	일반국도36호선(탐연삼)상행	상행	2021년07월04일	강내지구대앞 ~ 두전아파트앞	00시	00분	일요일	60	58	10
3100000203	일반국도36호선	일반국도36호선(탐연삼)상행	상행	2021년07월04일	월곡초교앞구 ~ 강내지구대앞	00시	00분	일요일	60	58	9
3100000203	일반국도36호선	일반국도36호선(탐연삼)상행	상행	2021년07월04일	탐연삼거리 ~ 월곡초교앞구	00시	00분	일요일	60	58	12
3100000310	한누리대로	한누리대로(4-1생활관)하행	하행	2021년07월04일	4-1생활관(한누리대로) ~ 반곡동(한누리)	00시	00분	일요일	3	58	34
3100000009	갈매로	갈매로(금남교앞 ~ 고속)하행	하행	2021년07월04일	금남교앞 ~ 금남교북측	00시	00분	일요일	15	47	5
3100000212	지방도96호선	지방도96호선(부강터널)하행	하행	2021년07월04일	부강교차로2 ~ 부강교차로1	00시	00분	일요일	1	78	25
3100000127	충현로	충현로(조치원지하차도)상행	상행	2021년07월04일	조치원지하차도앞 ~ 조치원교	00시	00분	일요일	11	33	33
3100000182	일반국도1호선	일반국도1호선(충교리)상행	상행	2021년07월04일	조천4교동측 ~ 조천4교서측	00시	00분	일요일	10	71	15
3100000003	일반국도1호선	일반국도1호선(송원교)하행	하행	2021년07월04일	세종로고가남측 ~ 학나래교서측	00시	00분	일요일	2	21	27
3100000133	일반국도1호선	일반국도1호선(신안교)하행	하행	2021년07월04일	신안교신교하부 ~ 신안1리사거리	00시	00분	일요일	7	49	34
3100000271	한누리대로	한누리대로(행정중심복)상행	상행	2021년07월04일	교육청앞 ~ 지하차도서측(한누리대로BR)	00시	00분	일요일	3	15	76
3100000163	세종로	세종로(모개교)가차도 ~ 하행	하행	2021년07월04일	세종로지하1북측 ~ 빗뚫터남서측	00시	00분	일요일	2	10	235
3100000437	집현북로	집현북로(집현리(한누리)하행	하행	2021년07월04일	집현리(한누리대로) ~ 집현리1074	00시	00분	일요일	5	43	33
3100000002	지방도96호선	지방도96호선(대평지하)상행	상행	2021년07월04일	대평교차로1 ~ 대평지하차도서측	00시	00분	일요일	3	27	15
3100000188	일반국도23호선	일반국도23호선(유천교)하행	하행	2021년07월04일	유천교차로 ~ 천안시-연기군경계(1)	00시	00분	일요일	5	53	70
3100000041	갈매로	갈매로(문로지)서위양)상행	상행	2021년07월04일	노드_072 ~ 노드_035	00시	00분	일요일	4	26	16
3100000227	지방도96호선	지방도96호선(송원교)하행	하행	2021년07월04일	6마트남측교차로 ~ --	00시	00분	일요일	8	51	53
3100000179	일반국도1호선	일반국도1호선(충교리)하행	하행	2021년07월04일	조천3교북측 ~ 조천3교남측	00시	00분	일요일	31	79	21

[그림 3-9] 세종시 통행속도 및 교통량 데이터

- 각 월 데이터는 약 160만 행으로 구성되어 있으며, 이를 1년치 데이터

로 통합 할 경우 약 2,000만 행으로 구성되어 있음

- 빅데이터 분석을 위한 데이터 전처리 수행이 필요했으며, 본 연구에서는 Python을 활용하여 데이터 전처리 분석을 수행함

2. 시간적 범위 설정

□ 분석시간 설정

- 예비타당성 조사 착수회⁸⁾ 보고서는 대도시권 시간대별 통행량을 분석하였음
- 보고서에 의하면 대전·세종·충청권의 경우, 오전 6시부터 오후 23시까지 98%의 통행이 발생하며, 본 연구의 시간적 범위로 설정함

□ 침투시간 설정

- 출근시간의 침투시간은 8시부터 9시까지 약 18%의 통행량이 집중되며, 퇴근시간의 경우 18시부터 19시 사이에 약 12%의 통행이 집중됨

□ 자유교통류 시간 설정

- 자유 교통류의 경우, 통행제한 속도 기반 통행시간으로 산출 될 수 있으나, 이 경우 과속에 대한 속도를 고려하지 못하는 단점이 존재
 - 본 연구에서는 새벽 교통량에 의한 통행시간을 자유 교통류상의 통행시간으로 설정했으며, 오후 23시부터 다음날 6시까지의 평균 통행시간을 사용함

8) 2022년 제1회 예비타당성 조사 착수회의 자료 (2022. 6), KDI 공공투자관리센터

[표 3-1] 대전세종충청권 각 수단별 시간대별 교통량

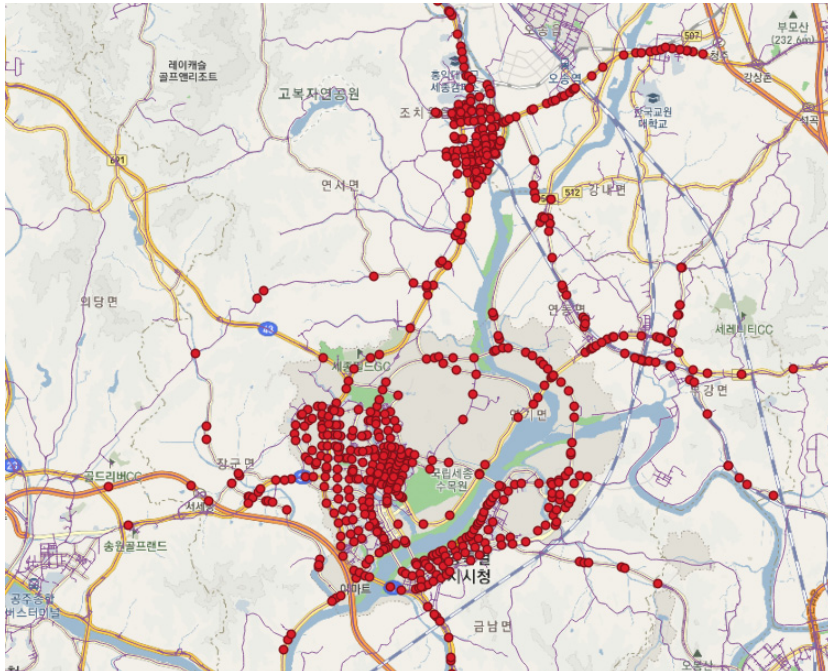
시간대	승용차	버스	지하철/철도	택시	합계	
					총수단	시간별 비율
06:00~07:00	107,506	26,591	3,425	1,030	138,552	1.60%
	77.60%	19.20%	2.50%	0.70%	100%	
07:00~07:00	341,564	105,135	4,254	4,115	455,068	5.30%
	75.10%	23.10%	0.90%	0.90%	100%	
08:00~09:00	1,231,682	304,705	15,220	16,585	1,568,192	18.30%
	78.50%	19.40%	1.00%	1.10%	100%	
09:00~10:00	331,822	146,118	11,206	48,241	537,387	6.30%
	61.70%	27.20%	2.10%	9.00%	100%	
10:00~11:00	188,024	88,344	12,208	103,789	392,365	4.60%
	47.90%	22.50%	3.10%	26.50%	100%	
11:00~12:00	175,597	53,318	3,348	50,854	283,118	3.30%
	62.00%	18.80%	1.20%	18.00%	100%	
12:00~13:00	174,519	45,283	2,200	90,451	312,454	3.70%
	55.90%	14.50%	0.70%	28.90%	100%	
13:00~14:00	147,292	36,143	3,629	45,423	232,487	2.70%
	63.40%	15.50%	1.60%	19.50%	100%	
14:00~15:00	161,834	57,936	3,343	50,591	273,705	3.20%
	59.10%	21.20%	1.20%	18.50%	100%	
15:00~16:00	164,958	84,858	4,138	119,533	373,488	4.40%
	44.20%	22.70%	1.10%	32.00%	100%	
16:00~17:00	186,255	113,395	3,950	40,451	344,052	4.00%
	54.10%	33.00%	1.10%	11.80%	100%	
17:00~18:00	245,130	149,693	8,906	26,219	429,948	5.00%
	57.00%	34.80%	2.10%	6.10%	100%	
18:00~19:00	738,882	209,138	10,166	62,374	1,020,559	11.90%
	72.40%	20.50%	1.00%	6.10%	100%	
19:00~20:00	661,307	119,824	10,236	28,396	819,762	9.60%
	80.70%	14.60%	1.20%	3.50%	100%	
20:00~21:00	422,676	62,439	2,427	28,960	516,502	6.00%
	81.80%	12.10%	0.50%	5.60%	100%	
21:00~22:00	309,061	60,647	3,772	40,504	413,984	4.80%
	74.70%	14.60%	0.90%	9.80%	100%	
22:00~23:00	196,399	59,921	2,716	27,261	286,298	3.30%
	68.60%	20.90%	0.90%	9.50%	100%	

출처: 한국교통연구원 제공자료 (2016년 가구통행 실태조사 기준)

3. 공간적 범위 설정

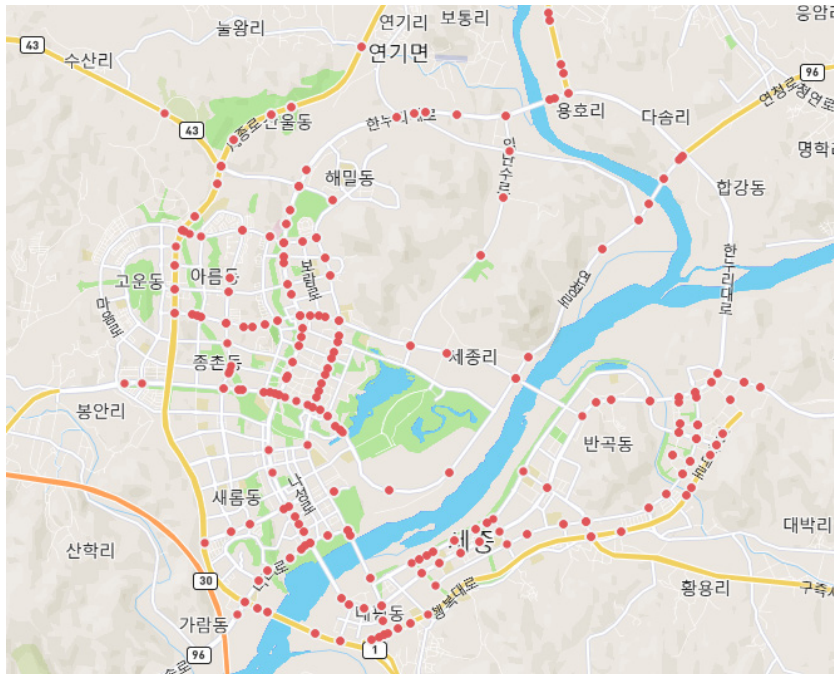
□ 공간적 범위

- 현재 통행속도와 교통량이 총 집계 되는 지점은 930개 지점으로서 세종시 전역의 데이터가 집계되고 있음



[그림 3-10] 세종시 속도 데이터 수집 지점

- 930개 지점중 본 연구에서는 상대적으로 교통혼잡이 발생하는 행정중심복합도시내의 지점을 공간적 범위로 설정함
 - 비록 교통 수집 장치가 설치되었지만, 장치의 고장 및 수집 지점의 오류로 본 연구에서는 행정중심복합도시중 RSE와 VDS 데이터가 수집가능한 136개 구간 및 400개 지점을 대상으로 분석함



[그림 3-11] 공간적 분석 범위

세종시 통행속도 및 통행시간 신뢰성 분석

제1절 데이터 전처리 및 분석 방법

제2절 통행속도 및 통행시간 분석

제3절 통행시간과 강수량 데이터 분석

제4절 통행시간 신뢰성 분석

4장

제4장 세종시 통행속도 및 통행시간 신뢰성 분석

제1절 데이터 전처리 및 분석 방법

1. 데이터 전처리

□ 통행속도 통계 데이터 전처리

- 2021년 6월부터 2022년 7월까지 1년간의 15분 단위 구간 통행속도 통계 데이터는 각 월이 2개씩 총 24개의 엑셀 파일로 분할되어 있으며, 데이터 분석을 위해서 하나의 파일로 병합하는 전처리 과정을 수행함
 - Python의 pandas⁹⁾ 라이브러리를 사용해서 [그림 4-1]과 같이 파일 병합 함수 소스 코드를 작성하고 이를 실행하여 하나의 파일로 병합

```
import pandas as pd
import glob

def merge_excel_files(file_path, file_format, save_file, save_format, columns=None):
    merge_df = pd.DataFrame()
    file_list = glob.glob(f"{file_path}/*{file_format}")
    for file in file_list:
        if file_format == ".xlsx":
            file_df = pd.read_excel(file)
        else:
            file_df = pd.read_csv(file)
        if columns is None:
            columns = file_df.columns
        temp_df = pd.DataFrame(file_df, columns=columns)
        merge_df = merge_df.append(temp_df)
    if save_format == ".xlsx":
        merge_df.to_excel(save_file, index=False)
    else:
        merge_df.to_csv(save_file, index=False)
```

[그림 4-1] 파일 병합 함수 소스 코드

9) pandas: 데이터 분석을 위한 Python 라이브러리, <https://pandas.pydata.org/>

- Geographic Information System (GIS) 기반 공간 분석을 위해서 구간 통행속도 통계 데이터에 노드-링크 정보를 결합하는 데이터 전처리 과정을 수행함
 - 수집한 지점/구간 통행속도 데이터에는 경위도 좌표와 같은 공간정보가 없으므로 공간정보 분석 수행을 위해서 데이터 전처리 과정이 필수적으로 수행되어 됨
 - 통행속도 데이터에 공간정보를 결합하기 위해서는 노드 데이터의 경위도 좌표가 필요하며, 통행속도 데이터에의 노드정보와 노드 데이터의 위경도 좌표를 조인함
 - 현재 수집된 데이터에 의하면 노드 데이터는 5개의 열(노드ID, 노드명, 비고, 경도, 위도)를 포함하고 있으며 총 742개의 노드 데이터가 입력되어 있음
- 본 연구에서는 평일 대상으로 분석을 수행하며 데이터 전처리 작업 수행을 통해 평일에 해당하는 데이터만을 추출함

[표 4-1] 노드(NODE) 데이터

노드ID	노드명	비고	경도	위도
1000000003	쌍용양회앞삼거리	-	127.3863803	36.5025313
1000000008	예양교차로1	-	127.31914	36.57557
1000000009	예양교차로2	-	127.31993	36.57518
1000000010	예양교차로동편	-	127.3215274	36.5750856
1000000011	예양삼거리1	-	127.3223053	36.57369443
1000000016	세종로1	-	127.2928452	36.60836859
1000000027	조치원1교 남단	-	127.2895387	36.60502207
1000000036	조치원로1	-	127.3020746	36.60194239
1000000039	새내4길시점	-	127.2988179	36.59726506
1000000041	새내1길시점	-	127.2988731	36.59696858

- 링크 데이터는 총 882개로 6개의 열(링크ID, 시작노드, 종료노드, 도로명, 차선 수, 링크 길이)을 가지며 통행속도 데이터와 링크ID로 조인한 후 각 링크와 노드를 조인하여 공간정보를 결합함

[표 4-2] 링크(LINK) 데이터

링크ID	시작노드	종료노드	도로명	차선 수	링크 길이
2710006701	2710063200	2740012300	일반국도36호선	2	25
2710006702	2710063000	2710063200	일반국도36호선	2	169
2710006703	2710002900	2710063000	일반국도36호선	2	339
2710006802	2710063200	2710063000	일반국도36호선	2	171
2710006803	2710063000	2710002900	일반국도36호선	2	333
2740003305	2740001305	2740001304	시목부강로	1	956
2740003405	2740001304	2740001305	시목부강로	1	954
2740006100	2740002800	2740003000	청연로	2	451
2740006200	2740003000	2740002800	청연로	2	451
2740006501	2740003000	2740003001	청연로	2	244

□ 누적강수량 데이터 수집 및 전처리

○ 강수량과 통행속도/시간과의 연관 분석을 위해서 누적 강수량 데이터를 수집함

- 누적강수량 데이터는 기상청에서 운영하는 기상자료개방포털¹⁰⁾의 종관기상관측(ASOS) 파일셋에 대해 세종 지점(239)을 대상으로 통행속도 데이터와 같은 2021년 6월부터 2022년 7월까지 1년 치를 수집함
- 종관기상관측(ASOS) 파일셋은 [표 4-3]과 같이 11개의 열(지점, 일시, 기온(°C), 누적강수량(mm), 풍향(deg), 풍속(m/s), 현지기압(hPa), 해면기압(hPa), 습도(%), 일사(MJ/m²), 일조(Sec))로 구성되어 있으며 여기서는 일시와 누적강수량(mm) 정보만 추출해서 사용함
- 수집된 누적강수량 데이터는 월별로 CSV 파일 형식으로 분할되어 있기에 모든 CSV 파일을 하나로 병합하는 데이터 전처리 과정을 수행
- 관심 정보 추출과 데이터 병합 과정은 데이터 전처리 도구인 Tableau Prep Builder를 사용해서 일시와 누적강수량(mm)을 제외한 나머지 필드를 제거하고 파일 유니온 기능으로 모든 데이터 파일들을 하나의 파일로 병합하는 데이터 전처리 과정을 수행함

10) 기상청 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/>

[표 4-3] 누적강수량 데이터

지점	일시	기온 (°C)	누적 강수량(mm)	풍향 (deg)	풍속 (m/s)	현지 기압(hPa)	해면 기압(hPa)	습도 (%)	일사 (MJ/m ²)	일조 (Sec)
239	2022-06-01 00:01	16.4	0	185.1	0.1	998.9	1009.4	44.2		0
239	2022-06-01 00:02	16.5	0	0	0	998.9	1009.4	41.8		0
239	2022-06-01 00:03	16.5	0	0	0	998.9	1009.4	42.2		0
239	2022-06-01 00:04	16.4	0	0	0	998.9	1009.4	43		0
239	2022-06-01 00:05	16.3	0	0	0	998.9	1009.4	43.7		0
239	2022-06-01 00:06	16.4	0	0	0	998.8	1009.3	43.3		0
239	2022-06-01 00:07	16.6	0	0	0	998.8	1009.3	41.5		0
239	2022-06-01 00:08	16.7	0	0	0	998.8	1009.3	41.4		0
239	2022-06-01 00:09	16.7	0	0	0	998.8	1009.3	41.8		0
239	2022-06-01 00:10	16.6	0	0	0	998.8	1009.3	41.7		0

○ 수집된 누적강수량 기상 데이터는 1분 단위로 수집되어 있지만, 시간 값에 대한 결측치가 존재하며 이를 해결하기 위해서 데이터 보간(interpolation)과 같은 데이터 전처리 작업을 수행함

- 시계열 데이터 보간은 Python의 라이브러리 중 pandas를 사용하여 데이터프레임의 누적강수량 필드를 선형적으로 보정함

```

import pandas as pd
import numpy as np

df = pd.read_csv('누적강수량(mm)_추출.CSV')
df = df.interpolate(method="linear")
df.to_csv("누적강수량(mm)_보간.CSV", encoding="utf-8-sig", index=False)

```

[그림 4-2] 누적강수량 데이터 보간 소스 코드

- 누적강수량 데이터를 15분 구간 통행속도 데이터와 조인하기 위해서 시간 단위로 통일하는 전처리 작업을 수행함
 - 15분 단위 누적강수량 데이터 집계를 위해 롤링(rolling) 작업을 수행함

```

import pandas as pd
import numpy as np

df = pd.read_csv("누적강수량(mm)_보간.CSV")
rolling_factor = 15
df['누적강수량(mm)_롤링'] = df.loc[:, ['누적강수량(mm)']].rolling(rolling_factor).sum().shift(-(rolling_factor - 1))
df = df.round(6)
df = df[df.index % rolling_factor == 0]
df = df.drop('누적강수량(mm)', axis=1)
df.rename(columns={"누적강수량(mm)_롤링": "누적강수량(mm)"}, inplace=True)
df.to_csv('누적강수량(mm)_롤링.CSV', encoding='utf-8-sig', index=False)

```

[그림 4-3] 누적강수량 데이터 15분 단위 집계 소스 코드

□ 구간 통행속도 통계 데이터와 누적강수량 데이터 조인

- 15분 단위 통행속도 데이터와 15분 단위로 집계한 누적강수량 두 데이터가 공통으로 가지고 있는 시간 값을 통해서 조인을 수행함
 - 두 데이터의 시간 값은 ISO 8601¹¹⁾ 국제 표준에 따라 연도(YYYY), 월(MM), 일(DD)과 시간(hh), 분(mm)의 기본 형식으로 변환 후 조인

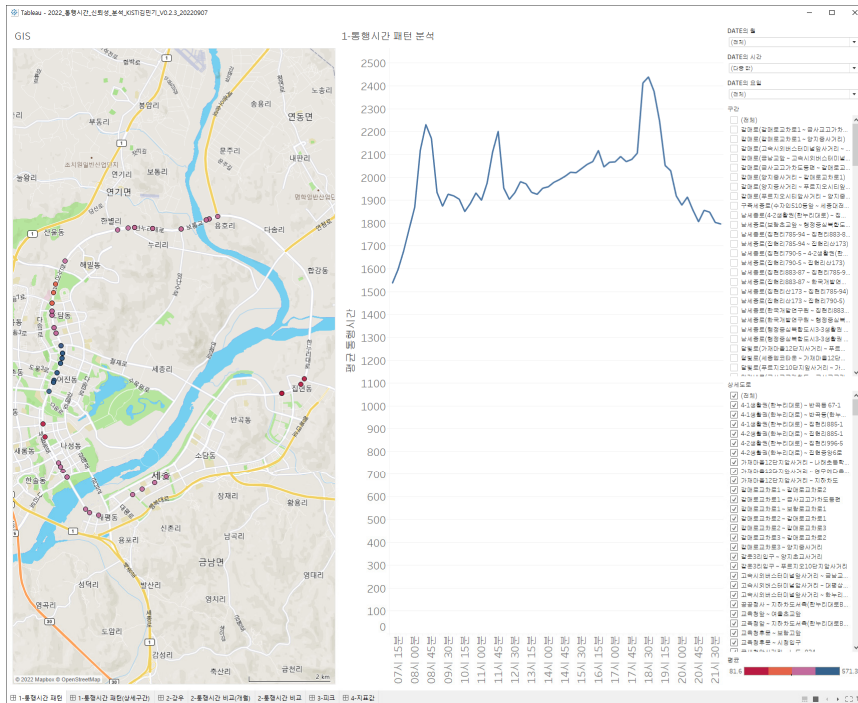
11) ISO 8601: 날짜와 시간과 관련된 데이터 교환을 다루는 국제 표준

2. 분석 방법 (데이터 시각화)

□ 통행속도 패턴 분석

○ [그림 4-4]는 통행속도 분석을 위한 대시보드로서 좌측에는 GIS 기반 지도에 평균 통행속도를 색상별로 나타내고 있으며 중앙에는 지점/구간에 대한 통행시간 분포 그리고 우측에는 기간/시간, 구간, 상세 구간을 필터링할 수 있는 패널로 구성되어 있음

- 좌측 지도에서 지점을 선택하면 평균 통행시간 분포가 표출되는 방식으로 구성함

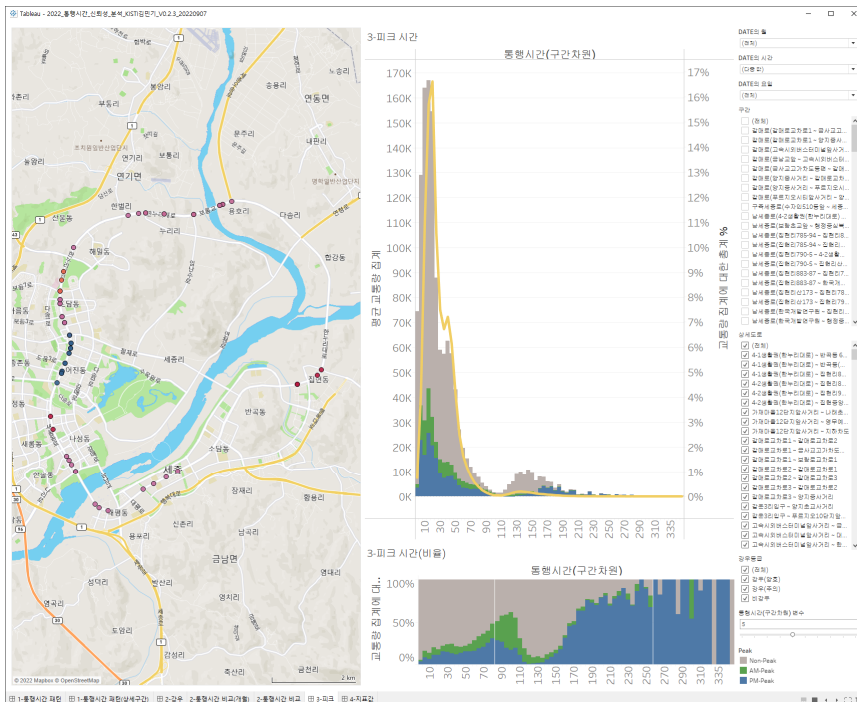


[그림 4-4] 통행속도 및 통행시간 분포 대시보드

□ 통행시간별 첨두 및 비첨두 시간대 교통량 분석

○ [그림 4-6]는 통행시간별 첨두 및 비첨두 시간대 교통량 분포를 분석할 수 있는 대시보드임

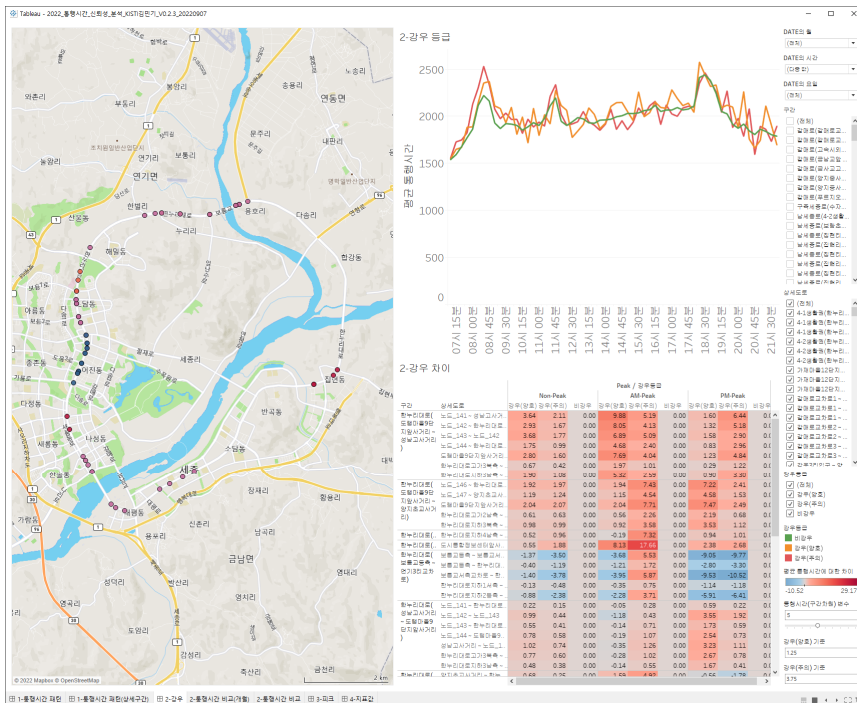
- 좌측에는 지도 위에 구간별 평균 통행속도가 표시되고 있으며 중앙 상단에는 통행시간 구간 차원별로 첨두(오전/오후) 및 비첨두 시간대별 평균 교통량을 집계한 결과를 표출하고 있음
- 교통량 구성 비율은 중앙 하단에 집계되며 우측에는 시간, 구간, 상세 구간을 필터링하고 통행시간 구간 차원을 조절할 수 있는 패널로 구성함
- 통행시간 구간 차원은 5분을 기본값으로 집계하였으며 1분부터 10분까지 통행시간 구간 차원을 조절하며 교통량을 분석할 수 있음



[그림 4-6] 통행시간별 첨두 및 비첨두 시간대 교통량 분석 대시보드

□ 강우 등급과 침투 및 비침투 시간에 따른 통행시간 비교 분석

- [그림 4-7]은 시간대별 누적강수량에 따라 강우 등급을 매기고 강우 등급 간 평균 통행시간을 비교 분석할 수 있는 대시보드를 보여줌
 - 좌측에는 지도 위에 구간별 평균 통행속도가 표시되고 있으며 중앙 상단에는 강우 등급별 통행시간 분포, 중앙 하단에는 비침투 시간대와 오전/오후 침투시간대에 대한 강우 등급별 평균 통행시간이 표출됨
 - 우측에는 시간, 구간, 상세 구간을 필터링할 수 있는 패널로 구성함
 - 누적강수량에 따른 강우 등급은 시간당 강수량이 5mm 미만이면 비강우, 시간당 강수량이 5mm 이상 15mm 미만이면 강우(양호), 시간당 강수량이 15mm 이상이면 강우(주의)로 설정하였음
 - 중앙 하단의 시간대별 평균 통행시간은 비강우 평균 통행시간을 기준으로 차이를 산출하였으며 양의 값이면 통행시간이 증가했음을 의미함

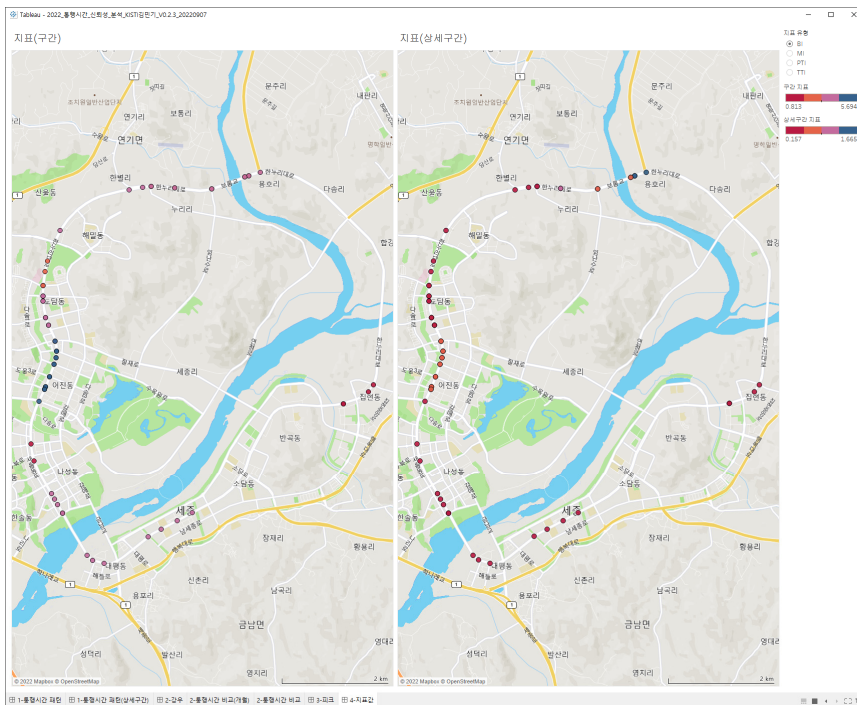


[그림 4-7] 강우 등급에 따른 통행시간 비교 분석 대시보드

□ GIS 기반 통행시간 신뢰성 지표 분석

○ [그림 4-8]은 Buffer Index(BI), Misery Index(MI), 계획 시간 지수(Planning Time Index, PTI), 통행시간 지수(Travel Time Index, TTI)와 같은 4가지 통행시간 신뢰성 지표를 GIS 기반으로 분석할 수 있는 대시보드임

- 우측 패널에서 분석하고자 하는 신뢰성 지표를 선택하면 구간과 상세 구간에 대한 지표 값이 표출되도록 구성되어 있음
- 구간과 상세 구간에서 지표 값을 표출할 때 구간의 경우는 같은 구간인 상세 구간들은 같은 지표 값을 나타내고 상세 구간에서는 구간과 관련 없이 각 상세 구간에 해당하는 지표 값이 표출됨



[그림 4-8] GIS 기반 통행시간 신뢰성 지표 분석 대시보드

제2절 통행속도 및 통행시간 분석

1. 평균 통행속도 및 평균 통행시간 계산

□ 평균 통행속도 계산

- 평균 통행속도는 교통량과 속도의 가중평균으로 계산되며, 분석기간에 대한 평균으로 계산됨

$$\text{평균 통행속도} = \frac{\sum_d \sum_t (v_{dt}^j \times S_{dt}^i)}{\sum_d \sum_t v_{dt}^j} \quad i \in I, d \in D, t \in T$$

v_{dt}^j : d 날짜에서 t 시간대의 i 지점 교통량
 S_{dt}^i : d 날짜에서 t 시간대의 i 지점 통행속도

- 정의된 평균 통행속도는 특정 구간(지점)의 평균 통행속도를 의미하며, 위의 식을 통하여, 특정 구간(지점)의 평균 통행속도 산출이 가능함

□ 시간대별 평균 통행시간 계산

- 시간대별 평균 통행시간은 교통량과 통행시간의 가중평균으로 계산되며, 분석기간의 분석시간 때별 평균으로 계산됨

$$\text{시간대별 평균 통행시간} = \frac{\sum_d (v_{dt}^j \times tt_{dt}^i)}{\sum_d v_{dt}^j} \quad i \in I, d \in D$$

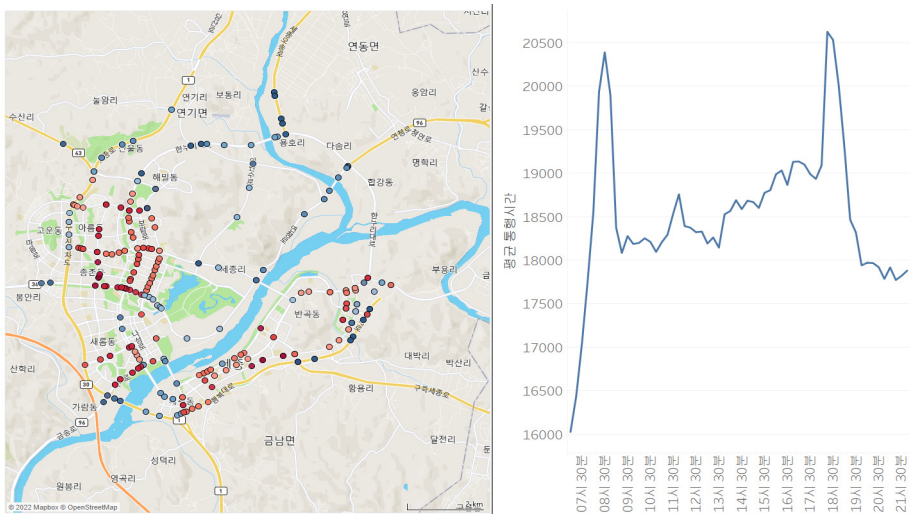
v_{dt}^j : d 날짜에서 t 시간대의 i 지점 교통량
 tt_{dt}^i : d 날짜에서 t 시간대의 i 지점 통행시간

- 정의된 시간대별 평균 통행시간은 특정 지점의 특정 시간대의 평균 통행시간 의미하며, 위의 식을 통하여, 지점의 통행시간 분포 산출이 가능함

2. 통행속도 및 통행시간 분석

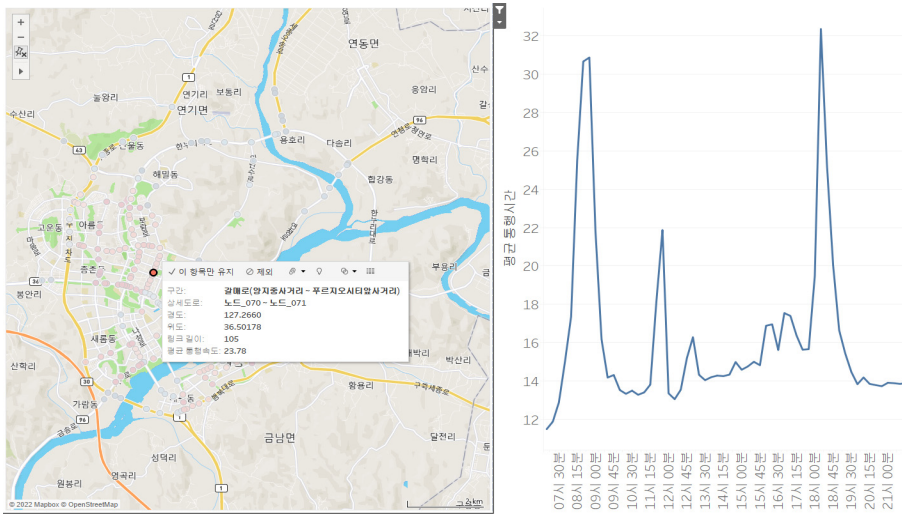
□ 통행속도 및 통행시간 대시보드

- [그림 4-9]는 통행속도 및 통행시간에 대한 대시보드 예시로서 왼쪽 통행속도 지도에서 빨간색이 짙을수록 통행속도가 낮음을 의미하며 파란색이 짙을수록 통행속도가 높음을 의미함
- [그림 4-9]의 오른쪽 그림은 현재 고려된 모든 지점에 대한 통행시간 합으로서 오침 침두시간과 오후 침두시간의 통행시간을 명확하게 보여 주고 있음
 - 현재 세종시 모든 지점의 통행시간 합을 분석했을 때 각 침두시간의 통행시간은 비침두의 통행시간보다 약 20% 더 통행시간이 더 소요되는 것으로 분석됨



[그림 4-9] 평균 통행속도 및 통행시간 대시보드

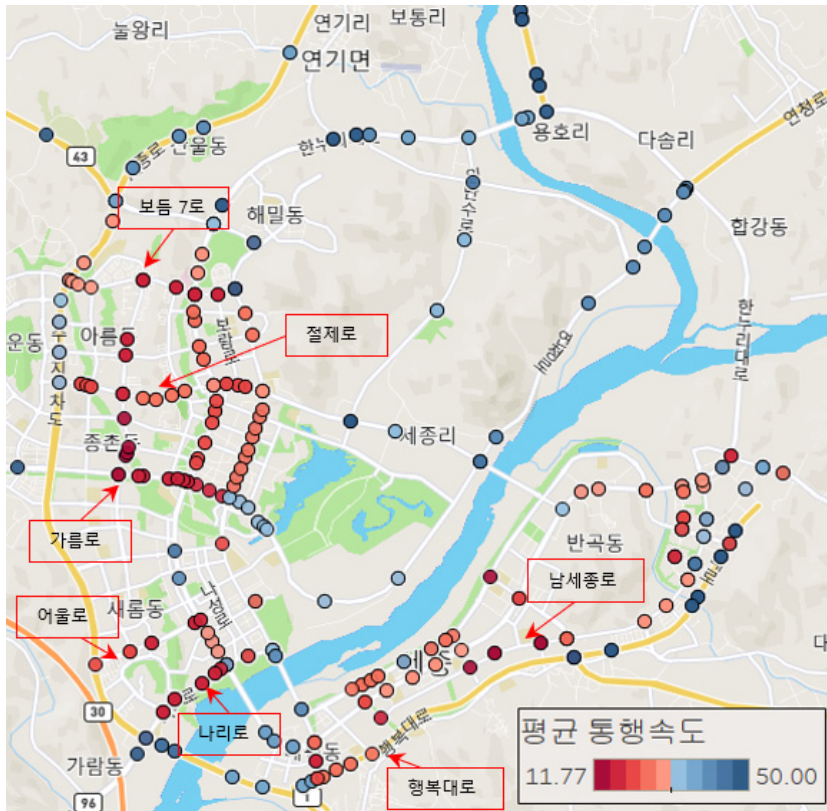
- 개발된 대시보드의 장점은 GIS 맵의 시각화 지점과 오른쪽 통행시간 분포와 상호 작용된다는 점이며, 지도의 지점을 클릭시 클릭된 지점의 통행시간 분포가 오른쪽에 표출됨



[그림 4-10] 갈매로(양지중사거리-푸르지오시티앞사거리) 통행시간 분포

□ 통행속도 분석

- 통행속도 분석 결과, 정부청사가 위치하는 중심지 지역의 통행속도가 낮음을 보임
- 통행속도가 낮은 이유에는 신호교차로의 영향, 방지턱과 같은 교통시설물의 영향, 교통량의 영향으로 볼 수 있음
 - 중심지의 경우 위에서 언급한 3가지의 요소가 다 포함됨
- 1번 국도와의 연결 동서축 도로인 절재로, 가름로, 어울로, 나리로의 경우도 낮은 통행속도를 보임
 - 세종시를 관통하는 1번국도의 경우, 지하화 도로로서 연속류를 형태를 보이며, 제한 속도는 70km/h 임
 - 대부분의 동서축 도로의 낮은 통행속도는 교통시설물보다는 높은 교통량에 의한 원인이라고 추정됨
- 남세종로의 경우, 주거지역을 관통하는 도로로서, 상대적으로 교통시설물과 교통신호에 의한 지체라고 추정됨
- 행복도로는 대전시와 연결되는 연속류 도로로서, 출·퇴근시 교통 혼잡이 발생하며, 이로 인한 속도 저하라고 유추 할 수 있음



[그림 4-11] 지점별 평균 통행속도

- 통행속도 지도를 통하여 낮은 통행속도의 원인을 유추 할 수 있으나, 각 도로마다 제한 속도가 다르고, 시간대별 교통량 집중도가 다르기 때문에 지점별 통행속도를 상대적으로 비교하기에는 한계가 있음
 - 상대적인 비교를 위해서, 제한속도와 첨두시간 속도를 고려한 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI) 비교가 필요함
- [표 4-4]은 평균 통행속도가 20km/h 미만인 구간을 보여줌

[표 4-4] 평균 속도 20km/h 미만 구간

구간	평균 통행속도
소담로(회전교차로 ~ 소담동(한누리대로))	11.77
소담로(소담동(한누리대로) ~ 회전교차로)	12.37
남세종로(행정중심복합도시3-3생활권 ~ 보람초교앞)	13.41
남세종로(한국개발연구원 ~ 행정중심복합도시3-3생활권)	13.41
소담로(수자인510동앞 ~ 한국개발연구원)	14.09
달빛로(세종엠코타운 ~ 가재마을12단지앞사거리)	14.65
남세종로(행정중심복합도시3-3생활권 ~ 한국개발연구원)	15.02
남세종로(보람초교앞 ~ 행정중심복합도시3-3생활권)	15.02
세종1로(고속시외버스터미널앞사거리 ~ 대평지하차도)	15.95
집현서1로(집현리883-55 ~ 집현리785-94)	16.53
보람서로(노블랜드104동앞 ~ 행정중심복합도시3-2생활권)	16.65
달빛로(푸르지오10단지앞사거리 ~ 가재마을12단지앞사거리)	16.66
집현서로(반곡동 67-1 ~ 집현리785-52)	17.17
집현북로(집현리(한누리대로) ~ 집현리1074)	17.40
지방도96호선(성남고사거리 ~ 세종엠코타운)	17.41
절재로(양지중사거리 ~ 도램마을9단지앞사거리)	17.46
보듬8로(양지초교사거리 ~ 갈매로교차로1)	17.54
보듬7로(푸르지오10단지앞사거리 ~ 양지초교사거리)	17.59
달빛로(가재마을12단지앞사거리 ~ 푸르지오10단지앞사거리)	17.80
보듬8로(갈매로교차로1 ~ 양지초교사거리)	18.01
보듬7로(양지초교사거리 ~ 푸르지오10단지앞사거리)	18.30
지방도96호선(한누리대교북측교차로 ~ 송원교차로)	18.35
어울로(국세청앞사거리 ~ 첫마을4단지앞교차로)	18.39
지방도96호선(성남고사거리 ~ 푸르지오시티앞사거리)	18.93
어울로(첫마을4단지앞교차로 ~ 국세청앞사거리)	19.04
지방도96호선(송원교차로 ~ 한누리대교북측교차로)	19.29
집현서로(집현리883-55 ~ 집현리883-87)	19.79

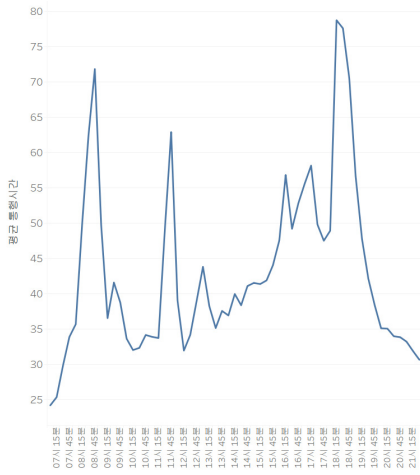
□ 통행시간 분포 분석

- 평균 통행시간 분석 결과, 평균 통행시간은 분포는 4개로 분류할 수 있음
 - 첫 번째는 오전 침두시간과 오후 침두시간이 뚜렷하게 나타나는 구간으로서 상대적으로 출·퇴근 수요가 많은 정부청사 주변에서 많이 나타남

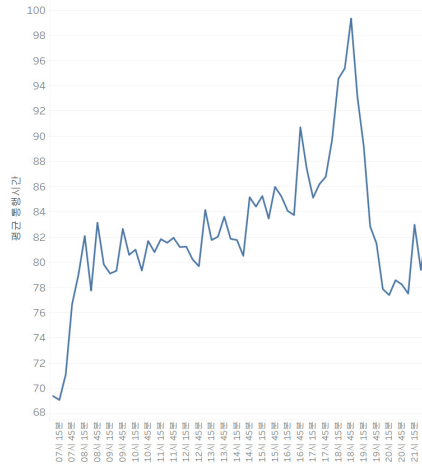
- 두 번째는 오후 첨두시간에만 정체가 나타나는 구간으로, 주로 중심부에서 외곽지역으로 통행하는 지점에서 나타남
 - 세 번째는 오전 첨두시간에는 정체가 나타나는 구간으로서 위의 두 번째와 반대적으로 외곽지역에서 중심부터 통행하는 지역에서 나타남
 - 마지막으로 아무런 패턴이 없는 형태로, 이는 구간길이가 짧을 경우 또는 샘플데이터의 부족, 데이터 검지 장치의 오류라고 판단됨.
 - 특히 구간 길이가 짧을 경우, 교통량에 의한 정체보다는 신호에 의한 정체가 발생함
- [그림 4-12] 는 위에 설명한 4개 지점 보여주고 있으며 [그림 4-13] 은 각 지점에 대한 평균 통행시간 분포를 나타냄



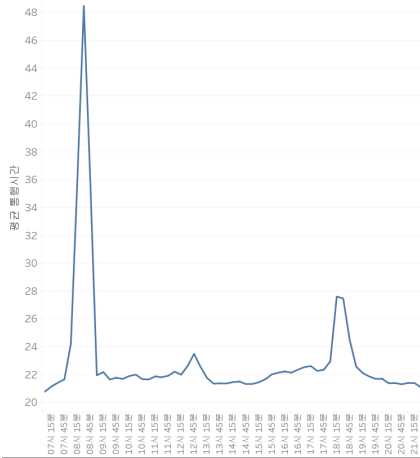
[그림 4-12] 통행시간 4개 분포 특성 지점



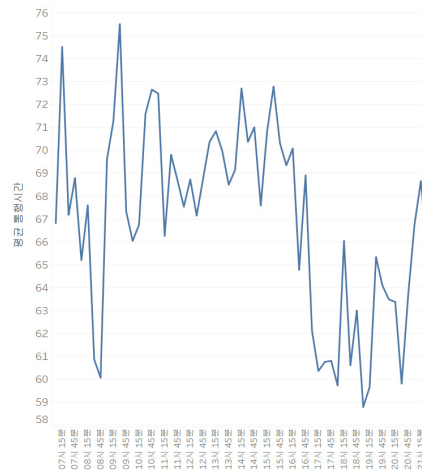
(a) 도림마을 9단지 앞 - 성남고 사거리



(b) 세종엠코타운 - 가재마을 12단지 앞



(c) 도시정보 통합센터 - 성남고 사거리



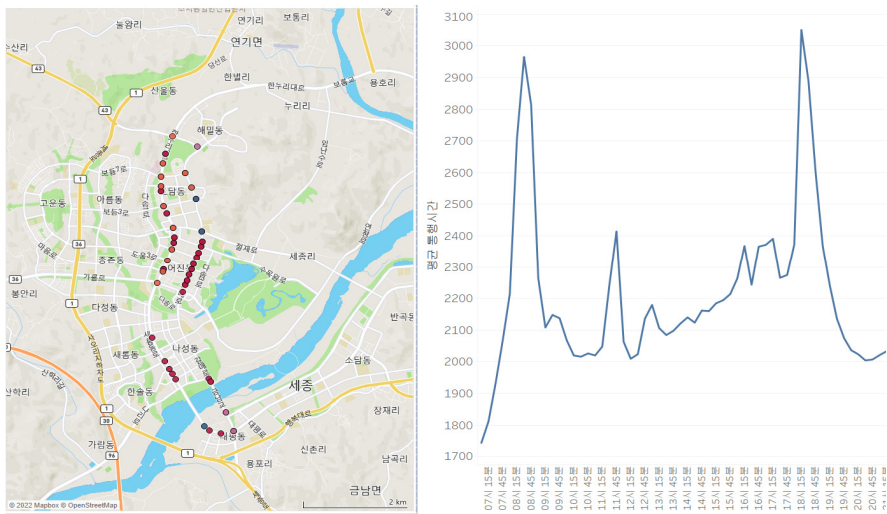
(d) 금사교 고가 차도 - 금사교 고가차도 동편

[그림 4-13] 통행시간 분포 특성

□ 주 도로 통행시간 분포

- 갈매로와 한누리대로 일부는 세종시의 남북축 주 도로로서, 대전시에서 세종시로 유입되는 교통량과, 정부청사로 출·퇴근시 이용되는 주 도로임
- [그림 4-14]는 왼쪽 지도에서 선택된 지점에 대한 지점 평균 통행시간의 합 (오른쪽)의 통행시간 분포 결과를 나타냄

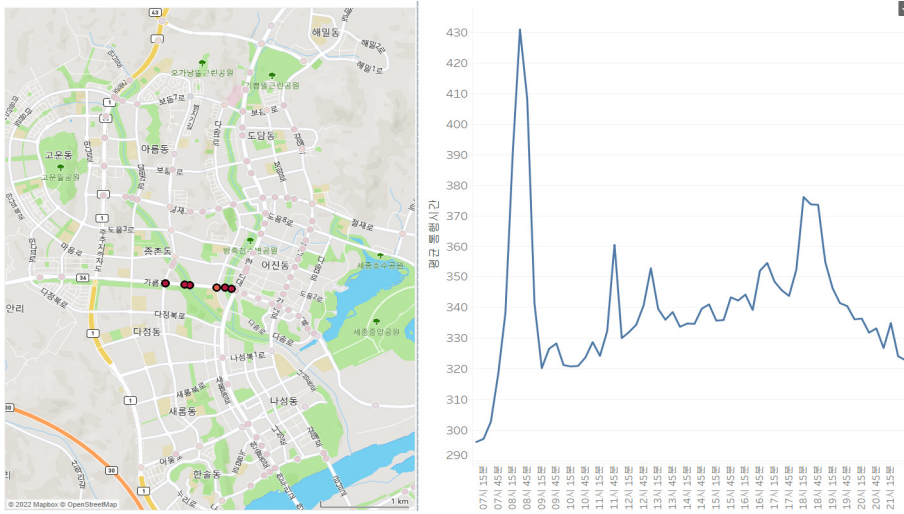
- 그림에서 보듯이, 오전·오후 첨두시간 패턴이 명확하게 구분되며, 첨두시간의 경우, 비첨두 시간 약 30% 통행시간이 더 소요되는 것으로 분석됨
- 선택된 지점은 출·퇴근시 이용되는 주 도로뿐만 아니라 상업시설이 중점적으로 위치하는 지역으로서, 점심시간인 11시 45분에서 12시 45분 사이의 통행시간도 증가되는 것으로 분석됨



[그림 4-14] 세종시 주 도로 통행시간 분포

□ 가름로 (1번 국도 및 당진 영덕고속도로 연결 도로)

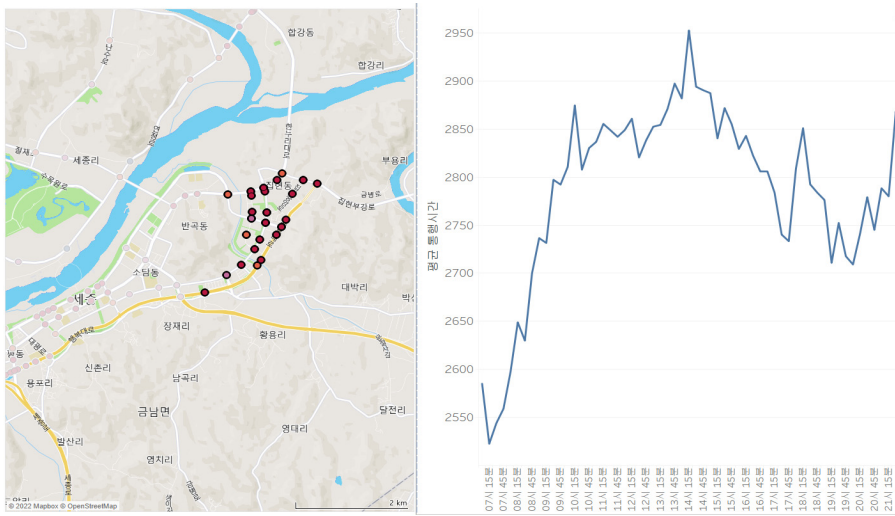
- 가름로의 경우, 1번 국도와 당진-영동 고속도로에서 정부청사까지의 연결 도로로서, 세종의 동서축 주도로를 형성함
- 통행시간 분석 결과, 오전 첨두시간이 오후 첨두시간 높은 통행시간이 소요되는 것으로 분석되었으며, 통행시간은 비첨두 시간보다 약 30% 더 소요 되는 것으로 분석됨
- 통행량이 오전 첨두시간이 집중되고 있으며, 오후 첨두시간의 경우, 오전 첨두시간에는 교통량이 분산되는 경향을 보임



[그림 4-15] 세종시 가름로 통행시간 분포

□ 집현동 지역 통행시간 분포

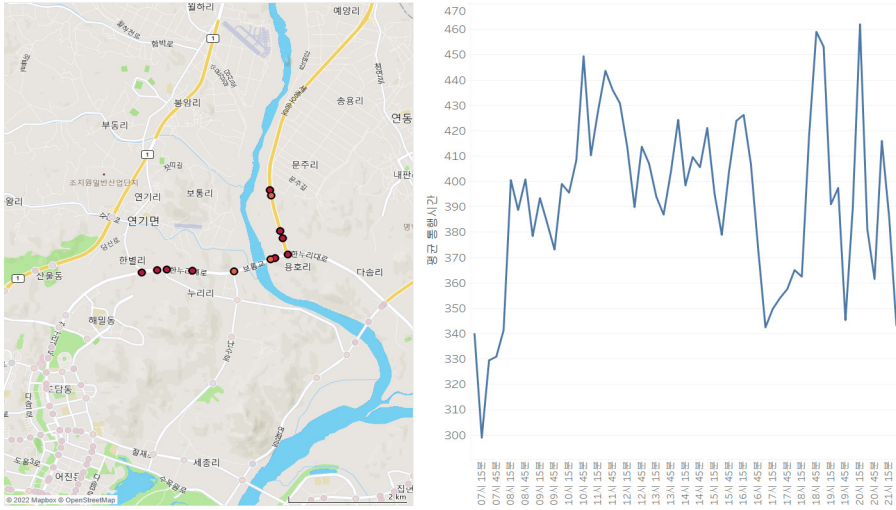
- 작년부터 현재까지 세종시에 집현동 지역에서는 많은 아파트 입주가 이루어졌으며, 아직 충분한 상업시설을 위치하지 않고 있음
 - 향후 대학교와 산업단지 시설이 개발될 예정이며, 아직까지는 교통혼잡이 발생하지 않는 지역임
- [그림 4-16]은 집현동 지역의 통행시간 분포를 보여줌
 - 오전·오후 첨두시간이 존재하지 않으며, 오히려 비첨두때의 통행시간이 높게 분석됨
 - 하지만 첨두와 비첨두의 통행시간 차이가 크지 않음을 감안한다면, 집현동 지역의 통행시간은 교통량 영향보다는 신호교차로의 영향이라고 분석됨



[그림 4-16] 세종시 집현동 통행시간 분포

□ 개발 예정 지구 및 세종오송로

- 현재 세종시 6 생활권 개발을 시작하고 있으며, 내년부터 아파트 입주 예정 지역으로서 한누리대로 북측와 세종오송로를 포함하고 있음
 - 한누리대로 북측와 세종오송로는 세종과 오송역, 조치원, 그리고 청주를 연결하는 중심 도로임
- 통행시간 분석 결과, 첨두시간에 대한 교통혼잡이 발생하지 않으며, 집현동 지역과 같이 통행시간 패턴이 나타나지 않음
 - 비록 비첨두 시간에 통행시간이 감소 (약 60초) 되는 것으로 분석되었으나, 이는 샘플데이터의 부족 및 교통 신호의 영향으로 설명됨
 - 향후 대규모 아파트 입주가 예정되어있는 만큼 지속적인 모니터링이 필요함



[그림 4-17] 세종시 개발 예정 지구 및 세종오송로 통행시간 분포

3. 통행시간에 따른 교통량 분석

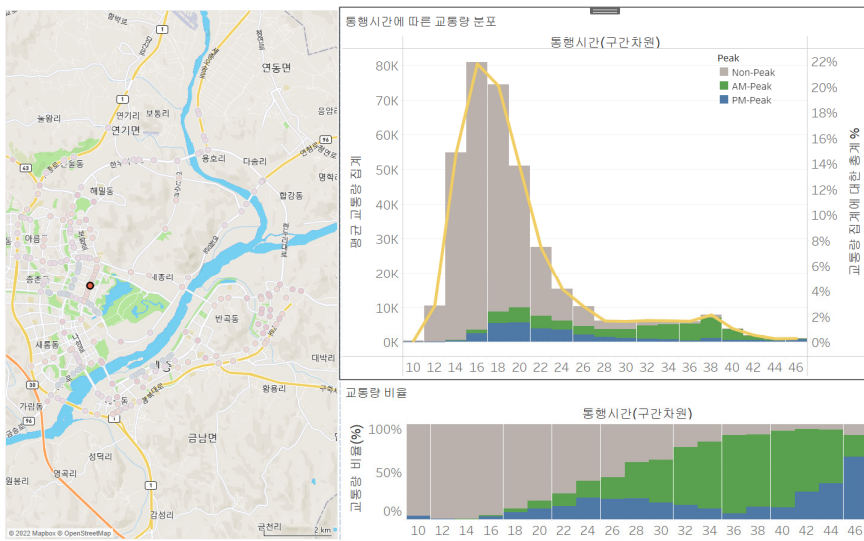
□ 통행시간에 따른 교통량 분포

- 통행시간 신뢰성 분석을 위해서는 통행시간별 교통량 분포가 중요하며, 이를 통하여, Buffer Index (BI), 계획 시간 지수 (Planning time index, PI), Misery Index (MI) 등의 신뢰성 지표 산출이 가능
 - 문헌 고찰에 의하면, BI는 평균 통행시간보다 추가되는 Buffer 시간 비율을 의미하며, PI는 Buffer 시간을 포함될때의 계획시간을 의미함, 그리고 MI는 정체 통행시간의 평균과 평균시간과의 비율을 의미
 - 특히 극심한 혼잡 또는 교통사고와 같은 이벤트 발생시, 평균 통행시간을 초과한 통행시간이 자주 발생하며, 이를 통행시간별 교통량 빈도 분포로 표현시, 긴꼬리 (Long Tail) 현상이 나타남

□ 양지중 사거리 - 푸르지오시티앞 사거리 교통량 분포

○ [양지중 사거리 - 푸르지오시티앞 사거리]는 세종시 중심부에 위치한 구간으로서, 통행속도 분포에서 나타나듯 출퇴근시 극심한 혼잡이 발생하는 구간임

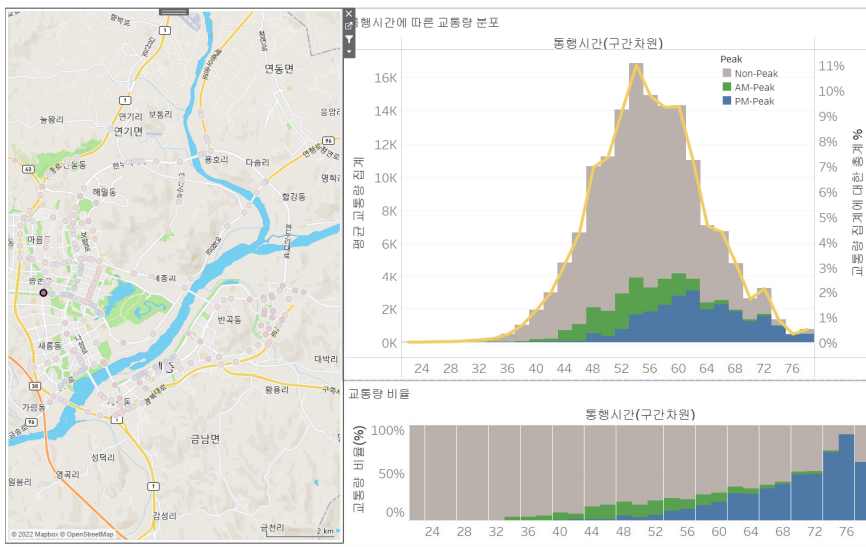
- 통행시간에 대한 교통량 분포 분석히, 대부분 통행이 통행시간 14초 분에서 20분 사이에서 이루어지며 전체 통행의 70%가 이 구간을 차지함 (14초:15%; 16초:22%; 18초:20%; 20초:14%)
- [그림 4-18] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에서 나타나듯 긴꼬리 분포 형상이 나타나고 있으며, 긴꼬리 부분의 통행은 대부분 오전첨두 교통량으로 분석됨
- 32초를 초과하는 평균통행시간에 대한 교통량 점유시간 분석결과, 대부분 오전·오후 첨두시간때의 교통량으로 분석되었으며, 40초를 초과하는 통행시간의 경우, 오후 첨두시간에 통행하는 교통량이 차지하는 비율이 오전 첨두시간 교통량보다 높음을 알 수 있음



[그림 4-18] 양지중 사거리-푸르지오시티앞 사거리 교통량 분포

□ 세종 엠코 타운 - 가재마을 12단지앞 사거리 교통량 분포

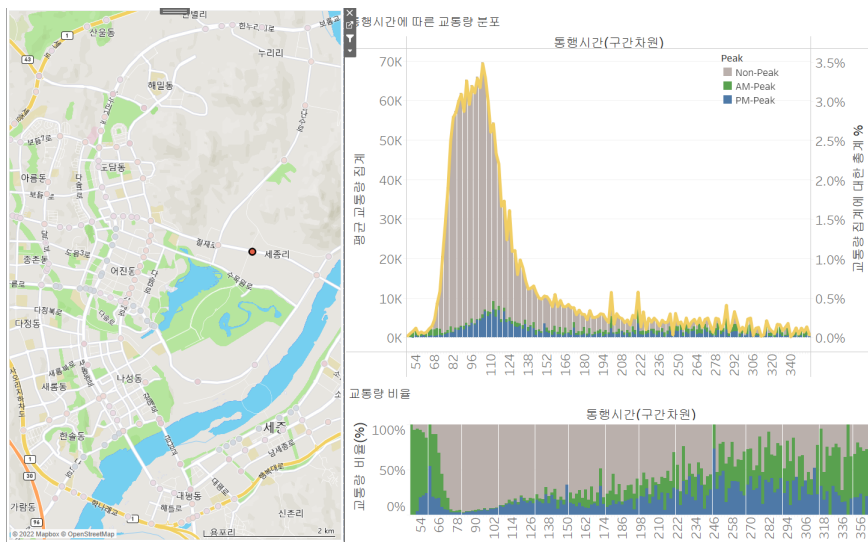
- [세종 엠코 타운-가재마을 12단지앞 사거리]는 1번국도와 정부청사를 연결하는 동서축 도로로서 통행속도 분석 결과, 출·퇴근시 혼잡 발생함
 - [그림 4-19] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에 의하면, 긴 꼬리 분포는 나타나지 않으며, 정규 분포와 비슷한 형상을 보임
 - 그러나, 자유 교통량의 통행시간 (24초에서 32초)보다 대부분의 차량이 높은 통행시간 (평균 52초)으로 통행함
 - 이는 교통량이 없는 자유교통류 상태 일때는 과속 또는 신호 연동으로 인한 통행시간 절감으로 분석되며, 교통량의 증가로 인하여 신호 연동 효과가 떨어지고 이로 인하여 통행시간이 증가되는 것으로 분석됨
 - 첨두시간에 따른 교통량 비율 분석시, 오전 첨두시간때의 교통량보다 오후 첨두시의 교통량으로 인한 혼잡이 더 발생하며, 특히 오후 첨두 시간에는 통행시간이 76초까지 나타나는 것으로 분석됨



[그림 4-19] 세종 엠코 타운-가재마을 12단지앞 사거리 교통량 분포

□ 도움 8로 교차로 - 햇무리교 교통량 분포

- [도움 8로 교차로 - 햇무리교]는 대전, 소담동, 집현동, 반곡동에서 정 부청사로 통행하는 길목이며, 또한 반곡동에는 국책연구단지가 위치하 고 있음
 - [그림 4-20] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에 의하면, 긴 꼬리 분포가 심하게 나타나고 있으며, 자유교통류일때의 통행시간 54 초보다 약 5배가 증가된 약 300초의 통행시간을 보임
 - 데이터에서 보듯이 출퇴근시 극심한 혼잡이 발생하며 교통경찰에 의 한 수동 신호 조정 구간임
 - 이 구간의 경우, 수동 신호 조정 구간임에도 불구하고 극심한 혼잡이 발생한 구간으로서 긴꼬리 통행시간을 분산시키기 위해서, 대안 도로 발굴 및 용량증가와 같은 교통시설 확충이 필요함
 - 긴꼬리가 현상의 가중으로 통행시간 신뢰성도 다른 구간에 비해서 낮 을 것으로 예상됨

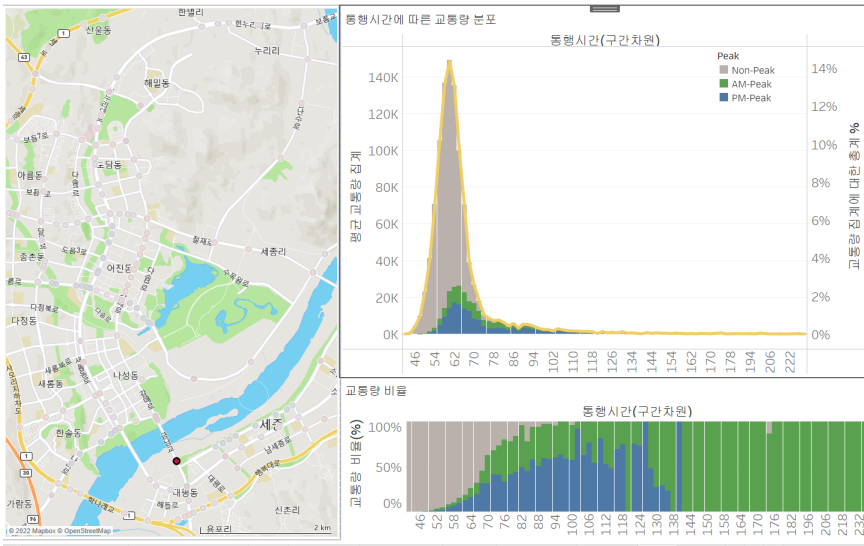


[그림 4-20] 도움 8로 교차로 - 햇무리교 교통량 분포

□ 고속버스터미널앞 사거리 - 금남교 앞 교통량 분포

○ [고속버스터미널앞 사거리-금남교 앞]는 대전 및 대평동, 소담동에서 정부청사로 통행하는 길목이며, 나성동(중심 상업지구)과 연결하는 중심 도로임

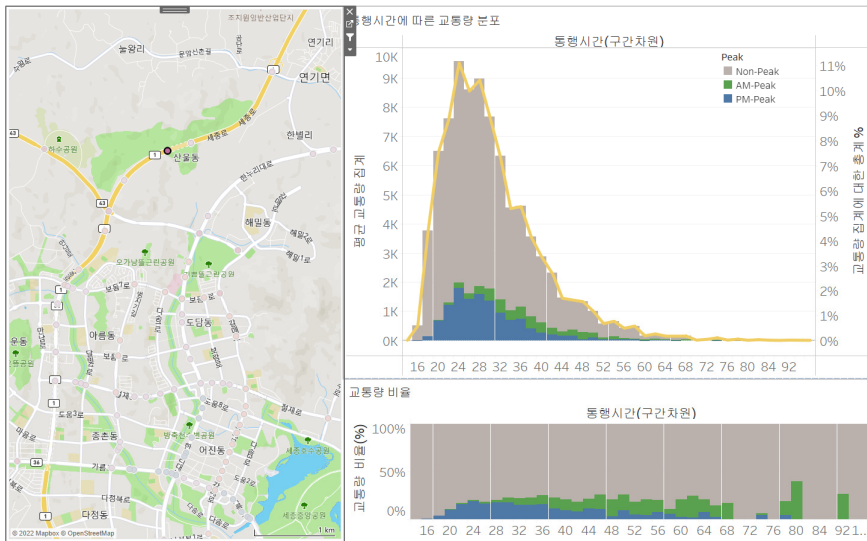
- [그림 4-21] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에 의하면, 비록 적은 교통량이지만 긴꼬리 분포가 심하게 나타나고 있으며, 평균 통행시간인 55초 보다 교통정체시 100초에서 200초까지 나타남
- 특히 82초 이후의 통행시간에는 첨두시간에 통행하는 교통량이 절대적인 비율을 차지함
- 이는 출·퇴근시의 교통 신호 연동에 조정이 필요한 구간으로 볼 수 있으며, 향후 세종시 KTX 신설이 될 경우, 중요한 도로임으로 지속적인 모니터링이 필요한 구간임



[그림 4-21] 고속버스터미널앞 사거리-금남교 앞 교통량 분포

□ 모개고가 차도 - 연기 삼거리 교통량 분포 (1번 국도 북측 지역)

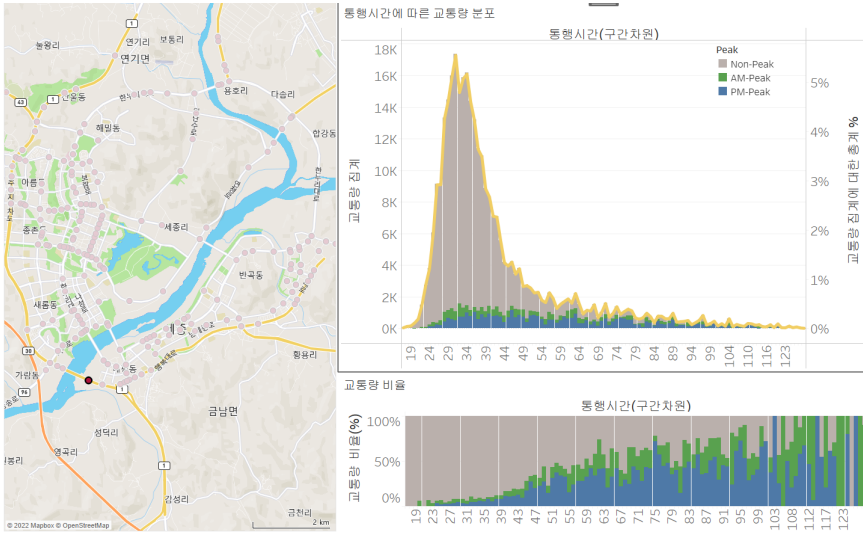
- [모개고가 차도-연기 삼거리]는 세종 행정중심복합도시와 조치원을 연결하는 1번 국도로서 행정중심복합도시내의 다른 도로 구간과 비교했을 때 상대적으로 교통량이 많지 않은 구간임
- [그림 4-22] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에 의하면, 약 90%의 교통량이 16초에서 26초 사이의 통행시간으로 구간을 통과하고 있으며, 침두시간에 차지하는 교통량의 비율도 다른 도로에 비해서 크지 않음



[그림 4-22] 모개고가 차도-연기 삼거리 교통량 분포

□ 송원 교차로 - 학나래교 동측 교통량 분포

- [송원 교차로 - 학나래교 동측]은 세종 행정중심복합도시와 대전시를 연결하는 1번 국도로서 세종에서 대전으로 그리고 대전에서 세종으로 출·퇴근 교통량이 많으며, 서산영덕 고속도로와 연결되는 연속류 도로임에도 불구하고 교통정체가 발생함
- [그림 4-22] 우측 상단의 통행시간에 따른 교통량 분포에 의하면, 비록 많은 교통량은 아니지만 긴꼬리 분포를 형성하고 있으며, 긴꼬리 교통량의 대부분이 오전과 오후 침두 시간에 발생함



[그림 4-23] 송원 교차로 - 학나래교 동측 교통량 분포

4. 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI) 분석 결과

□ 통행시간 지수 계산

- 통행시간 지수 (TTI)는 첨두시간의 평균 통행시간을 자유교통류 상의 통행시간으로 나눈 값으로서 첨두시 이동에 소요되는 평균 추가시간을 의미함

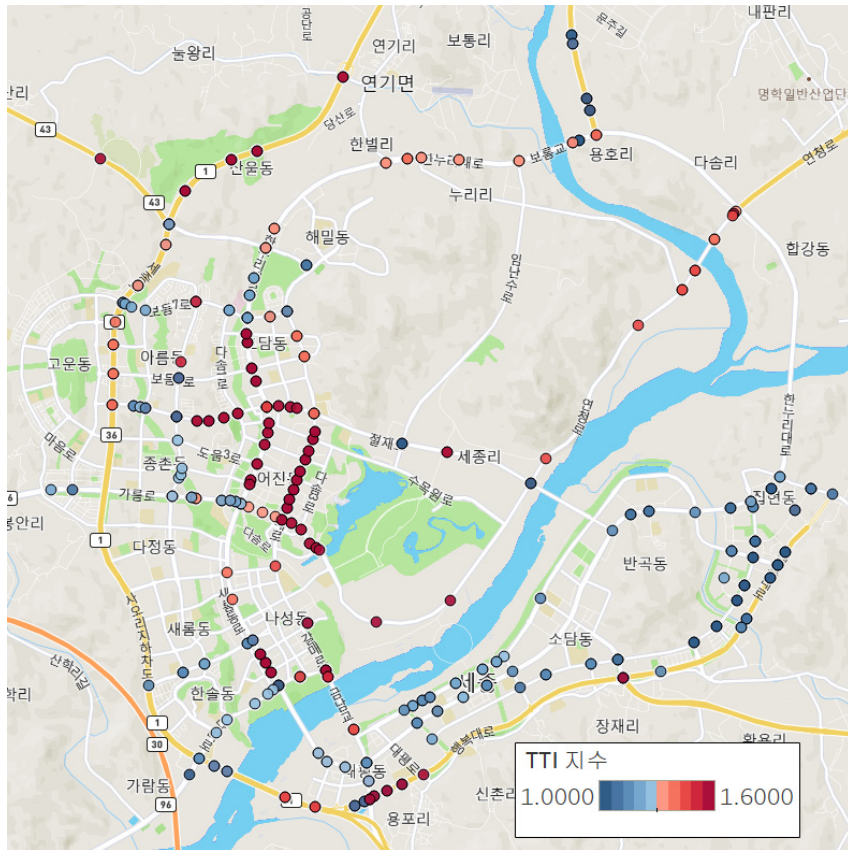
$$\text{통행시간 지수 (TTI)} = \frac{\text{첨두시 통행시간}}{\text{자유교통류상의 통행시간}}$$

- 예를 들어 첨두시 평균 통행시간이 10분이고 자유교통류상의 통행시간 4분이라고 가정하면, TTI 지수는 2.5로 산출됨
- 이 값은 혼잡하지 않은 상태보다 150% 더 오래 걸린다는 것을 의미함
- TTI 값은 장점은 계산이 쉬우며, 시간별, 요일별, 월별등 다양한 기간에 적용 할 수 있음

- 또한 교통량 데이터가 필요하지 않으며, 다른 제한속도를 갖는 구간별 비교시 용이하다는 장점이 있음

□ **통행시간 지수**

- [그림 4-24]는 세종시 TTI 지수를 나타낸 지도로서, 빨간색이 짙을수록 첨두시간의 통행시간이 자유교통류상의 통행시간보다 높음을 의미함
- 최대 TTI 값은 2.6이며, 지도에서의 짙은 빨간색지점은 1.6 이상되는 지점을 의미함



[그림 4-24] 세종시 TTI 지수

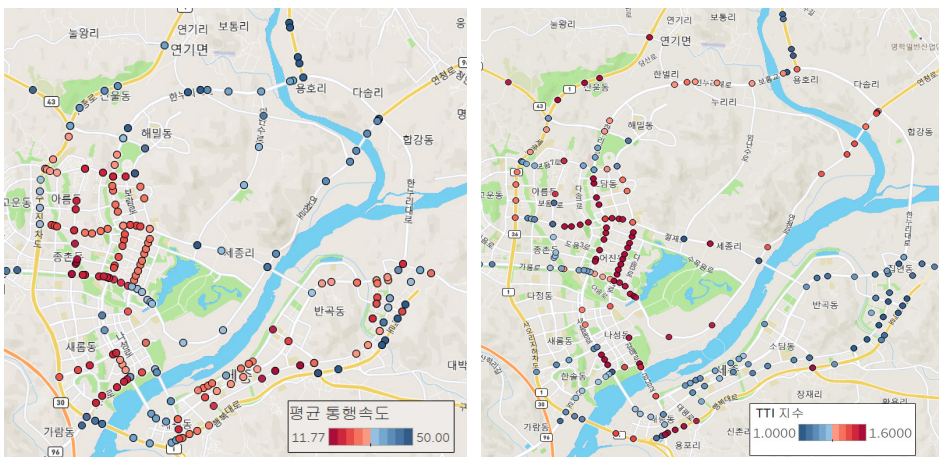
- 정부청사가 위치한 세종시 중심부 (도움 3로, 한누리대로)의 첨두시간 평균통행시간이 자유교통류상의 통행시간보다 상대적으로 높은값을 나타내고 있으며 대전시와 연결되는 행복대로의 첨두시간 통행시간도 높은 값을 나타냄
 - 또한 나성동 주변, 한누리대로 북측, 조치원과 연결되는 1번 국도 북측도 높은 값을 나타냄
 - 반면에 금강 남쪽인 대평동, 소담동, 반곡동, 집현동 지역은 첨두시간의 통행시간이 비첨두시간의 통행시간보다 높지 않은 것으로 분석됨
- 분석된 데이터는 DSRC가 부착된 샘플데이터로서 데이터의 오류가 있을수 있으며, 지점마다 수집되는 샘플량이 적을수 있는 관계로, 정확한 값을 산출하기에는 한계가 존재함
- [표 4-5]는 TTI 지수 값이 높은 상위 구간을 정리한 표로서, 한누리대로, 지방도 96호선, 정안세종로, 갈매로등에서 높은 값이 산출됨
 - 단속류 구간의 경우, 신호 교차로의 영향이 가장 크게 나타나며, 첨두시간의 신호 연동값 조정이 필요한 것으로 분석됨
 - 연속류 구간의 경우, 비첨두시간의 통행속도가 높은 관계로, 용량 증대와 같은 교통 시설물의 투자가 필요함

[표 4-5] 세종시 구간별 TTI 지수

구간	TTI 지수
한누리대로(도램마을9단지앞사거리 ~ 성남고사거리)	2.42
지방도96호선(학나래교동측 ~ 대평지하차도)	2.28
정안세종로(수산IC교 북서 ~ 모개고가차도)	2.20
갈매로(양지중사거리 ~ 푸르지오시티앞사거리)	2.02
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	2.01
지방도96호선(대평중앙 ~ 대평지하차도)	1.86
절재로(가재마을12단지앞사거리 ~ 도램마을9단지앞사거리)	1.74
지방도96호선(금남교앞 ~ 당암삼거리)	1.72
세종1로(대평지하차도 ~ 고속시외버스터미널앞사거리)	1.66
한누리대로(도램마을9단지앞사거리 ~ 양지초교사거리)	1.64
한누리대로(양지초교사거리 ~ 도램마을9단지앞사거리)	1.61
한누리대로(한누리대교북측교차로 ~ 국세청앞사거리)	1.60
지방도96호선(푸르지오시티앞사거리 ~ 행정복합도시홍보관)	1.60
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	1.59
세종로(모개고가차도 ~ 연기삼거리)	1.58
세종로(연기삼거리 ~ 모개고가차도)	1.55
한누리대로(국세청앞사거리 ~ 한누리대교북측교차로)	1.55
절재로(도램마을9단지앞사거리 ~ 양지중사거리)	1.55
지방도96호선(행정복합도시홍보관 ~ 갈대습지앞)	1.54
절재로(도움8로교차로1 ~ 햇무리교북단)	1.51
일반국도1호선(학나래교동측 ~ 송원교차로)	1.51
달빛로(푸르지오10단지앞사거리 ~ 가재마을12단지앞사거리)	1.51
절재로(도램마을9단지앞사거리 ~ 가재마을12단지앞사거리)	1.48
갈매로(금남교앞 ~ 고속시외버스터미널앞사거리)	1.48
집현중앙로(집현리1074 ~ 집현리790-5)	1.48
지방도96호선(금남교앞 ~ 한누리대교북측교차로)	1.46
지방도96호선(월산교차로 ~ 갈대습지앞)	1.45
절재로(주추교차로 ~ 가재마을12단지앞사거리)	1.44
지방도96호선(융합삼거리 ~ 월산교차로)	1.44
한누리대로(성남고사거리 ~ 도램마을9단지앞사거리)	1.43
지방도96호선(갈대습지앞 ~ 월산교차로)	1.43

□ 통행속도 VS TTI 지수

- [그림 4-25]는 통행속도와 TTI 지수값을 비교한 지도로서, 지점 색깔 비교를 통하여 침두시간에 정체가 발생하는 지점 파악이 가능함
 - 통행속도의 경우, 제한 통행속도로 인하여 상대적인 비교가 어려운 반면에 TTI 지수의 경우, 제한속도를 고려한 값으로서, 침두시간의 정체를 설명함
 - 금강남쪽의 대평동, 소담동, 반곡동, 집현동의 경우, 통행속도 값이 낮았으나, TTI 지수값에 의하면 침두시간에 정체가 일어나지 않음을 알 수 있음
 - 이는 교통 시설물 (방지턱, 원형교차로등)과 학교와 같은 낮은 제한속도의 영향으로 인한 속도가 낮음을 알 수 있음
 - 종촌동 지역도 평균통행속도가 낮으나, 침두시간 통행시간은 비침두의 통행시간 차이는 없는 것으로 분석됨
 - 오송역과 청주로 연결되는 한누리대로 북측과 지방도 96호선의 경우, 통행속도가 높으나, 침두시간에 정체가 발생하는 것으로 분석됨
 - 이는 연속류 도로로서 높은 제한 속도값이 높음을 의미함



[그림 4-25] 세종시 통행속도 지도(좌), TTI 지수 지도 (우)

제3절 통행시간과 강수량 데이터 분석

1. 통행시간과 강수량 데이터와 상관성

□ 통행과 강수량 상관성 분석 필요

- 교통혼잡은 교통량의 증가, 교통사고와 같은 돌발상황뿐만 아니라 기상 변화, 특히 강수 발생으로 인해서도 영향을 받음
 - 강수 중에서도 강우는 도로 노면 마찰력이나 운전자의 시야에 영향을 주며, 소극적인 차량주행이 발생되고 이로 인하여 차량의 통행속도가 감소되는 경향이 있음
 - 연 강수량의 증가추세는 결과적으로 강수발생으로 인한 다양한 영향 인자의 증가로 추론될 수 있기에 강수발생과 교통상황과의 상관관계 분석이 필요함

□ 전국 강수량 및 세종시 강수량 검토

- 1973년부터 2021년까지의 국내 지점별 연강수량 변화율 분포를 보면 서울·경기, 강원 북부, 충청 내륙과 경북 북부, 경남 남해안, 서귀포를 중심으로 연강수량 증가율이 높았음
 - 지점별 연강수량 변화율을 보면, 남해 77.13(mm/10yr), 부산 55.18(mm/10yr), 구미 48.09(mm/10yr) 순으로 높았고, 강화 -21.69(mm/10yr), 보령 -14.06(mm/10yr), 해남 -8.41(mm/10yr) 순으로 가장 낮음
- 세종시의 경우 주요 기상계측이 2020년부터 시행된 바 있으며 인근 주요도시 (금산, 청주, 그리고 보은)의 변화추이를 비교한 결과, 약 +4-5mm/hr의 값으로 증가추세임
 - 세종시 강수패턴을 파악하고 강수발생 유무뿐만아니라 강우발생량을 적절한 기준으로 분류하여 통행시간과의 상관관계 분석이 필요함

□ 강우 영향으로 인한 통행속도 절감

- 도로용량편람(2013)에서는 강우일 수는 1년의 약 1/3이며, 최근 국지성 호우와 같은 이상기후 등의 잦은 발생으로 인해 도로의 용량이 감소 된다고 기술함
 - 강우 수준에 따라 고속도로 기본구간의 설계속도별로 임계교통량 감소율을 제시함
 - 강우량이 많고 설계속도가 높을수록 임계교통량은 감소하는 특성을 보임
- 심상우 외 (2009)는 기상요인에 따른 교통량 및 평균속도 변화를 분석 하였으며 교통량은 기상요인에 크게 영향을 받지 않지만, 속도의 경우 강우시 주간에는 9.4%, 야간은 28.9% 만큼 감소하는 것으로 나타났음
- 이창 외 (2011)는 강우 발생으로 인한 버스 서비스에 미치는 영향에 대하여 분석함
 - 분석자료는 서울시의 2006년 버스 데이터 자료와 26개의 자동 기상 관측장비의 강우량 자료를 활용하여 분석을 시행하였으며 비침두시의 경우 큰 영향은 없었지만, 오전 침두시에 강우량이 30mm/h 이상이면 간선버스의 정시성이 100% 감소하였고 속도는 6 km/h 감소하는 것으로 분석됨
- 정은비(2013) 등은 강우량에 따른 속도감소 패턴, 속도 감소량 산출결과를 분석하여 강우 수준을 분류하는 기준을 제시함
 - 강우량에 따른 차량속도 감소량 추정식을 개발하였으며, 추정식을 바탕으로 강우량 기준을 약한비(0~0.4mm/5min), 중간비(0.4~0.8 mm/5min), 강한비(0.8mm/5min 이상)로 구분함
- 김영선(2013)은 강우 시 고속도로의 용량산정 분석 및 강우 보정계수를 제시함
 - 고속도로의 설계속도별로 강우 수준별 용량을 산정하였으며, 설계속도가 높고 강우량이 많을수록 용량은 낮아지는 것으로 분석됨
 - 특히 설계속도 120km/h에서는 용량이 최고 34.4%까지 감소하는 것으로 분석됨.

□ 강수 단계 구분 기준

- 기존 연구에서는 주로 고속도로 지역의 연구가 주를 이루었으며 고속도로를 제외한, 특히 일반국도에서 기상에 따른 속도 변화 연구는 전무한 실정임
- 도로용량편람에서도 기상조건(강우, 강설)에 따른 교통량, 속도 기준을 제시하고 있으나 고속도로 기본구간에 한정하여 기준을 제시하고 있으며, 일반국도에 대한 교통량, 속도 기준은 미흡한 실정임
- 김태운과 오주삼(2015)은 차량 속도-교통량 그래프를 활용하여 강우시 속도 감소 모형을 추정하고 통계 검증을 수행하였으며 기존 강수 관련 분류기준을 고찰하고 적절한 기준을 제시한 바 있음
- [표 4-6]은 강수량에 따른 단계구분이며, 본 연구에서는 도로용량편람을 참조하여 총 3단계의 수준으로 강수발생 양상을 분류하여 분석함
 - 비강우: 강수량 0; 강우(양호): 강수량 0-5; 강우(주의): 10이상

[표 4-6] 기존연구에서 제안된 강우 수준 구분

강우수준	김태운과 오주삼 (2015)	도로용량편람 (2013)	김영선 (2013)	정은비 등 (2013)
0단계	0	0	0	0
1단계	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 4.8
2단계	5 ~15	5 ~ 10	5 ~ 10	4.8 ~ 9.6
3단계	15 이상	10 이상	10 ~ 20	9.6 이상
4단계	-	-	20 이상	-

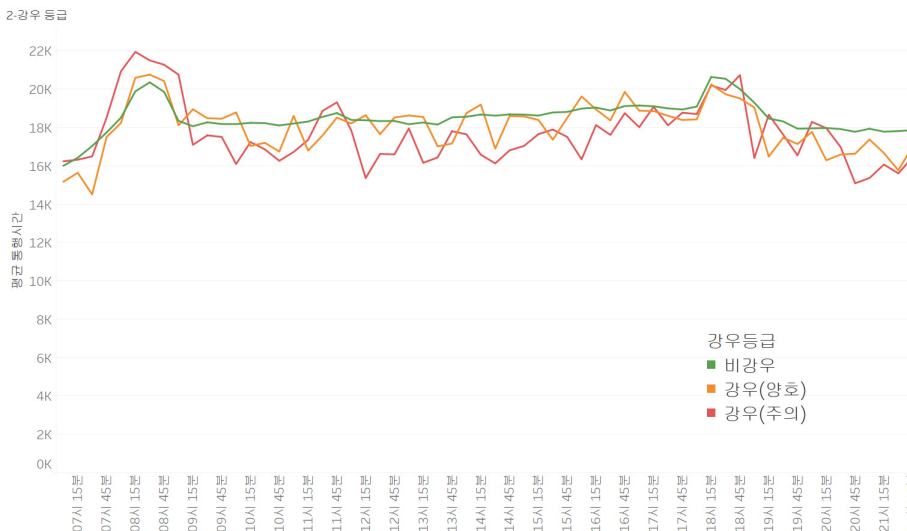
자료: 김태운, 오주삼 (2005), 강우 강도에 따른 일반국도 지방부 도로의 교통량 변동 특성, <한국콘텐츠학회 논문지>, Vol. 15, No. 3, 406~414

2. 통행시간과 강우량 데이터와 상관성 분석 결과

□ 세종시 전체 지점에 대한 비교

○ [그림 4-26]은 세종시 분석 지점에 대한 평균 통행시간의 합을 시간대별 분포로 나타냄

- 비록 강우 등급을 3단계 구간으로 구분하였지만, 뚜렷한 차이를 보이지 않고 있음
- 첨두시간에 강우(주의)가 약간 높은 통행시간이지만, 비첨두 시간에는 오히려 비강우일때의 통행시간이 높게 나타남
- 그러나, 강우에 따른 통행시간의 차이가 10% 미만인 관계로 이는 보통 지점 통행시간이 30초 일경우 3초 차이를 의미하며 차이가 없다고 봐도 무방한 수준임
- 현재 분석된 지점은 세종시 모든 지점으로서 데이터의 오류가 있는 지점이 포함될 가능성이 있음



[그림 4-26] 세종시 모든 지점에 대한 시간대별 평균 통행시간의 합

□ 세종시 강우 영향 지점

- [그림4-27]은 분석 지점중 가장 강우에 영향을 받는 지점을 요약한 그림이며, [표 4-7]는 침두시간과 비침두시간에 대한 비강우랑 비교했을 때의 통행시간 차이를 보여줌
 - [표 4-7]에서 갈매로(고속시외버스터미널앞 사거리~금남교앞) 구간에서 0.72가 의미하는 것은 비침두시간에 강우등급이 양호일 때, 비강우와 비교 했을 때 평균 통행시간이 0.72초 증가함을 의미함
 - 강우에 의해서 가장 영향을 받은 지점은 구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계) 지역으로서 오전 침두시간에 통행시간의 차이는 140초 까지 발생하며, 오후 침두시간에는 16초 그리고 비침두 시간에는 22 초의 정체가 발생함
 - 시청대로(반곡동 67-1~4-1생활권(한누리대로)), 지방도604호선(문주1 교북측~예양교차로동편), 한누리대로(도시통합정보센터 앞 사거리~성남교사거리)의 구간도 대체적으로 강우에 영향을 많이 받는 지점으로 분석됨



[그림 4-27] 세종시 강우에 의한 통행시간 영향 지점

[표 4-7] 강수량 등급에 따른 침투시간별 통행시간 차이

구간	비침투		오전 침투		오후 침투	
	양호	주의	양호	주의	양호	주의
갈매로(고속시외버스터미널앞 사거리 ~ 금남교앞)	0.72	1.20	8.96	12.38	4.74	6.73
갈매로(양지중사거리 ~ 갈매로교차로1)	1.74	2.38	0.62	6.72	1.94	6.38
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	-0.03	-0.01	2.58	5.12	0.28	3.93
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	-6.51	21.82	12.18	140.74	5.88	16.61
보듬7로(양지초교사거리 ~ 푸르지오10단지앞사거리)	-0.07	0.30	2.22	4.65	0.12	10.94
시청대로(반곡동 67-1 ~ 4-1생활권(한누리대로))	-2.75	2.35	19.52	23.84	1.31	5.74
어울로(국세청앞사거리 ~ 첫마을4단지앞교차로)	0.62	0.19	0.95	1.27	0.25	1.69
절재로(가재마을12단지앞사거리 ~ 주추교차로)	-0.10	0.59	0.32	0.75	0.93	2.18
지방도604호선(문주1교북측 ~ 예양교차로동편)	13.13	36.91	19.01	53.42	14.31	21.02
지방도96호선(당암삼거리 ~ 금남교앞)	2.28	4.32	4.62	5.21	2.94	4.18
지방도96호선(세종엠코타운 ~ 성남고사거리)	0.90	1.53	1.23	3.32	0.62	3.58
한누리대로(금사교고가차도 ~ 연기3리교차로)	-0.26	0.75	0.49	6.68	0.06	0.19
한누리대로(도시통합정보센터 앞사거리 ~ 국세청앞사거리)	0.40	1.61	1.95	11.20	0.51	1.66
한누리대로(도시통합정보센터 앞사거리 ~ 성남고사거리)	1.20	2.61	12.30	20.46	0.12	7.16
한누리대로(성남고사거리 ~ 도렘마을9단지앞사거리)	0.55	0.60	0.38	1.37	0.53	1.03

제4절 통행시간 신뢰성 분석

1. 통행시간 신뢰성 계산

□ Buffer Index (BI)

- 통행자가 계획된 시간에 도착할 수 있는 추가적인 시간 (Buffer Time) 과 평균 통행시간과의 차이에 대한 비율을 의미함
 - 100번의 통행에서 통행시간을 짧은 순서대로 정렬했을 경우 95번째의 통행시간 값과 평균 통행시간 값을 비교했을 때, 95번째의 통행시간 값이 평균 통행시간 값보다 얼마만큼 초과되는지를 비율로 나타낸 지표임
 - 만약 BI 값이 0.2일 경우, 평균통행시간 보다 20% 높은값이 Buffer 시간 값이됨

$$BI(\%) = \frac{t_{95}^i - \bar{t}^i}{\bar{t}^i}$$

t_{95}^i : i 지점을 통과하는 교통량중 95%로 통과하는 차량의 통행시간

\bar{t}^i : i 지점의 평균 통행시간

□ 계획 시간 지수 (Planning Time Index, PI)

- 계획 시간 지수는 Buffer 시간과 자유교통류 상태의 통행시간의 비율로 계산됨
 - BI와 PI의 차이점은 BI는 평균 통행시간 추가해야 하는 추가 지연 시간을 나타내고 PI는 총 이동 시간(평균 통행 시간 + 버퍼 시간)을 나타냄
 - 주어진 기간 동안 PI 값이 3.0이면 통행자는 100번의 통행중 95번을

정시에 목적지에 도달하기 위해 자유교통류 상태의 통행시간보다 세 배 초과시간을 추가해야 됨

- PI 지수는 통행시간 지수 (TTI) 지수와 직접 비교할 수 있기 때문에 유용하게 사용됨

$$PI(\%) = \frac{t_{95}^i}{t_f^i}$$

t_{95}^i : i 지점을 통과하는 교통량 중 95%로 통과하는 차량의 통행시간

t_f^i : 자유 교통류 상태일 때의 i 지점의 통행시간

□ Misery Index (MI)

- MI는 평균 통행시간에 대한 초과 통행시간의 비율을 의미하며, 정체 통행시간에 대한 평균이 전체 평균 통행시간보다 얼마나 더 걸리는지를 측정하는 지수임
 - 만약 정체시간을 100번의 통행중 20번이라고 가정하면, 통행시간이 짧은 순서대로 정렬한 후 80번째 통행시간부터 100번째의 통행시간의 평균과 전체 평균 통행시간의 비율을 의미함
 - 통행시간 분포에서 긴꼬리 현상이 나타날수록 MI 값은 높게 나타나며, 일반적인 교통정체보다 교통사고와 같은 이벤트 발생시 높은 값이 나타남

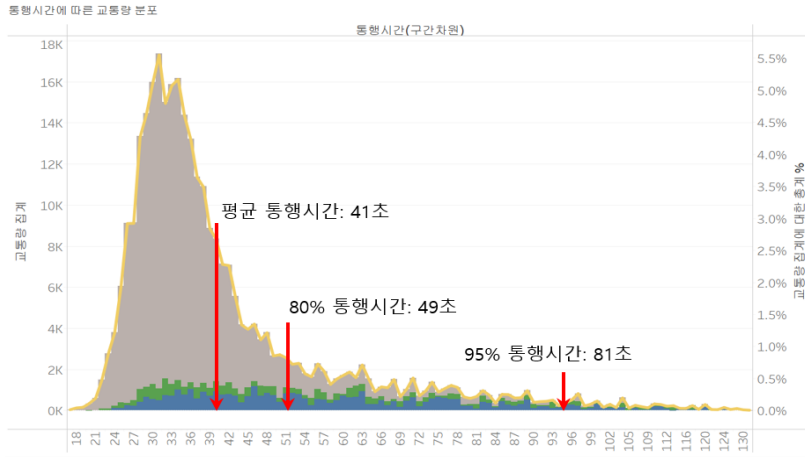
$$MI(\%) = \frac{\bar{t}_{20}^i - \bar{t}^i}{\bar{t}^i}$$

\bar{t}_{20}^i : i 지점을 통과하는 교통량 중 통행시간이 오래 걸린 20% 차량의 평균 통행시간

\bar{t}^i : i 지점의 평균 통행시간

□ **통행시간 신뢰성 계산 예시**

○ [그림 4-28]는 1번 국도의 송원교차로-하나래동측 지점의 통행시간 분포를 보여줌



[그림 4-28] 송원교차로-하나래 동측 지점의 통행시간 분포

- 1년 동안 (주말 및 공휴일 제외) 총 313,007 교통량이 검지 되었으며 평균 통행시간은 41초임
- 313,007 교통량에 대해서, 통행시간이 짧은 순서대로 정렬했을 경우, 교통량 95%에 해당하는 통행시간은 81초임
- 자유교통류 상태일때의 통행시간은 18초임
- 313,007 교통량에 대해서, 통행시간이 짧은 순서대로 정렬했을 경우, 교통량 80%에 해당하는 통행시간은 49초이며 80%부터 100%까지의 평균 통행시간은 70초임
- 위의 통행시간 신뢰성 계산식을 이용한 통행시간 신뢰성 지표값은 다음과 같음

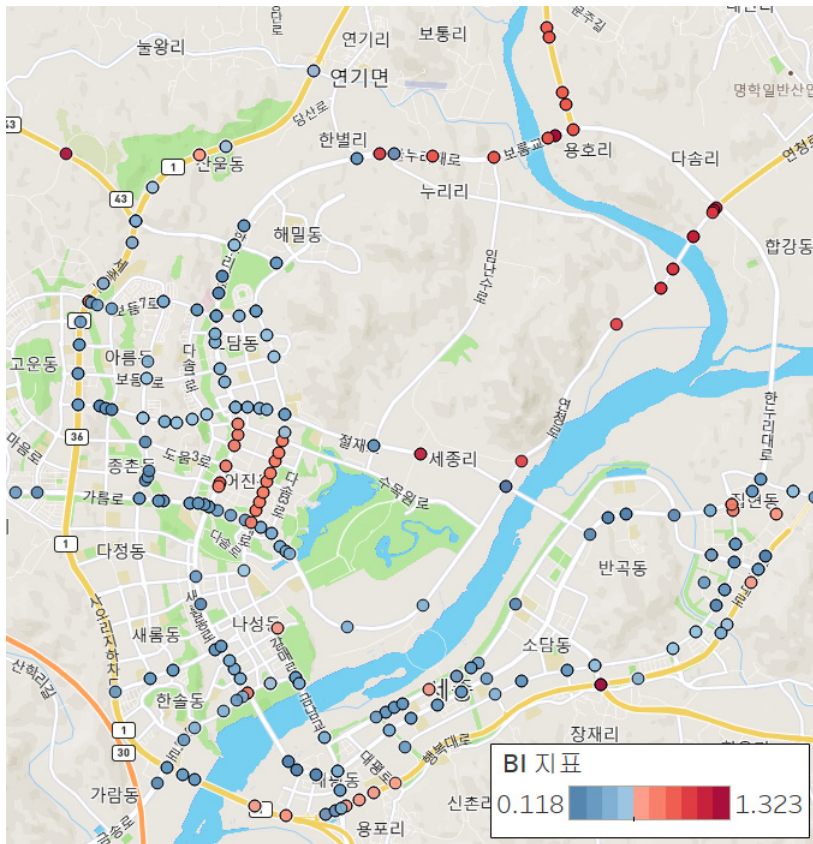
$$BI(\%) = \frac{81 - 41}{41} = 1.05 ; PI = \frac{81}{18} = 4.5 ; MI(\%) = \frac{70 - 41}{41} = 0.7$$

2. Buffer Index (BI) 지수 분석 결과

□ Buffer Index (BI)

○ [그림 4-29]는 계산된 BI 지수값을 보여줌

- 가장 BI 지표값이 높은 곳은 오송역을 연결하는 한누리대로 북측과 청주지역을 통행하는 언청로, 그리고 고속도로와 연결되는 정안세종로, 대전지역을 연결하는 행복대로로 분석됨
- 세종시 중심부인 한누리대로와 도움 3로도 높은값을 가짐



[그림 4-29] 세종시 BI 지표 분포

○ [표 4-8]은 BI 지수가 높은 구간을 보여줌

[표 4-8] 세종시 구간별 BI 지수

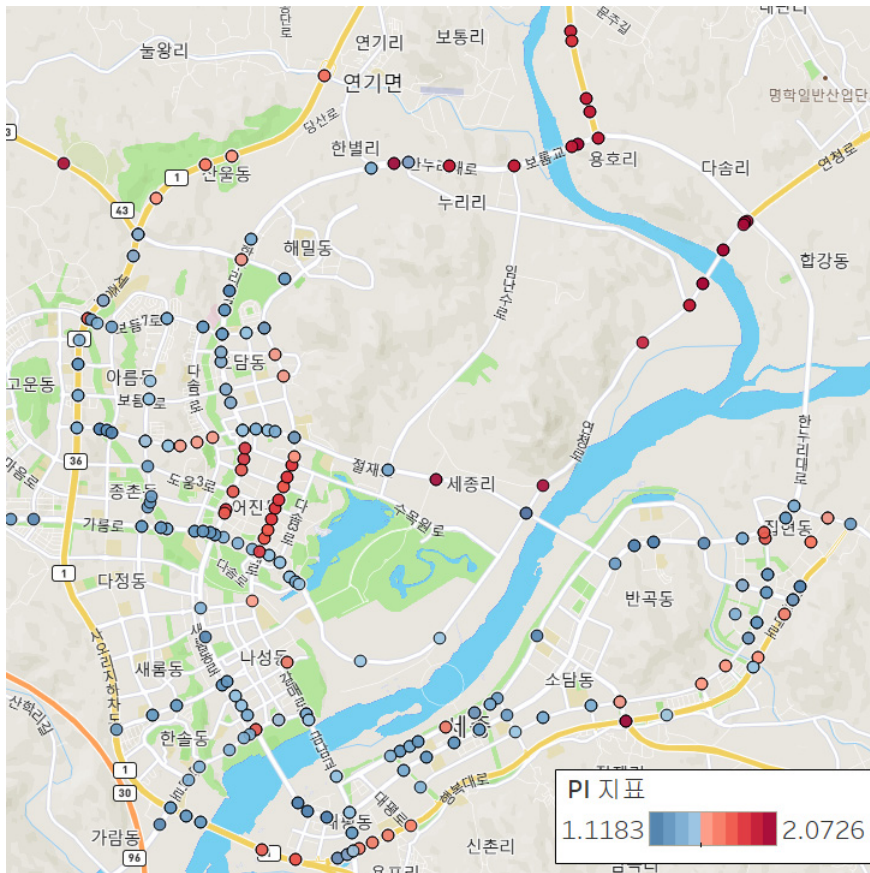
구간	BI 지수
정안세종로(수산IC교 북서 ~ 모개고가차도)	2.15
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	1.42
한누리대로(연기3리교차로 ~ 보름교동측)	1.27
지방도96호선(월산교차로 ~ 용합삼거리)	1.22
한누리대로(보름교동측 ~ 연기3리교차로)	1.14
일반국도1호선(연기삼거리 ~ 연기사거리)	1.11
지방도96호선(용합삼거리 ~ 월산교차로)	1.11
지방도96호선(월산교차로 ~ 갈대습지앞)	0.98
세종오송로(보름교동측 ~ 문주1교북측)	0.97
지방도96호선(하나래교동측 ~ 대평지하차도)	0.96
세종오송로(문주1교북측 ~ 보름교동측)	0.91
지방도96호선(갈대습지앞 ~ 월산교차로)	0.83
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	0.80
집현중앙로(집현리1074 ~ 집현리790-5)	0.79
한누리대로(도렘마을9단지앞사거리 ~ 성남고사거리)	0.79
지방도96호선(한누리대교북측교차로 ~ 금남교앞)	0.76
갈매로(양지중사거리 ~ 푸르지오시티앞사거리)	0.74
일반국도1호선(추수지하차도북측 ~ 모개고가차도)	0.74
남세종로(4-2생활권(한누리대로) ~ 집현리790-5)	0.74
집현서1로(집현리785-94 ~ 집현리883-55)	0.69
지방도96호선(대평중앙 ~ 대평지하차도)	0.68
집현중앙로(집현리790-5 ~ 집현리1074)	0.66
절재로(도움8로교차로1 ~ 햇무리교북단)	0.65
시청대로(반곡동 67-1 ~ 집현리산173)	0.64
행복대로(디딤2교북측 ~ 집현리785-135)	0.64
지방도604호선(문주1교북측 ~ 예양교차로동편)	0.62
세종로(연기삼거리 ~ 모개고가차도)	0.61
세종로(모개고가차도 ~ 연기삼거리)	0.60
행복대로(수자인510동앞 ~ 디딤2교북측)	0.56

3. Planning Time Index (PI) 지수 분석 결과

□ Planning Time Index (PI)

○ [그림 4-30]은 계산된 PI 지수값을 보여줌

- PI 지표값의 분포는 BI 지표값의 분포와 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 이는 95% 통행시간이 같은 값이며, 평균 통행시간과 자유교통류상의 통행시간이 비슷한 패턴을 보이기 때문이라고 분석됨
- 그러나, PI 지표의 경우, BI 지수와 비교했을 때 세종시 중심으로 향하는 동서축 (절재로)의 값이 높게 나타남



[그림 4-30] 세종시 PI 지표 분포

○ [표 4-9]는 PI 지수가 높은 구간을 보여줌

[표 4-9] 세종시 구간별 PI 지수

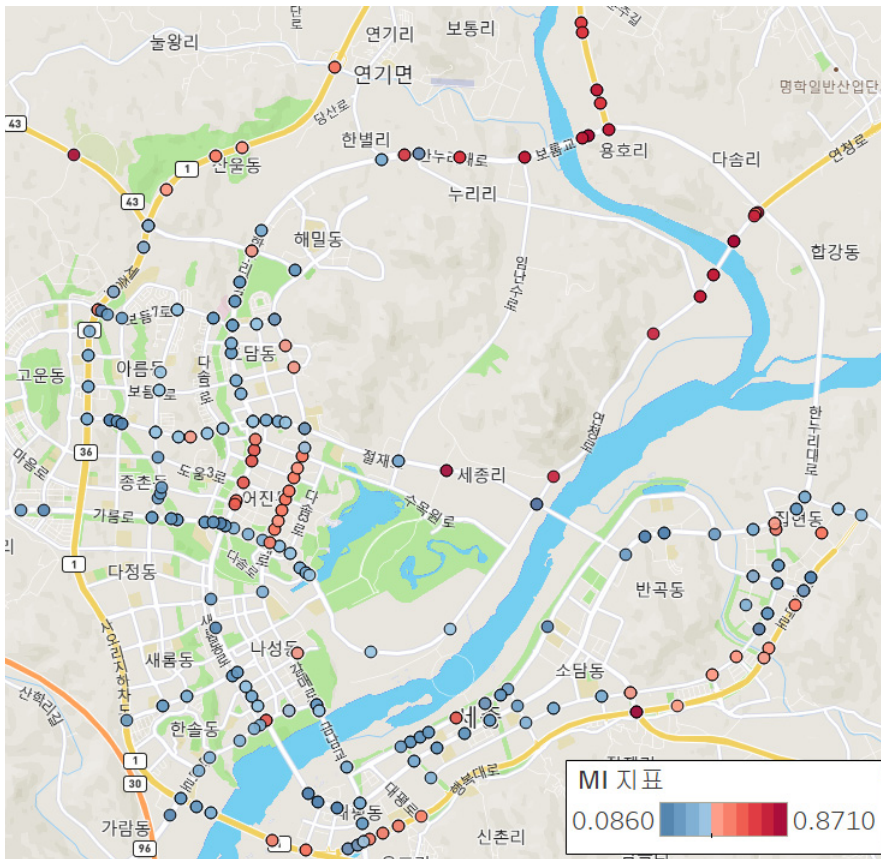
구간	PI 지수
정안세종로(수산IC교 북서 ~ 모개고가차도)	3.15
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	2.42
한누리대로(연기3리교차로 ~ 보름교동측)	2.27
지방도96호선(월산교차로 ~ 용합삼거리)	2.22
한누리대로(보름교동측 ~ 연기3리교차로)	2.14
일반국도1호선(연기삼거리 ~ 연기사거리)	2.11
지방도96호선(용합삼거리 ~ 월산교차로)	2.11
지방도96호선(월산교차로 ~ 갈대습지앞)	1.98
세종오송로(보름교동측 ~ 문주1교북측)	1.97
지방도96호선(하나래교동측 ~ 대평지하차도)	1.96
세종오송로(문주1교북측 ~ 보름교동측)	1.91
지방도96호선(갈대습지앞 ~ 월산교차로)	1.83
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	1.80
집현중앙로(집현리1074 ~ 집현리790-5)	1.79
한누리대로(도렘마을9단지앞사거리 ~ 성남고사거리)	1.79
지방도96호선(한누리대교북측교차로 ~ 금남교앞)	1.76
갈매로(양지중사거리 ~ 푸르지오시티앞사거리)	1.74
일반국도1호선(추수지하차도북측 ~ 모개고가차도)	1.74
남세종로(4-2생활권(한누리대로) ~ 집현리790-5)	1.74
집현서1로(집현리785-94 ~ 집현리883-55)	1.69
지방도96호선(대평중앙 ~ 대평지하차도)	1.68
집현중앙로(집현리790-5 ~ 집현리1074)	1.66
절재로(도움8로교차로1 ~ 햇무리교북단)	1.65
시청대로(반곡동 67-1 ~ 집현리산173)	1.64
행복대로(디딤2교북측 ~ 집현리785-135)	1.64
지방도604호선(문주1교북측 ~ 예양교차로동편)	1.62
세종로(연기삼거리 ~ 모개고가차도)	1.61
세종로(모개고가차도 ~ 연기삼거리)	1.60
행복대로(수자인510동앞 ~ 디딤2교북측)	1.56

4. Misery Index (MI) 지수 분석 결과

□ Misery Index (MI)

○ [그림 4-31]는 계산된 MI 지수값을 보여줌

- MI 지표값의 분포는 다른 신뢰성 지표값과 비슷한 분포를 보임
- TTI 지표에서는 집현동지역의 혼잡이 미미했으나 교통 신뢰성 지표에서는 집현동지역의 혼잡이 높은 것으로 분석됨
- 다른 신뢰성 지표와 다르게 세종시청이 위치한 보람동 지역의 MI 신뢰성 지표가 높은 것으로 분석됨



[그림 4-31] 세종시 MI 지표 분포

○ [표 4-10]은 MI 지수가 높은 구간을 보여줌

[표 4-10] 세종시 구간별 MI 지수

구간	MI 지수
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	1.03
한누리대로(연기3리교차로 ~ 보름교동측)	0.95
정안세종로(수산IC교 북서 ~ 모개고가차도)	0.93
지방도96호선(월산교차로 ~ 용합삼거리)	0.89
한누리대로(보름교동측 ~ 연기3리교차로)	0.88
지방도96호선(월산교차로 ~ 갈대습지앞)	0.75
세종오송로(보름교동측 ~ 문주1교북측)	0.74
지방도96호선(용합삼거리 ~ 월산교차로)	0.74
세종오송로(문주1교북측 ~ 보름교동측)	0.71
일반국도1호선(연기삼거리 ~ 연기사거리)	0.68
지방도96호선(학나래교동측 ~ 대평지하차도)	0.67
지방도96호선(갈대습지앞 ~ 월산교차로)	0.65
집현중앙로(집현리1074 ~ 집현리790-5)	0.60
지방도96호선(한누리대교북측교차로 ~ 금남교앞)	0.59
한누리대로(도렘마을9단지앞사거리 ~ 성남고사거리)	0.56
지방도96호선(대평중앞 ~ 대평지하차도)	0.55
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	0.54
행복대로(디딤2교북측 ~ 집현리785-135)	0.53
일반국도1호선(추수지하차도북측 ~ 모개고가차도)	0.51
지방도604호선(문주1교북측 ~ 예양교차로동편)	0.50
집현서1로(집현리785-94 ~ 집현리883-55)	0.49
시청대로(반곡동 67-1 ~ 집현리산173)	0.49
집현중앙로(집현리790-5 ~ 집현리1074)	0.49
세종로(연기삼거리 ~ 모개고가차도)	0.48
갈매로(양지중사거리 ~ 푸르지오시티앞사거리)	0.47
세종로(모개고가차도 ~ 연기삼거리)	0.47
절재로(도움8로교차로1 ~ 햇무리교북단)	0.47
남세종로(4-2생활권(한누리대로) ~ 집현리790-5)	0.47
행복대로(수자인510동앞 ~ 디딤2교북측)	0.45

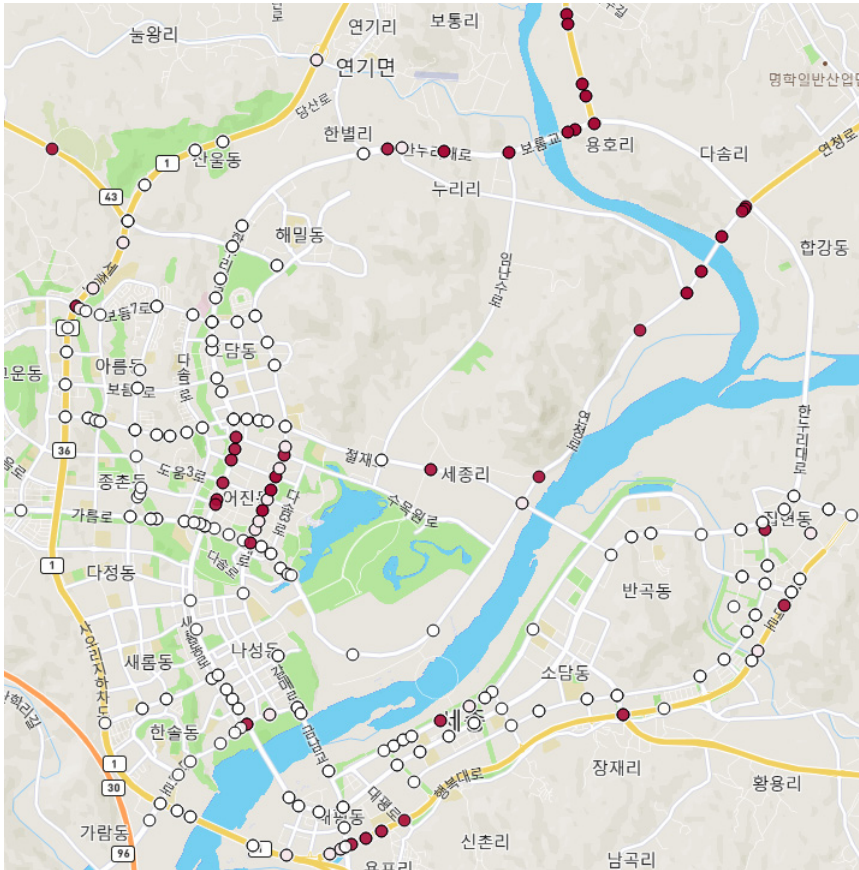
□ 종합적인 검토

- 세 개 (BI, PI, MI) 의 신뢰성 지표를 분석한 결과 대부분의 구간이 일치함
 - 신뢰성 지표 계산시 평균 통행시간, 정체시의 통행시간, 자유교통류상의 통행시간을 사용하기에 비록 값의 차이는 존재하나 신뢰성이 낮은 구간은 비슷한 구간으로 선정됨
 - 신뢰성 지수만을 고려했을 때 세종 내부의 통행시간 신뢰성보다는 세종과 외곽지역(세종-청주, 세종-오송, 세종-정안IC, 세종-대전)을 연결하는 중요지점의 신뢰성이 낮은 것으로 분석됨
 - 이는 첨두시간의 교통량이 비첨두시간의 교통량보다 집중적으로 통행하기 때문에 나타나는 현상으로 분석됨
 - 세종시 내부의 경우, 정부청사가 위치한 도움3로와 한누리대로의 통행시간 신뢰성이 낮은 것으로 분석됨
- [표 4-11]은 세 개의 신뢰성 지표값이 높은 구간을 보여주고 있으며, [그림 4-32]는 높은 지점은 지도에 표시함

[표 4-11] 세종시 신뢰성 지표값 (종합)

구간	BI 지수	PI 지수	MI 지수
정안세종로(수산IC교 북서 ~ 모개고기차도)	2.15	3.15	0.93
구즉세종로(수자인510동앞 ~ 세종대전경계)	1.42	2.42	1.03
한누리대로(연기3리교차로 ~ 보름교동측)	1.27	2.27	0.95
지방도96호선(월산교차로 ~ 용합삼거리)	1.22	2.22	0.89
한누리대로(보름교동측 ~ 연기3리교차로)	1.14	2.14	0.88
일반국도1호선(연기삼거리 ~ 연기사거리)	1.11	2.11	0.68
지방도96호선(용합삼거리 ~ 월산교차로)	1.11	2.11	0.74
지방도96호선(월산교차로 ~ 갈대습지앞)	0.98	1.98	0.75
세종오송로(보름교동측 ~ 문주1교북측)	0.97	1.97	0.74
지방도96호선(학나래교동측 ~ 대평지하차도)	0.96	1.96	0.67
세종오송로(문주1교북측 ~ 보름교동측)	0.91	1.91	0.71
지방도96호선(갈대습지앞 ~ 월산교차로)	0.83	1.83	0.65
갈매로(푸르지오시티앞사거리 ~ 양지중사거리)	0.8	1.8	0.54
집현중앙로(집현리1074 ~ 집현리790-5)	0.79	1.79	0.6

- 신뢰성 지표값이 높을수록 정시에 도착하기 위해서 통행자가 추가적으로 할당해야 되는 시간이 높음을 의미하고 신뢰성이 낮음을 의미함



[그림 4-32] 세종시 신뢰성 지표값이 높은 지점

통행시간 신뢰성 지표 활용

제1절 통행시간 신뢰성 지표 활용방안

5장

제5장 통행시간 신뢰성 지표 활용

제1절 통행시간 신뢰성 지표 활용방안

1. 통행시간 신뢰성 지표 활용 사례 시사점

- 국내에서의 통행시간 신뢰성 지표 활용에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 연구를 통해 통행시간 신뢰성 지표를 활용하기 위한 사례연구가 다양하게 수행되었음
 - 통행시간 신뢰성 지표 활용에 대한 학술적인 연구는 활발하게 진행되어 왔지만 이를 이용한 서비스 혹은 지속적인 활용 사례는 미비한 것으로 조사됨
- 해외에서는 미국 등 다양한 나라에서 이미 통행시간 신뢰성 지표를 활용하고 있으며, 주기적으로 관련 보고서가 발행되고 있음
 - 통행시간 신뢰성 지표의 활용 분야는 도시간 교통혼잡 비교, 지역 내 도로 별 교통혼잡 산정 등에 활용하고 있음
- 이백진 외(2015)의 연구에서와 같이 현재 구축되어 운영되고 있는 교통정보센터에서 수집하는 데이터만을 이용하여 통행시간 신뢰성 지표를 도출할 수 있음을 알 수 있음
 - 또한 기존 연구들에서는 공통적으로 통행시간 신뢰성 지표를 통해 다양한 교통정책에 활용할 수 있음을 언급하고 있음
- 가공된 신뢰성 지표는 지표 자체를 근거로 다양한 교통계획 및 운영의 기초자료로 활용 가능하며, 이용자 측면에서는 경로 선택 대안의 근거가 될 수 있음
- 선행연구 등을 참조한 신뢰성 지표 활용 방안은 다음의 4가지 정도로 요약할 수 있음

- 지방정부의 교통정책 및 법정계획의 현황 분석
- 교통계획 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
- 교통운영 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
- 교통정보 제공 지표 고도화
- 교통운영 방안 개선 효과 분석

2. 지방정부의 교통정책 및 법정계획의 현황 분석

- 지방자치단체는 법에서 수립토록 규정한 다양한 교통계획이 존재하며 그 외에도 도시 관련 계획에서는 다양한 교통현황 지표를 검토하여 대안 도출의 기초자료로 활용함
 - 다양한 교통계획 중 대도시권 광역교통시행계획, 도시교통정비 기본계획 등은 도로를 포함한 도시교통 시설물의 현황을 검토함으로써 도시교통 문제가 도출되고 이를 바탕으로 개별 교통시설 대안 등이 정책방향으로 선택됨
 - 도시교통정비 기본계획에는 유출입 교통대책 및 도로·철도·도시철도 등 광역교통체계의 개선, 교통시설의 개선, 대중교통체계의 개선, 교통체계 관리 및 교통소통의 개선, 주차장의 건설 및 운영, 보행·자전거·대중교통 통합교통체계의 구축, 온실가스의 배출량 감축 등을 통한 친환경적 교통체계의 구축 등의 대안이 포함되게 됨
 - 이와 같은 부분별 계획시 기존의 교통소통 정보만으로는 정확한 문제점 진단에 한계가 발생함
 - 별도로 도시계획 분야에서도 교통부문의 정책 대안을 포함하는 경우가 존재하며 이때 또한 교통현황을 조사 분석하게 됨
- 2030 세종도시기본계획에서는 가로 및 교차로 소통수준을 교통량 및 차량당 제어지체, 서비스 수준만 검토하고 있으나 신뢰성 지표의 활용을 통해 기반시설의 운영 현황을 구체화하고 도로 및 대중교통 계획을 제안함

- 현재 교통소통 현황에서 분석되는 지표는 주요 가로 교통량, 주변 교차로 교통량, 가로 및 교차로 소통수준, 교차로 소통수준, 통행실태로서 비반복정체에 기반한 현황을 파악할 수 없음
- 도로 및 대중교통의 실천계획은 일반적인 혼잡과 소통 상태에 기반함에 따라 교통 기반시설 이용자의 높아지는 요구수준 대응에 한계를 보임
- 관련된 교통 및 도시계획의 수립지침에서는 소통현황 및 문체점을 체계적으로 분석 가능하게 하고 있으며, 신뢰성 지표가 적극적인 현황분석 수단으로 기능할 수 있음
 - 도시·군기본계획 수립지침의 교통계획수립보고서 항목에서는 “도시내 교통의 특성과 교통소통현황 및 교통 소통상의 애로원인을 기능별 가로망 구조, 교통시설의 공급, 구조적 결함, 토지이용의 패턴 등을 체계적으로 분석하고 장래를 전망한다.”고 명시되어 있음
 - 지속적인 신뢰성 현황 분석을 위해서는 활용 목적 등을 고려한 신뢰성 지표의 선정과 모니터링 시스템의 구축이 요구됨

3. 교통계획 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정

- 과거의 교통계획과 교통시설물 건설계획은 경제성을 중심으로한 평가체계를 통해 대안간 비교 및 우선순위가 선정되었음
- 최근 교통계획 분야에서는 정책적 효과에 대한 관심이 증대되고 있으며, 이는 단순한 경제성 혹은 정책 효과가 아니라, 교통인프라 이용자의 실질적이고 구체적인 효과를 고려하여 의사결정을 하고자하는 노력이 반영된 것임
 - 과거 예비타당성조사 수행시에는 정책성 분석에 정책 일관성 및 추진 의지, 사업추진상 위험요인, 고용효과 분석 등을 기본 분석으로 설정했으나, 2019년 수행 총괄지침 개정을 통해서 사업추진 여건과 함께, 정책효과로서 일자리 효과, 생활여건 영향, 환경성 평가, 안전성 평가와 같은 효과의분석 내용이 구체화됨

- 통행시간의 신뢰성은 이런 구체화된 정책 효과의 예시이며, 이를 통해 특정 교통시설물의 장기적 건설계획 수립시 대안 비교·평가, 우선순위 결정이 가능해짐
 - 중장기적 교통계획을 통해 도시교통체계에 용량을 공급하고 이를 통해 평균적 개념의 통행시간 단축뿐 아니라 신뢰성 개념의 통행시간 단축이 가능해짐
 - 지방자치단체의 신규 교통시설물 공급은 다양한 이해당사자가 존재함에 따라 그 효과 척도에 대해 정밀한 분석 및 제시가 요구되며 신뢰성 지표는 이해당사자 설득을 위한 매우 구체적 기반자료로서 기능하게 됨

4. 교통운영 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정

- 지방자치단체의 교통운영 전략은 평균적 통행시간을 줄이거나 통행시간을 변동폭을 안정적으로 유지하는 등 다양한 목표 설정이 가능함
 - 통행자는 일상적 혼잡에 대해서는 관대하나 예상치 못한 혼잡 및 이에 따른 정체, 통행시간 증가에 대해서는 관대하지 못함
 - 도시가 확장되고 교통량이 급격히 증가하는 상황에서는 평균적 통행시간을 감소하는 것이 교통운영 및 관리의 목표가 될 수 있으나, 안정적인 도시 구조 하에서는 통행시간의 변동폭을 줄여주는 교통운영 전략의 중요도가 높아짐
- 미네소타주 교통부는 램프미터링의 효과를 검토함에 있어 신뢰성 지표를 활용
 - 램프미터링 미운영시 평균 이동시간은 22% 악화된 반면 신뢰성은 91%까지 악화되었는데, 이를 바탕으로 램프미터링 전략의 시행 대안을 설정하고 해당 전략을 지속운영할 수 있었음
- 도시교통 체계에서 교통운영 전략은 기하구조, 신호체계, 교차로 입체사업 등의 교차로 개선사업, 병목구간개선, 신호연동, 우회도로개발 등

의 축 개선사업, BRT, 환승시설 개선과 같은 버스서비스 개선 등 다양한 전략이 있으며, 해당 대안의 비교시 신뢰성 지표는 중요한 평가 지표로서 작동 가능

- 대부분의 교통운영 전략은 평균적 통행시간과 신뢰성에 기반한 통행 시간 모두를 감소시키는 방향으로 작동하게 됨
- 그러나 일부 교통운영 전략 혹은 특정 교통운영 전략하에서 세부 적용방식에 따라서 평균적 통행시간 개선은 크지 않으나 신뢰성 기반 통행시간은 큰 폭으로 감소할 수 있음
- 신뢰성 지표의 활용과 효과 평가를 통해 다양한 운영전략의 선택 기준을 고도화하거나 우선순위 선정이 가능해짐
- 우선순위 선정시 기존 통행지표와 신뢰성 지표에 가중치를 적용하여 대안간 종합점수를 산정하여 활용

5. 교통정보 제공 지표 고도화

- 교통정보는 통행자의 경로선택뿐 아니라 출발시간 등 다양한 통행의 사결정에 기초자료로 활용되며, 통행정보 가공에는 과거와 실시간으로 수집된 자료를 활용하게 됨
- 기관별로 수집되는 교통정보는 속도, 교통량, 점유율 등 다양하며, 수집된 정보의 수집(수신)주기 또한 실시간에서 1분, 5분, 10분 등으로 다양함
- 수집된 자료는 결측 보정 방식, 평활화, 패턴자료 활용여부 등에서 차이가 있으나 별도의 신뢰성 자료를 활용하는 경우는 많지 않음
- 워싱턴 교통부는 신뢰성 지표를 추적한 후 통근자에게 신뢰성 추정치를 제공했음
- 통행자는 목적지를 선택하고 과거 데이터를 기반으로 95퍼센타일 통행시간을 생성할 수 있으며, 통행자는 계획된 이동시간을 사용하여 특정 시간에 도착할 수 있도록 정보제공 하였음

6. 교통운영 방안 개선 효과 분석

- 교통 운영 방안에는 도로 관리구간 설정, 신호 체계 개편, 도로 기하구조 개선등 다양한 방안이 존재함
 - 다양한 교통 운영의 효율성 평가시, 혼잡 감소, 교통사고 감소등 직접적인 지표에 의해서 평가함
 - 통행시간 신뢰성 지표는 교통 운영방안 개선에 따른 효과 평가시 간접적인 지표로 활용 가능
- 지속적인 신뢰성 지표값 산출 시스템 구축 방안 필요
 - 통행시간 신뢰성 지표의 경우, 통행시간과 교통량 빈도 데이터만 통해서 산출 가능하며, 데이터 관리 측면에서 효율적으로 관리 될 수 있음
 - 통행시간 신뢰성 지표는 교통 수요의 증가, 운전자의 행동, 교통사고 및 기타 재해, 기상 및 도로공사등 예측할 수 없는 교통 환경적인 특성 반영이 가능함으로 이는 교통 운영 방안 개선전과 개선후 평가시에도 용이함
 - 또한 다른 지역간의 비교시에도 용이함

결론

제1절 종합
제2절 정책제언

제6장 결론

제1절 종합

□ 통행시간 신뢰성이란?

- 도로의 혼잡상황은 일관되고 반복적이지만 매우 가변적이고 예측 불가능하기에, 통행자는 정시에 도착하기 위해서 경로선택 및 출발시간 선택등 다양한 고민을 해야됨
 - 혼잡이 발생할지라도 일정한 통행시간이 소요된다면, 통행자의 기대 통행시간이 실제 운행된 통행시간에 부합함
 - 하지만 어떤 구간에서 기대 통행시간과 실제 운행 통행시간의 편차가 자주 발생하고 심각할수록 통행자는 구간의 통행시간을 신뢰할 수 없으며, 이 구간은 통행시간 신뢰성이 낮은 구간으로 판단됨

□ 통행시간 신뢰성의 중요성

- 과거에 통행시간은 교통 소통과 관련된 가장 중요한 척도였으나, 최근 통행시간만이 아닌 다른 통행시간 신뢰성과 같은 다른 척도가 중요하게 부각되고 있음
- 물류 공급망이 점점 복잡해지고 개인 통행자의 통행 활동이 점점 복잡해지고 있기 때문에 신뢰할 수 있는 도로 네트워크와 서비스가 필요함
 - 통행시간의 변동성은 통근자와 운송업자가 출근의 지각과 배달의 비용을 증가시키는 경향이 있음
- 목적지에 제시 시간에 도착할 확률을 높이기 위해 여행 시간에 여유시간을 추가해야 되며, 얼마만큼의 여유시간이 필요한지는 통행계획에서 중요한 관심사임

□ 통행시간 신뢰성 선행 연구

- 통행시간 신뢰성의 중요성으로 인하여, 다양한 분야의 학술 연구가 진행되었으며, 대부분 시뮬레이션을 통해서 데이터를 수집함
 - 통행수요의 변동이 발생하는 교통 네트워크에서 통행자의 통행패턴을 분석하기 위해 단순히 통행시간만을 사용한 모델에는 한계가 있음을 지적함
 - 과거에는 통행시간 신뢰성 지표 개발 연구가 활발히 진행된 반면 최근에서는 통행수요의 변동을 고려한 상황에서 교통혼잡을 감소시킬 수 있는 방안들의 연구가 진행됨
 - 신뢰성 지표 개발 뿐만 아니라, 신뢰성 지표의 활용 연구도 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 데이터 확보의 용이성으로 실제 데이터를 사용한 연구가 진행됨
- 국내 연구의 경우, 대부분 통행시간 신뢰성의 중요성을 인식하고 있으며, 통행시간 신뢰성을 이용자 편익에 어떻게 반영할지에 대한 가치 추정연구에 초점을 맞추고 있음

□ 통행시간 신뢰성 지표

- 다양한 통행시간 신뢰성 지표가 기술되었으며, 통행시간의 표준편차와 변동계수를 이용한 지표, 추가 여유시간을 고려한 Buffer 시간 지표, 자유교통류상태 일때의 통행시간을 고려한 통행시간 지수와 이동계획 지수, 정체를 고려한 Misery 지수 및 정체빈도지수등이 소개되었음
 - 선행연구 비교 분석 결과, 백분율 변동, Buffer Index, Planning Time Index, Misery Index를 통행시간 신뢰성 지수로 추천하고 있으며, 기본적인 통계값인 표준편차와 변동계수는 비추천하고 있음
 - Buffer Index: 통행자가 정시에 도착할 수 있도록 통행시간을 산출할 때, 평균 통행시간보다 추가되는 버퍼 시간을 의미함
 - Planning Time Index: 버퍼 시간이 포함될 때 계획해야 되는 통행시간 신뢰성 지수를 의미함

- Misery Index: 통행시간 분포에서 정체 통행시간의 평균과 평균 통행시간의 비율을 의미함

□ 세종시 빅데이터

- 세종시에서 제공하고 있는 빅데이터 분석 시스템은 데이터 기반 시스템으로서 단순히 데이터 제공뿐만 아니라 데이터 시각화를 통하여 통행속도 분석, 버스 승하차 인원 분석, 교통혼잡 분석등 교통계획과 관련된 다양한 분야에 응용 할수 있는 데이터를 제공함
- 행정중심복합도시내의 이용 가능한 통행속도 지점은 약 400개 지점으로 이 지점 대해서 통행속도 패턴분석, 통행속도와 강우량 관계, 통행시간 신뢰성 분석이 가능

□ 세종시 통행속도 및 통행시간 신뢰성 분석

- 전체 세종시 통행시간 분석 결과, 첨두시간과 비첨두시간의 통행시간 분포는 명확하게 나타남
 - 첨두시간의 통행시간은 비첨두의 통행시간보다 약 20% 더 통행시간이 더 소요되는 것으로 분석됨
- 지점별 통행속도 분석 결과, 정부청사가 위치하는 세종 중심지 지역의 통행속도가 낮음
 - 1번 국도와 연결되는 동서축 도로, 대전시와 연결되는 행복도로도 낮은 통행속도를 보임
 - 각 도로마다 제한 속도가 다르고, 시간대별 교통량 집중도가 다르기 때문에 지점별 통행속도를 상대적으로 비교하기에는 한계가 있으며 이를 개선하고자, 통행시간 신뢰성 지표중의 하나인 통행시간 지수 (Travel Time Index, TTI) 분석이 필요함
- 통행시간분포는 오전·오후 첨두시간 정체, 오전 첨두시간만 정체, 오후 첨두시간만 정체, 정체 없음의 4가지 패턴이 존재함
 - 세종시 중심부로 향하는 주도로의 경우, 오전 첨두시간과 오후 첨두시간의 정체가 발생하는 패턴을 명확히 보여줌

- 동서축 도로의 경우, 오전 첨두시간에 혼잡강도가 높으며, 오후 첨두 시간에는 통행시간의 분산이 나타남
- 최근 개발된 집현동 지역과 개발 예정 지구의 경우, 뚜렷한 통행시간 분포가 형성되지 않았으며, 상대적으로 통행량이 적은 구간으로서 교통량 샘플이 부족함
- 통행시간에 따른 교통량 분석결과, 긴꼬리 분포를 나타내는 지점이 존재하며, 이는 통행시간 편차가 큼을 의미함
 - 대부분 지점에서 통행시간 분포는 정규분포의 형태를 보이고 있으나, 출·퇴근시 극심한 혼잡을 보이는 [송원 교차로 - 학나래교 동측], [도움 8로 교차로 - 햇무리교], [양지중 사거리-푸르지오시티앞 사거리]는 긴꼬리 현상이 심하게 나타나며, 긴꼬리 통행시간을 차지하는 대부분의 교통량은 첨두시간에 발생하는 것으로 분석됨
- TTI 지수 분석 결과, 통행속도 패턴과 다른 패턴을 보이고 있으며, 오송역과 청주로 연결되는 한누리대로 북측과 지방도 96호선의 경우, 통행속도가 높으나, TTI 지표값은 나쁜 것으로 분석됨
 - 특히 대로가 아닌 학교 시설이 위치한 제한속도가 낮은 소로의 경우, 통행속도와 TTI 지표값은 명확히 다른 패턴을 보임
- 통행시간과 강수량과의 상관관계 분석에서, 전체적으로 명확한 패턴을 보이지 않음
 - 세종시의 경우, 이미 낮은 속도로 통행하고 있으며, 극심한 침수가 발생하지 않는 도시의 특성으로 생각됨
 - 하지만, 전체적으로 제한속도가 높은 연속류 도로에서는 강수량의 영향으로 통행시간이 증가되는 것으로 분석되었으며, 연속류 도로이면서 극심한 혼잡이 발생하는 구즉세종로의 경우, 강수의 영향이 가장 심하게 나타남
- 통행시간 신뢰성 분석을 위해서 BI, PI, MI 지수 분석을 수행하였으며, 분석 결과, 세가지 지수간의 분포가 비슷하게 나타남
 - 세종 내부의 통행시간 신뢰성보다는 세종과 외곽지역(세종-청주, 세종

- 오송, 세종-정안IC, 세종-대전)을 연결하는 지점의 신뢰성이 낮은 것으로 분석됨
- 세종 내부의 경우 낮은 제한속도와 일정한 교통량이 존재하는 반면, 세종시 외곽지역 연결지점의 경우, 단속류에서 연속류 교차로 인한 제한 속도의 변화 및 출·퇴근시간의 혼잡으로 인한 영향이라고 분석됨

□ 통행시간 신뢰성 활용 방안

- 기존 선행연구에 의하면 해외의 경우, 지속적인 모니터링을 통해서, 신뢰성 지수를 산출하고 있으며, 도시간 교통혼잡 비교, 지역 내 도로 별 교통혼잡 산정 등에 활용하고 있음
- 가공된 신뢰성 지표는 지표 자체를 근거로 다양한 교통계획 및 운영의 기초자료로 활용 가능하며, 이용자 측면에서는 경로선택 대안의 근거가 될 수 있음
- 선행연구 등을 참조한 신뢰성 지표 활용 방안은 다음의 4가지 정도로 요약할 수 있음
 - 지방정부의 교통정책 및 법정계획의 현황 분석
 - 교통계획 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
 - 교통운영 전략 수립의 대안 비교·평가 및 우선순위 결정
 - 교통정보 제공 지표 고도화
 - 교통운영 방안 개선 효과 분석
- 따라서, 각각의 도로관리기관에서 기존에 수집하고 있는 교통정보를 이용하여 통행시간 신뢰성 지표를 산출할 수 있는 시스템을 구축하고, 해당 내용을 정기적으로 보고서 형태로 발간하는 한편, 해당 내용을 활용하여 교통정책 수립에 활용할 필요가 있음

제2절 정책제언

□ 신뢰성 지표를 산출할 수 있는 시스템을 구축

- 현재 많은 지자체 및 국가 도로관리 기관에서 통행속도와 통행시간에 대한 데이터를 수집하고 있으며 지속적인 모니터링을 통하여 교통운영 및 관리 전략을 수립하고 있음
 - 기존의 데이터를 이용하여 통행시간 신뢰성을 분석할 수 있는 시스템 구축이 가능하며, 많은 비용이 필요하지 않음
 - 데이터의 신뢰성 확보가 중요하며, 데이터의 오류 및 보정할 수 있는 시스템도 동반 구축되어야 됨
- 지역간 통행 소통이 관리 비교시 제한속도 및 통행 강도의 다름으로 인하여 직접적인 비교가 불가능
 - 통행시간 신뢰성의 경우, 제한속도 및 통행 강도 설명이 가능하며, 지역간 교통소통 비교에 용이함
 - 통행시간 신뢰성 지표는 교통소통과 관련된 지역간 직접적인 비교가 가능하며, 각 지역의 교통관리 및 운영전략의 장점을 벤치마킹 할 수 있음

□ 교통 운영 및 전략 방향 설정

- 교통 혼잡을 줄이기 위해서 많은 지역 및 지점에서 도로 건설, 교통용량 확장등과 같은 교통시설물에 투자가 이루어 지고 있으며, 교통신호 체계 개편과 같은 교통운영 전략을 수립하고 있음
 - 각 지점별로 교통 혼잡의 원인이 다르며, 효율적인 교통혼잡 해결 방안도 다름
 - 예를 들어 도로건설 및 도로 용량 확장의 경우, 대부분의 교통 혼잡을 완화 시킬수 있으나, 토지 확보의 어려움과 비용 소모가 큼
 - 신호체계 개편의 경우, 교통량이 용량보다 적을 경우 효과적일 수 있으나, 교통량의 집중이 주어진 용량을 초과 할 경우 한계가 존재함

- 통행시간 신뢰성을 바탕으로 시간대별, 경로별 교통 혼잡 강도를 분석하여, 상황에 맞는 교통신호 운영전략이 필요하며, 교통량이 과다 집중되는 지점의 경우, 도로 용량 확장 검토가 필요함
- 대중교통 운영시, 시간대별 각 정류장간 혼잡강도를 파악하며, 정시성 향상을 위한 운행시간의 조정에 통행시간 신뢰성 지표가 이용 가능함
 - 버스의 과속 운행 방지를 통한 승객의 안정성 향상 및 향후 혼잡 발생 구간을 우회할 수 있는 버스 노선 발굴이 가능함

□ 교통 운영 평가

- 통행시간 신뢰성 지표는 예측 할 수 없는 교통 환경 변화를 고려한 통행시간 변동성 평가에 용이함
- 지속적인 통행시간 신뢰성 모니터링을 바탕으로 교통 운영의 문제점을 파악하고 개선방안 도출이 필요함

□ 통행시간 신뢰성을 고려한 교통투자의 우선순위 기준 마련

- 효과적인 교통투자를 위해서 통행시간 신뢰성을 활용한 교통투자 우선순위 기준 마련이 필요함
 - 통행시간 기준, 통행속도 기준시, 일시적인 교통 혼잡 완화를 기대할 수 있으나, 장기적인 관점에서 통행시간 가치 증대에는 한계가 존재함
 - 효율적인 예산 집행, 혼잡완화, 교통사고와 같은 교통 이벤트 방지를 위해서 통행시간 신뢰성을 반영한 교통투자 우선순위 매뉴얼 개발이 필요함

□ 교통정보 제공

- 통행자는 정시에 도착하기 위해서 평균 통행시간에 추가되는 통행시간에 관심이 높음
 - 기존의 교통정보에서는 통행시간만을 제공하는데 통행시간 신뢰성 지표를 동시에 제공해주면 이용자가 출발시간 및 통행경로 선택시 판단할 수 있는 추가 지표로 활용 가능함

- 실제로, 미국 워싱턴 주에서는 95% 통행시간을 보장하는 통행시간 신뢰성 기반 경로를 제공함
- 화재, 병원등 긴급 운송이 필요한 경우, 통행시간 뿐만 아니라 통행시간 신뢰성도 고려한 경로 선택이 가능함

참고문헌

■ 단행본

- 국토해양부(2013). 도로용량편람, 국토해양부.
- 김찬성 외(2013), <국가교통조사 및 DB구축사업>, 한국교통연구원.
- 백승한 외(2020), <통행시간 신뢰성 향상 편익 선정 연구>, KDI 공공투자관리 센터.
- 백정한 (2021), <도로 투자 평가에서의 통행시간 신뢰성 편익 도입방안>, 국토연구원.
- 성낙문·모창환·이재준·박태운·전은수 (2016), <교통부문 법정계획의 이행실적 평가 및 실효성 제고방안>, 한국교통연구원.
- 이백진·정진규·오성호·김광호 (2015) <ITS 빅데이터를 이용한 도시 모빌리티 분석 및 정책 활용방안>, 국토연구원.
- Booz Allen Hamilton (1998), *alifornia Transportation Plan: Transportation System Performance Measures*, California Department of Transportation, Sacramento, USA
- Cambridge Systematics, Inc. (2005), *Traffic congestion and reliability: Trends and advanced strategies for congestion mitigation (No. FHWA-HOP-05-064)*, United States. Federal Highway Administration.
- Cambridge Systematics, Inc. (2013), *Analytical procedures for determining the impacts of reliability mitigation strategies*. Transportation Research Board, USA
- Cambridge Systematics, Dowling Associates, System Metrics Group, Texas Transportation Institute (2008), *Cost-Effective Performance Measures for Travel Time Delay, Variation, and Reliability*, NCHRP Report 618, Transportation Research Board, USA
- Eisele, W.L., Crawford, J.A. (2008). *Guidebook for Mobility Monitoring in Small to Medium-sized Communities*. Texas Transportation Institute, USA
- Florida DOT. (2000), *The Florida Reliability Method in Florida's Mobility Performance Measures Program*. Florida Department of Transportation.
- Jeekel, J.F. (2010), *Improving reliability on surface transport networks*, Joint Transport Research Centre of OECD and ITF.
- Lomax, T., Schrank, D., Turner, S. (2003), *Selecting Travel Time Reliability Measures*. Texas A&M Transportation Institute, USA
- Martchouk, M., Mannering, F. (2009). *Analysis of travel time reliability on Indiana interstates*, USDOT Region V Regional University Transportation

- Center Final Report, USA
- Maryland Department of Transportation (2021), *Maryland State Highway Mobility Report 2020*, USA
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2009), *Performance Measurement Framework for Highway Capacity Decision Making*. USA
- Nie, Y.M., Wu, X., Zissman, J., Lee, C., Haynes, M. (2010), *Providing reliable route guidance: Phase ii*, Northwestern University, USA
- Texas A&M Transportation Institute (2021), *2021 Urban Mobility Report* , Texas Transportation Institute, USA
- Yang, J.S. (2006), *A Nonlinear State Space Approach to Arterial Travel Time Prediction*, University of Minnesota, USA

■ 학위논문, 학술지 논문

- 김영선(2013), 고속도로의 용량상전 방법론 개발 및 강우시 용량보정계수 산정, 아주대학교 박사학위 논문
- 김태운·오주삼(2015), 강우 강도에 따른 일반국도 지방부 도로의 평균속도 변화 분석, <한국콘텐츠학회논문지> 제15권 4호, 510~518.
- 박찬운(2019), 고속도로 통행시간 신뢰성 지표 추정 모형 개발, 서울대학교 박사학위 논문
- 심상우·최기주(2009), 도로기상요인의 영향에 따른 고속도로 교통상황 유형 분류, <대한토목학회논문지> 제29권 6D호, 685~691.
- 이창·고준호·강영은·이태경(2011). 강우에 의한 서울시 대중교통서비스 변화분석, <대한국토 도시계획학회지> 제46권 7호, 73~87.
- 장수은·강지혜(2008), 통행시간 신뢰성 가치 산정에 관한 연구, <대한교통학회지> 제26권 6호, 133!142.
- 장진환 (2012), 통행시간 신뢰성 개념 및 활용방안, <교통기술과정책> 제9권 5호, 48~51.
- 정은비·오철·홍성민(2013), 도로기상정보시스템(RWIS)과 차량검지기(VDS) 자료를 이용한 강우수준별 통행속도예측, <한국ITS학회논문지> 제12권 4호, 44~55.
- 조은희(2017), 서울시 교통혼잡 비교분석을 위한 TTI 지표 산출 및 적용성에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문
- 한여희·김영찬(2017), DTG 빅데이터 기반의 링크 평균통행시간을 이용한 도심네트워크 혼잡분석 방안 연구, <한국ITS학회논문지> 제16권 5호, 72~84

- 허은진(2021), 투자사업의 타당성 평가를 위한 통행목적별 통행시간 신뢰성 가치 추정, <한국도로학회논문집> 제23권 1호, 157~168.
- Bremmer, D., Cotton, K.C., Cotey, D., Prestrud, C.E., Westby, G. (2004), Measuring congestion: Learning from operational data. <Transportation Research Record>, Vol.1895, No.12, 188~196.
- Clark, S., Watling, D. (2005), Modelling network travel time reliability under stochastic demand. <Transportation Research Part B: Methodological>, Vol.39, No.2, 119~140.
- Fu, L., Hellenga, B., Zhu, Y. (2001), An adaptive model for real-time estimation of overflow queues on congested arterials. <2001 IEEE Intelligent Transportation Systems>, Proceedings (Cat. No. 01TH8585), 219~226.
- Lyman, K., Bertini, R. L. (2008), Using travel time reliability measures to improve regional transportation planning and operations. <Transportation Research Record>, Vol.2046, No.1, 1~10.
- Nam, D., Park, D., Khamkongkhun, A. (2005), Estimation of value of travel time reliability. <Journal of Advanced Transportation>, Vol.39, No.1, 39~61.
- Polus, A. (1979), A study of travel time and reliability on arterial routes. <Transportation>, Vol.8, No 2, 141~151.
- Pu, W. (2011), Analytic relationships between travel time reliability measures. <Transportation Research Record>, Vol.2254, No.1, 122~130.
- Shao, H., Lam, W.H., Meng, Q., Tam, M.L. (2006), Demand-driven traffic assignment problem based on travel time reliability. <Transportation Research Record>, Vol.1985, No.1, 220~230.
- Sumalee, A., Watling, D.P. (2008), Partition-based algorithm for estimating transportation network reliability with dependent link failures. <Journal of Advanced Transportation>, Vol.42, No.3, 213~238.
- Van Lint, J.W.C., (2004). "Reliable Travel Time Prediction for Freeways" Ph. D. diss., Delft University of Technology, Netherlands.
- Van Lint, J.W.C., Van Zuylen, H. J., & Tu, H. (2008), Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story. <Transportation Research Part A: Policy and Practice>, Vol.42, No.1, 258~277.

■ 웹페이지·기타

2022년 제1회 예비타당성 조사 착수회의 자료 (2022. 6), KDI 공공투자관리센터
FHWA. Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time
(https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/ttr_report.htm)
Updating Reliability Research in SHRP 2
(<https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp2/ReliabilityBrief.pdf>)



34051 대전광역시 유성구 전민로37(문지동)
TEL. 042-530-3500 FAX. 042-530-3508
www.dsi.re.kr

ISBN 979-11-6075-342-4 93350