
Global Report

도시 교통수요 관리정책의 거시적 규모에 대한 평가_시스템역학을 이용한 Isfahan CBD 사례연구

1. 개요
2. 시스템역학 모델 구축
3. 원인 효과 관계 검토
4. 교통수요관리정책 모델링
5. 결론

1. 개요

도심의 거리의 수용용량에 근접하는 교통량은 교통 혼잡과 번잡함을 증대시키는 가장 큰 도시문제 중 하나로 부각되고 있다. 혼잡한 도시중앙 지역에 역사적인 기념물이나 유명한 관광명소 등의 존재가 도심의 커다란 교통문제가 된 것이다. 이러한 트래픽 증가로 인한 문제를 줄이기 위한 보다 효율적인 도시 교통수요 관리정책의 유형을 결정하기 위해서는 다른 도시지역의 관련 정책을 구현하는 행동결과에 대한 포괄적인 이해가 필요하다. 도시 교통 수요관리는 최적의 운송리소스 활용전략으로 인식되고 있다. 도시 교통수요 관리정책의 목적은 최저의 교통비용으로 교통 혼잡을 최소화할 수 있어 사람들의 여행패턴에 커다란 영향을 미친다. 그간 도시 교통수요 관리정책 평가에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 주요 연구결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

■ Cambridge와 Newcastle 간의 비교를 통해 도시 교통수요 관리방법의 수용과 효과에 대한 연구 (2000년 Thorpe 등)[1]

- 자가용 승용차의 도심 통과요금 충전시스템, 대중교통 시스템 개선, 도심 주차요금 인상 및 도심 지역의 개인차량 통행제한 등 관련 요금의 부과방안을 제시하였음
- 그 결과, 대중교통 시스템을 개선하는 것이 제한적인 정책보다 더 수용 가능한 것임을 입증하였으며, 특히 주차비용 인상은 가장 수용 가능한 정책으로 나타났음
- 자가용 승용차의 도심 통과요금 부과 정책은 트래픽 제약조건보다 약간 더 허용 가능한(약 5%) 정책으로 나타났음

■ 온라인 인터뷰(설문)를 기반으로 한 개인의 일상 활동일정에 따른 도시 교통수요관리 방법에 대한 연구 (2004년 Arentze 등)[2]

- 여러 개별선택 모델링을 통해 온라인 인터뷰(설문) 반응을 조사하였음
- 각 시나리오별로 수집된 개인응답 사항(이동시간, 이동경로, 목적지, 교통수단 및 개인의 일일 여행 빈도 등)을 기반으로 모델링 하였음
- 응답결과를 요약하면, 이동경로나 출발시간을 변경하는 것이 운행(여행)을 조정하는 가장 중요한 방법인 것으로 나타났으며, 대중교통을 이용하거나 재택근무를 하는 것은 상당히 제한적인 역할을 하는 것으로 나타났음
- 비 근무활동의 경우 이동경로를 변경하거나 자전거를 이용하는 것이 지배적인 응답으로 나타났음

■ Tehran시의 통근자 운행수단 선택에 따른 TDM(transportation demand management : 교통 수요관리) 정책의 역할 검토 (2013년 Habibian & Kermanshah)[3]

- Tehran시의 통근자가 선호하는 운행모드에 대한 조사결과를 기반으로 실험접근법을 설계하였음
- Tehran시 통근자의 4가지 주요정책(주차비용 증가, 연료비 증가, 대중교통 이용시간 단축, 대중교통 이용 개선)을 평가하여 교통수단별 출퇴근에 미치는 영향을 연구하였음
- 도시 중심부의 직장으로 정기적으로 출퇴근하는 366명의 통근자들을 위해 다중 로짓모델(multinomial logit model)을 개발하였음
- 다중 로짓 모델은 여러 가지 통근방법 및 변수 외에도 여러 정책적 상호작용이 통근자의 운행모드 선택에 영향을 미치는 데 중요한 것으로 나타났음

■ 다양한 교통수요 관리정책의 유형, 정도 및 효과를 분석하기 위해 가장 효율적인 잠재력과 파급효과에의 정도에 따른 우선순위 지정방안 (2016년 Mansoori 등)[4]

- Isfahan시 중심업무지구 내 각 개인의 사회경제적 여행특성에 대한 정책의 효과를 파악하기 위해 480명의 응답자를 대상으로 설문조사를 시행하였음
- 민감도 분석을 통해 Isfahan시 중심업무지구의 다양한 여행수요관리 정책의 효과를 파악하였음
- 자가용 승용차 이용자 및 대중교통 이용자 480명을 대상으로 설문을 통해 10개의 제한적인 정책

도구를 평가하였음

- 설문조사 결과, 교통수요 관리정책의 장려정책이 제한적인 정책보다 두 배 이상 효과적인 것으로 나타났다음
- 자가용 승용차 이용자의 경우, 연비 및 주차비의 증가로 인해 운행(여행)시간을 줄이는 등 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났다음
- 설문조사 결과를 토대로 장기정책으로 도시의 중심업무지구 교통제약을 해결하고, 중기정책으로 현재 대중교통의 정량적, 질적 개선을 통해 도심 대중교통망을 위한 4가지 제한 시나리오를 제안했음

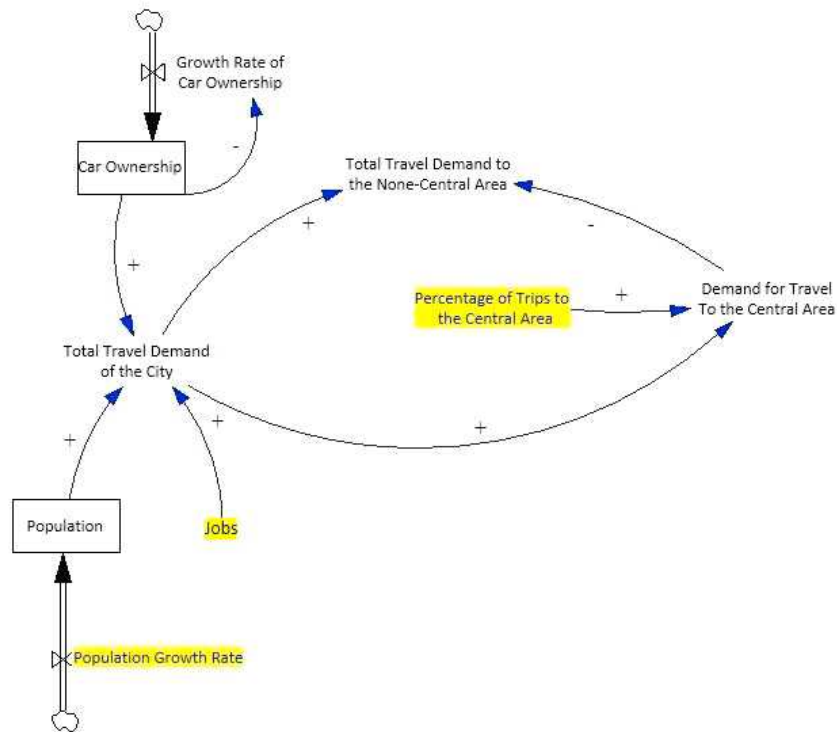
특히 2016년 Mansoori 등이 제시한 교통수요 관리정책의 잠재력과 파급효과의 정도에 따른 우선순위 지정방안은 교통영역 수준의 변화에 따른 분석에 필요한 4단계 운송계획 모델링을 위해서는 종래의 방법보다 더 광범위한 정보가 필요하다는 것을 시사하고 있다. 이는 곧 정보 제약 및 수학 모델링을 통해 제한된 수의 수요관리정책을 평가할 수 있을 것을 입증한 것이다. 아울러 인터뷰방법은 정보수집방법의 오류 등으로 인해 도시일반화정책 모델링 측면에서는 한계에 직면할 수 있다. 따라서 다양한 도시교통 정책에 대한 대규모 평가에 대한 이러한 접근방식은 여러 가지 변수를 고려해야 한다.

2. 시스템역학 모델 구축

SYM(System Dynamical Models : 시스템역학 모델)은 인과관계를 고려한 각 변수 간 피드백 시간이 지남에 따라 파라미터 변수의 대기시간 등으로 인해 다른 모델과 비교하여 장기 평가를 위한 적절한 방법으로 간주된다. 동적 시스템모델(dynamical system model)의 요소는 독립적인 변수(원인), 종속변수(효과), 원인과 효과 간의 관계를 나타내는 기호로 구성되어 있으며 이러한 변수 간의 관계는 피드백 루프를 형성한다. 일반적으로 동적 시스템모델을 구성하는 프로세스는 3단계(동적 시스템 소프트웨어 개념 모델링, 흐름 다이어그램 드로잉, 동적 시스템 모델 개발)로 구성된다. 이 연구에서는 Vensim-SAS(System Analysis Software : 다국적기업 Ventana Systems, Inc.에서 개발한 시스템 분석 소프트웨어)를 이용하여 동적 시스템 분석을 수행하였다. 이 연구의 동적 모델은 거시적 규모의 수준에서 Isfahan시의 교통변수 간의 관계를 보여준다. 이 연구를 위해 고려된 Isfahan시 중심업무지구는 여행/오피스/비즈니스/교육/의료시설을 갖춘 Isfahan시 1지구와 3지구를 포함한 도심에 해당된다. 특히 Isfahan시의 유서 깊은 관광명소에는 매일 약 400,000회의 방문차량이 있다. 그러나 도심거리의 제한된 용량은 이러한 여행수요를 충족시킬 수 없어 도시 관리자는 수요관리정책에 의존하고 있다. 이에 따라 공공요금 인상정책을 시행할 예정이며, 동시에 도심지역의 BRT(Bus Rapid Transit) 라인도 확장될 것이다.

3. 원인 효과 관계 검토

이 연구를 위해 구축된 모델의 CBD(Central Business District : 중심업무지구 - 대도시에서 상업적 기능이 집중된 지역)의 여행수요를 나타내는 인과 다이어그램을 [그림 1]에 나타낸다.



※ 노란색은 입력변수, 청색은 출력변수를 의미함

★ 자료 : Shahrzad Khosravi, Hossein Haghshenas, Vahid Salehi, “ Macro-Scale Evaluation of Urban Transportation Demand Management Policies in CBD by Using System Dynamics Case Study: Isfahan CBD”, Transportation Research Procedia 48 (2020) 2671–2689, p.2677.

[그림 1] CBD의 여행수요 인과 다이어그램

도시의 총 여행수요는 중앙지역으로의 여행에 대한 수요와 비 중심지역에 대한 여행수요로 구분한다. 이 연구에 이용된 모델에서 전동 및 비 동력 여행수요는 중앙 지구에 집중되어 있으며, 4가지 운송수단(자가용 승용차(오토바이 포함), 택시, 버스, 철도)의 가변적 존재를 고려하여 Isfahan시의 지하철 네트워크 영향을 검사하였다. 이 모델에서는 Isfahan시를 중앙지역과 비 중심지구로 나누어 도시전체 총 수요를 파악한 결과, 여행수요와 직접적인 관계를 맺고 있는 3가지 변수(인구/자동차 소유권/고용)에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 인구와 자동차 소유는 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

4. 교통수요관리정책 모델링

Isfahan시의 중심업무지구를 중심으로 진행되고 있는 각 운송 수단별 대중교통 개선현황을 간단히 요약하면 다음과 같다.

■ 버스 및 BRT 네트워크

- 현재 Isfahan시의 중심부에는 매년 약 30대의 버스가 추가 운행되고 있으며, 향후에는 매년 약 60대의 버스가 추가될 예정이다.
- 이로 인해 BRT노선과 버스전용 노선의 길이는 매년 약 1,400m 증가하고 있으며, 버스 서비스개선 정책에 따라 이 노선은 약 2,000미터가 추가될 예정이다.

■ 택시 서비스

- 현재 매년 약 500대의 택시가 추가 운행되고 있으며, 향후에는 매년 약 900대의 버스가 추가될 예정이다.

- Isfahan시의 택시요금은 현재 1Km당 평균 5000IR(리알)이며, 매년 20%씩 인상되는 추세이지만 택시서비스 개선정책에 따라 10%로 인하될 것으로 전망하고 있다.

■ 주차비 정책

- Isfahan시 도심의 주차비 인상 정책으로 도심의 주차비는 시간당 5000 IR(리알)에서 3,000IR(리알)로 인상될 것이다.
- 현재 연간 20%의 인상률은 주차비 인상 정책에 따라 25%로 인상될 것이다.

기타 현재 Isfahan시는 지하철 망이 없어 메트로 네트워크 개발계획을 수립 중이며, 고려중인 모델은 기존 철도시스템을 응용하여 계획하고 있다. 아울러 카풀(carpool)을 장려정책을 지속적으로 시행하여 이용자수가 1.5에서 1.87로 증가한 것으로 나타났다. 나아가 2부제 차량운행 정책을 통해 Isfahan시 중심부의 차량소유권 25% 감소한 것으로 나타났다. Isfahan시의 TDM(transportation demand management : 교통수요관리)정책 기반의 입력변수를 <표 1>에 나타낸다.

<표 1> Isfahan시의 TDM정책 기반의 입력변수

TDM 정책	입력변수
버스 서비스 개선	BACR; BAVR
버스 서비스 및 BRT 네트워크 개발 개선	BACR; BALR; BAVR
택시 서비스 개선	TXKR; TXCR
주차 가격	PARR
자전거시설 개선	BIKF
메트로 네트워크 개발	RAOP
카풀 장려	PCOC

※ BACR : Bus passenger-km cost annual growth rate, BAVR : Bus vehicle number annual growth rate, BALR : Bus vehicle number annual growth rate, TXKR : Taxi passenger-km cost annual growth rate, TXCR : Taxi number annual growth rate, PARR : Parking price in CBD annual growth rate, BIKF : Bike facilities per capita, RAOP : Rail system operates in city(0,1), PCOC : Private cost operating cost per km

- * 자료 : Shahrzad Khosravi, Hossein Haghshenas, Vahid Salehi, “ Macro-Scale Evaluation of Urban Transportation Demand Management Policies in CBD by Using System Dynamics Case Study: Isfahan CBD”, Transportation Research Procedia 48 (2020) 2671-2689, p.2685.

5. 결론

이 연구에서는 시스템역학 분석을 이용하여 Isfahan시 중심업무지구에서 교통으로 인한 대기오염, 에너지 소비, 교통흐름 및 다양한 운송수단의 점유율지표 등에 대한 정책의 영향을 조사하였다. 이러한 정책은 BRT 네트워크 개발 정책, 택시서비스 개선, 도심지역의 주차비 증가, 지하철 네트워크 개발, 자전거 시설 개선, 버스 서비스 개선, 카풀 장려 및 비정상적인 교통제한 등 매우 다양한 이슈에 적용하고 있다. 이 정책의 결과, Isfahan시 중심업무지구의 자가용 승용차의 점유율이 감소한 것으로 나타났다. 특히 BRT 네트워크 개발계획과 택시 서비스 개선계획은 버스와 택시의 이용점유율을 높이는 데 가장 효과적인 정책으로 평가받고 있다. 아울러 지하철 망 개발정책에 따라 버스와 택시의 점유율이 점점 낮아지고 있는 이유는 전체 운송 산업의 9%를 철도운송이 차지하고 있기 때문이다. 나아가 이러한 통합 교통정책을 통해 대기오염과 에너지 소비를 줄이고 교통흐름을 높이는 데 더 큰 영향을 미치고 있다.

이 연구에서는 시스템역학 모델링을 이용하여 교통지역영역(TAZ : traffic area zones) 수준에서 동적 접근방식 및 가능성을 고려한 도시 교통수요관리 정책의 거시적 규모에 대한 평가결과를 제시하고 있다. 이 연구결과는 국내 대도시의 도심, 고속도로 및 자동차 전용 도로에서의 교통 수요관리를 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] Thorpe, N., Hills, P., Jaensirisak, S., 2000. Public attitudes to TDM measures: a comparative study. *Transport policy* 7(4):243–257.
- [2] Arentze, T., Hofman, F., Timmermans, H., 2004. Predicting multi-faceted activity-travel adjustment strategies in response to possible congestion pricing scenarios using an Internet-based stated adaptation experiment. *Transport Policy* 11(1):31–41.
- [3] Habibian, M., Kermanshah, M., 2013. Coping with congestion: Understanding the role of simultaneous transportation demand management policies on commuters. *Transport Policy* 30:229–237.
- [4] Mansoori, H., Haghshenas, H., Esfahani, M. A., 2016. Analyzing Impact of Various TDM Strategies on Personal, Socio-economic and Trip 5 Characteristics of Private Car Users, Case Study: Isfahan, Iran 6.

<원문제목> Macro-Scale Evaluation of Urban Transportation Demand Management Policies in CBD by Using System Dynamics Case Study: Isfahan CBD

<원문출처> Transportation Research Procedia 48 (2020) 2671–2689