Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 25(2) 2022, pp.100-109 ISSN 1226-9719(Print)
https://doi.org/10.11108/kagis.2022.25.2.100 ISSN 2287-6952(Online)

동적 혼잡통행료 적용을 위한 시공간 범위 설정에 관한 연구*

김민정[1] · 김회경[2※]

A Study on the Establishment of Spatiotemporal Scope for Dynamic Congestion Pricing*

Min-Jeong KIM[1] · Hoe-Kyoung KIM[2※]

요 약

한국의 경제성장과 함께 인구와 차량의 대규모 도시 집중에 따라 심각한 도시교통 문제가 초래되고 있다. 혼잡통행료의 징수는 교통수요를 관리하기 위한 가장 효과적인 정책으로 평가받고 있지만 대부분 혼잡이 발생하는 지점이나 교통축을 중심으로 적용되어 그 효과가 제한적이다. 본 연구는 동적 혼잡통행료 징수 체계를 제안하기 위해 부산광역시 206개 교통 분석 존의 평균 통행속도를 이용하여 시공간 큐브 분석(Space-Time Cube Analysis)과 시공간 패턴 마이닝(Emerging Hot Spot Analysis) 기법으로 면적인 개념의 동적 혼잡구역을 도출하였다. 분석 결과, 비 첨두시간인 0시~7시에는 핫스팟이 형성되지 않고, 7시~24시에는 동적 핫스팟이 형성되는 것으로 나타났다. 특히, 특정 시간대(18시~20시)와 특정 지역(서면, 광복동)에 교통 혼잡이 집중하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 동적 혼잡통행료의 징수를 위한 시공간의 분석을 통해 도심에서의 교통수요 관리의 효과가 극대화될 것으로 기대한다.

주요어 : 교통정체, 동적 혼잡통행료, 공간통계기법, 교통 분석 존, 시공간 큐브 분석

ABSTRACT

Large-scale urban concentration of population and vehicles due to economic growth in Korea has been causing serious urban transport problems. Although the collection of congestion pricing has been evaluated as the most effective transportation policy to

2022년 06월 02일 접수 Received on June 02, 2022 / 2022년 06월 24일 수정 Revised on June 24, 2022 / 2022년 06월 24일 심사완료 Accepted on June 24, 2022
* 본 연구는 한국연구재단(과학기술정보통신부)의 연구비를 지원받아 수행한 과제입니다(NRF-2017R1C1B2010451).
1 동아대학교 도시공학과 박사 후 연구원 Postdoctoral Researcher, Dept. of Urban Planning and Engineering, Dong-A University
2 동아대학교 도시공학과 부교수 Associate Professor, Dept. of Urban Planning and Engineering, Dong-A University
※ Corresponding Author E-mail : hoekim@dau.ac.kr

alleviate traffic demand, its effectiveness is very limited as it was just executed around congested points or along main arterial roads. This study derived dynamic congestion zones with the average travel speed of 206 traffic analysis zones in Busan Metropolitan City to propose a dynamic congestion pricing collection system by employing Space-Time Cube Analysis and Emerging Hot Spot Analysis. As a result, dynamic hot spots were formed from 7h to 24h and particularly, traffic congestion was severely deteriorated from 18h to 20h around Seomyeon and Gwangbok-dong. Therefore, it is expected that the effect of dynamic congestion pricing will be maximized in managing traffic demand in the city center.

KEYWORDS : Traffic Congestion, Dynamic Congestion Pricing, Spatial Statistics Method, Traffic Analysis Zone, Space-Time Cube Analysis

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 산업화 이후 급속한 도시화를 경험하면서 현재 도시화율 90%를 상회하는 도시화 종착기에 접어들었다. 경제성장과 함께 대규모 인구가 도시에 집중됨에 따라 교통량 또한 기하급수적으로 증가하여 교통혼잡, 교통사고, 대기오염 등 고질적인 도시교통 문제를 야기하고 있다. 도심의 교통혼잡 문제를 완화하기 위한 수단으로 도로나 주차장의 공급을 통한 교통용량의 증가나 각종 교통수요관리 정책을 시도하고 있으나 교통혼잡으로 인한 사회적 손실 비용은 꾸준히 증가하여 2017년 기준 약 59.6조 원에 육박하고 있다(Cheon, 2020).

교통수요관리를 통한 혼잡 완화 기법으로는 혼잡통행료 징수정책이 가장 효과적인 수요관리 정책 수단으로 알려져 있다. 혼잡통행료 징수방식은 혼잡한 도로를 통과하는 차량들을 대상으로 통행료를 징수하는 방식으로 징수구역의 설정이나 운영이 자유로운 반면 해당 도로를 우회하는 차량들로 인해 주변 도로가 혼잡해지는 정체의 이동(Relocation of Congestion)이라는 문제점이 발생할 수 있다. 실제로 우리나라는 교통수요 억제를 위해 서울특별시 용산구 남산 1, 3호 터널을 대상으로 1996년부터 혼잡통행료를 징수하고 있으나, 혼잡통행료 시행 직후 교통량이 감소하다가 다시 증가하는 추세를 보이고 있으며 한강로와 같은 인근 도로로 혼잡이 가중되는 등 도시 전체적인 교통혼잡을 완화하기에는 역부족이라고 할 수 있다.

이처럼 대부분의 교통혼잡 완화 대책은 혼잡이 발생하는 지점이나 주요 교통축을 중심으로 적용되어 그 효과가 크지 않거나 지속적이지 못하다는 한계가 있다. 한편, 혼잡을 면적으로 정의하는 혼잡구역을 대상으로 혼잡통행료를 징수하는 방식은 시행구역 내에 우회도로를 포함함으로써 교통혼잡 완화 효과가 크고 공간적으로 징수구역이 명확하여 인식도가 높다는 장점이 있다. 또한 혼잡이 특정 도로에만 국한되지 않고 지역 전체에 걸쳐 나타나는 첨두시간대에는 그 효과가 더 뚜렷한 것으로 알려지고 있다(Chung *et al.*, 2006).

본 연구는 면적인 개념의 혼잡구역을 대상으로 동적 혼잡통행료를 징수하는 방안을 제시하고 이를 성공적으로 도입하기 위한 혼잡구역 지정 방법론을 공간통계분석 기법을 통해 제안하고자 한다. 이를 통해 혼잡구역을 우회하는 차량들로 인해 도시 전체적인 교통수요를 도로용량 이하의 수준으로 유지하고, 시간대별로 혼잡통행료를 차등 징수함으로써 첨두시간에 집중하는 교통수요의 분산 효과를 기대할 수 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 부산광역시로 설정

하였다. 부산광역시는 혼잡 완화를 위해 다양한 노력을 기울여 왔음에도 불구하고 서울특별시를 제외한 타 광역시와 비교해 도로 연장 당 혼잡 비용이 상대적으로 큰 광역시이다. 따라서, 부산광역시는 본 연구에서 제안하는 동적 혼잡통행료 징수 체계의 도입을 통한 혼잡 관리가 필요한 광역시라고 할 수 있다.

본 연구는 부산광역시를 대상으로 교통혼잡의 시공간적 패턴을 분석하여 동적 혼잡통행료 징수 체계를 제안하고자 한다. 이를 위해 ArcGIS Pro의 시공간 큐브 분석(Space-Time Cube Analysis)과 시공간 패턴 마이닝(Emerging Hot Spot Analysis) 기법을 활용하였다. 또한 시공간 큐브의 결과를 이용한 Getis-Ord Gi* 통계량 계산 및 검정을 통해 부산광역시의 교통혼잡 핫스팟(Hot spot)과 콜드스팟(Cold spot)을 분석한 후 동적 혼잡구역 정의를 위한 시공간 범위를 도출하였다.

선행연구 고찰

혼잡통행료는 교통시설의 한계사회비용과 한계개인비용의 차이를 통행료형식으로 부과함으로써 도로망을 사용자 균형(User Equilibrium) 상태로 유도하는 한계비용가격(Marginal Cost Pricing) 또는 최적 혼잡통행료(First-optimal Pricing) 이론에 근거를 두고 있다(Im and Kim, 2007). 혼잡통행료 부과 방식은 크게 교통축을 대상으로 징수하는 Corridor 방식과 구역을 대상으로 징수하는 Cordon 방식으로 구분된다. Corridor 방식은 징수 지점을 자유롭게 선정할 수 있다는 장점이 있지만 일부 축에서만 시행될 때 우회통행으로 인해 혼잡감소 효과가 미흡하다는 문제가 있다. Cordon 방식은 우회도로를 차단하여 시행구역 내 혼잡 완화 효과가 크고 공간적으로 징수구역이 명확하여 인식도가 높다는 장점이 있다(Cheong, 2006).

특정한 지점이나 구간이 아닌 혼잡구역을 대상으로 통행료를 징수하는 사례는 주로 해외의 도시에서 찾아볼 수 있는데, 런던, 싱가포르 ERP ALS, 노르웨이, 스톡홀름 등에서 혼잡구역을 대상으로 혼잡통행료를 징수한 결과, 교통량 감소, 통행시간 단축, 그리고 대중교통 전환율 증가와 같은 긍정적인 효과가 나타났다(Holland and Watson, 1978; Harrison *et al.*, 1986; Larsen and Ramjerdi, 1991; Greater London Authority, 2001; Mun *et al.*, 2005).

동적 혼잡통행로는 미국 캘리포니아의 SR 91, 샌디에이고의 I-15, 미네소타의 I-394 고속도로, 프랑스 북부고속도로(A1), 남동고속도로(A5/A6), 캐나다 온타리오의 407 고속도로 등에서 시행되고 있다(Han, 2009). 1995년 미국 캘리포니아 SR 91에서 최초의 다인승 유료도로(High Occupancy Toll, HOT) 운영되면서 정책결정자로부터 혼잡통행료에 관한 관심을 받게 되었으며 이용자의 통행료 불확실성을 최소화하기 위해 사전에 정해진 시간대별 통행료를 징수하는 체계를 도입하였다(Orski, 2008). 이는 노선에 따른 차별화된 혼잡통행료보다는 교통량이 일시적으로 증가하는 출·퇴근 시간대의 교통혼잡을 완화하기 위한 수단으로 적용되었다(Lee *et al.*, 2004). 스웨덴 스톡홀름도 SR 91과 마찬가지로 도심부를 진입하는 차량에 대해 사전에 정의된 시간대별로 차별화된 혼잡통행료를 징수하고 있다(Byeon and Kim, 2004). 이와 같은 동적 혼잡통행료 징수방식은 기존의 고정식 방식과 비교해 교통체계의 불확실성, 무작위성, 그리고 시간 변동성을 반영할 수 있는 합리적이고 효과적인 방식이라고 할 수 있다(Cheng *et al.* 2017).

Cheng *et al.*(2019)은 이동 거리와 지체 시간을 고려하여 30분 단위로 갱신되는 동적 혼잡통행료를 제안하였으며, 기존의 고정 혼잡통행료보다 7.45%의 통행시간을 줄일 수 있고 특히 대도시 지역에 구현할 경우 전체 시스템 이동 시간의 총량을 크게 감소할 수 있을 것으로 예상하였다. Jang(2014)은 미국 샌프란시스코 고속도로의 다인승 유료도로(HOT)를 대상으로 개인의 시간가치(Value of Time, VOT) 차이를 고려한 동적 혼잡통행료 전략을 제안하였으며, 이를 통해 차량 지체를 감소할 수 있음을 확인하였다.

전술한 도시들을 대상으로 시도된 혼잡통행료 징수방식에 관한 연구들은 징수대상의 시공간적 범위의 설정에 대한 구체적인 논의가 이뤄지지 않았다. 도시교통의 특징 중 하나는 교통혼잡이 인접한 도로와 공간적인 상관관계가 있으며 시공간적으로 전파될 수 있다는 점에서 교통혼잡 특성을 시공간적으로 군집화하는 연구들이 수행되어왔다. 어떤 도로가 정체되면 주변 도로가 정체될 확률이 멀리 떨어져 있는 도로보다 높으며(Saeedmanesha and Geroliminisa, 2017) 이러한 공간적 상관관계는 서로 동질적이면서 공간적으로 연결되어 있는 여러 지역에서 설명될 수 있다(Ji *et al.*, 2014). Han and Moutarade (2013)은 교통혼잡의 이러한 시공간적 상관관계를 군집화 기법을 통해 살펴보고 시뮬레이션 기법을 통해 교통혼잡의 시공간적 패턴을 분석하였고, Anbaroglu *et al.*(2014)은 구간 통행시간의 시공간적 동질성을 군집화하였고, Li *et al.*(2007)은 교통밀도를 기반으로 유사한 특성을 갖는 혼잡 도로를 군집화하는 연구를 수행하였다.

앞서 언급된 다수의 연구들은 교통혼잡의 시공간적 군집화를 통해 시공간적 상관관계 및 특성을 파악하였다는 점에서 본 연구와 유사하나, 그들의 연구는 대부분 점이나 선 개념의 특정 장소나 도로를 대상으로 수행되었으며, 공간통계기법 등을 통한 시공간적 상관관계를 분석하지는 않았다. 따라서, 본 연구는 동적 혼잡통행료 징수의 적정 시공간 범위를 정의하기 위해 공간통계기법을 활용하여 특정 장소나 도로가 아닌 시공간 혼잡구역을 도출한다는 점에서 기존 연구들과 차별성이 있다.

부산광역시 동적 혼잡통행료 징수구역 설정

1. 분석의 틀

1) 시공간 큐브 분석(Space-Time Cube Analysis)

본 연구는 부산광역시 동적 혼잡통행료 징수구역 설정을 위해 핫스팟 분석을 수행하였다. 일반적인 핫스팟 분석은 공간적으로 밀집한 혼잡지역을 찾아내지만, 시간적인 요소를 반영하지는 못한다. Getis-Ord Gi* 기법 등을 통해 개별 시간마다 독립적으로 핫스팟 분석을 시행할 경우, 24시간 중 가장 혼잡한 지역을 도출하고자 하는 본 연구의 목적과는 상이한 결과가 도출될 수 있다. 따라서 본 연구는 ArcGIS Pro에서 제공하는 시공간 큐브 분석(Space-Time Cube Analysis)을 활용하여 부산광역시 206개 교통 분석 존의 교통혼잡을 시공간적으로 동시에 분석하였다. 시공간 큐브 분석은 시공간 데이터를 3차원의 큐브에 표현하는 시각화 기술로 시간의 흐름에 따른 교통혼잡 공간 패턴 변화를 분석하기에 용이한 기법이다.

2) 시공간 패턴 마이닝(Emerging Hot Spot Analysis)

본 연구는 혼잡특성이 군집적으로 나타나는 영역을 도출하기 위해 앞서 생성된 시공간 큐브의 각 데이터(bin)에 Getis-Ord Gi* 통계량을 계산하고 일정한 시공간 범위 내 군집 경향을 통계적으로 검정하는 방법을 활용하였다. 이를 통해 교통혼잡의 시공간적 분포 특성을 파악하고 통계적으로 유의미한 정도에 따라 혼잡구역을 설정하였다. Getis-Ord Gi*는 중심 데이터(cell)와 주변 데이터들(cells)을 포함하는 전체를 한꺼번에 평가하여 통계적으로 양의 값을 가지는 핫스팟과 음의 값을 가지는 콜드스팟을 분석할 수 있으며 시공간 패턴 마이닝 기법은 시공간 큐브를 활용하여 공간뿐만 아니라 시간적으로 인접한 데이터들(cells)까지 고려할 수 있다.

또한 시간의 흐름에 따라 공간적 혼잡구역의 범위가 증가하거나 감소하는데, 본 연구는 이러한 공간적 핫스팟 및 콜드스팟의 시계열적 추세를 시공간 패턴 마이닝 기법의 Mann-Kendall 검정을 통해 평가하고 있다. Mann-Kendall 검정은 시간 순서에 대한 데이터(bin)들의 순위 상관분석으로 각 큐브의 연속된 값들의 상관성 강도를 측정하여 +1, −1, 0으로 환산한 후 같은 위치의 모든 데이터(bin)의 z-score 및

p-value 값을 통해 통계적으로 유의미한 시간적 추세의 존재 여부를 검정하는 방식이다.

2. 분석지표 및 데이터

동적 혼잡통행료 징수를 위한 시간대별 혼잡구역을 도출하기 위해 한국교통연구원(KOTI) View-T 3.0 사이트(https://viewt.ktdb.go.kr)에서 제공하는 2019년 시간대별 주요 간선도로별 구간 통행속도를 사용하였다. 부산광역시 206개 교통 분석 존(Traffic Analysis Zone, TAZ)을 대표하는 존별 평균 통행속도는 식 1의 방법으로 산출하였다. 개별 교통 분석 존에 위치하는 전체 도로 연장의 합을 개별 도로를 주행하는 통행시간의 합으로 나누어 공간평균속도를 산정하였다. 이 과정을 거쳐 구해지는 분석 결과는 통행속도가 높은 교통 분석 존을 중심으로 핫스팟을 형성함으로 존별 평균 통행속도의 역수를 시공간 핫스팟 분석의 입력 값으로 이용하였다. 다시 말해, 평균 통행속도가 낮은 교통 분석 존(정체가 심한 교통 분석 존)을 중심으로 핫스팟을 도출하기 위한 과정이라고 할 수 있다.

$$SMS_j = \frac{\sum d_{ij}}{\sum \frac{d_{ij}}{v_{ij}}} = \frac{\sum d_{ij}}{\sum t_{ij}} \quad (1)$$

SMS_j : 교통 분석 존 j의 공간평균속도(Space Mean Speed, kph)

d_{ij} : 교통 분석 존 j에 위치하는 도로 i의 길이(㎞)

v_{ij} : 교통 분석 존 j에 위치하는 도로 i의 속도(kph)

t_{ij} : 교통 분석 존 j에 위치하는 도로 i의 통행시간(h)

부산광역시 206개 교통 분석 존에서 고지대에 위치하여 View-T 3.0에서 고려하는 간선도로 수준의 도로가 통과하지 않는 존이 8개(동삼2동, 신선동, 구평동, 복산동, 개금2동, 수정1동, 수정4동, 초량6동) 존재하며, 이들 존의 평균 통행속도는 주변 존의 평균 통행속도를 산술평균하여 보정하였다.

부산광역시 동적 혼잡통행료 징수구역 도출

본 연구는 부산광역시 교통 분석 존별 혼잡수준을 시공간적 체계에서 분석하기 위해 그림 1과 같이 시공간 큐브를 생성하였다. 존별로 0시를 시작으로 1시간 간격으로 24시간 동안 평균통행속도의 역수를 순차적으로 정렬하였다. 개별 시간마다 206개의 데이터(bin) 그리고 전체 시간 범위에서 4,944개(206 존×24시간)의 데

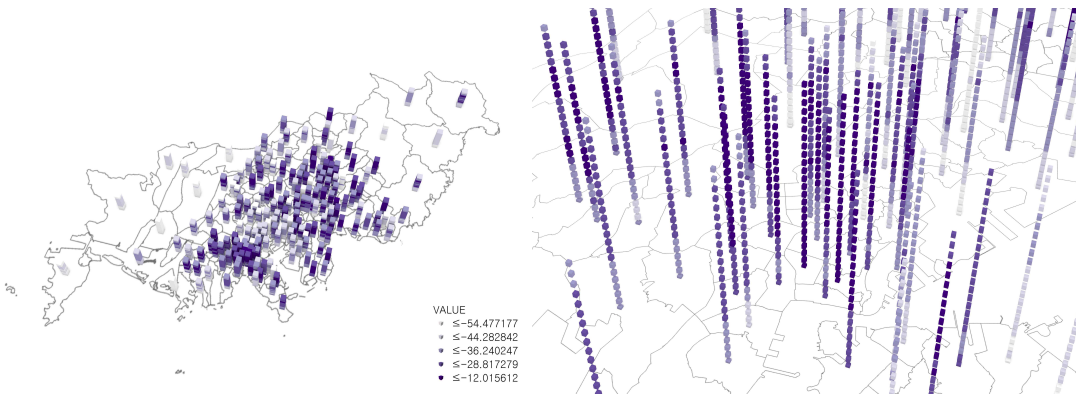

FIGURE 1. Space-time cube with average speed of TAZ in Busan

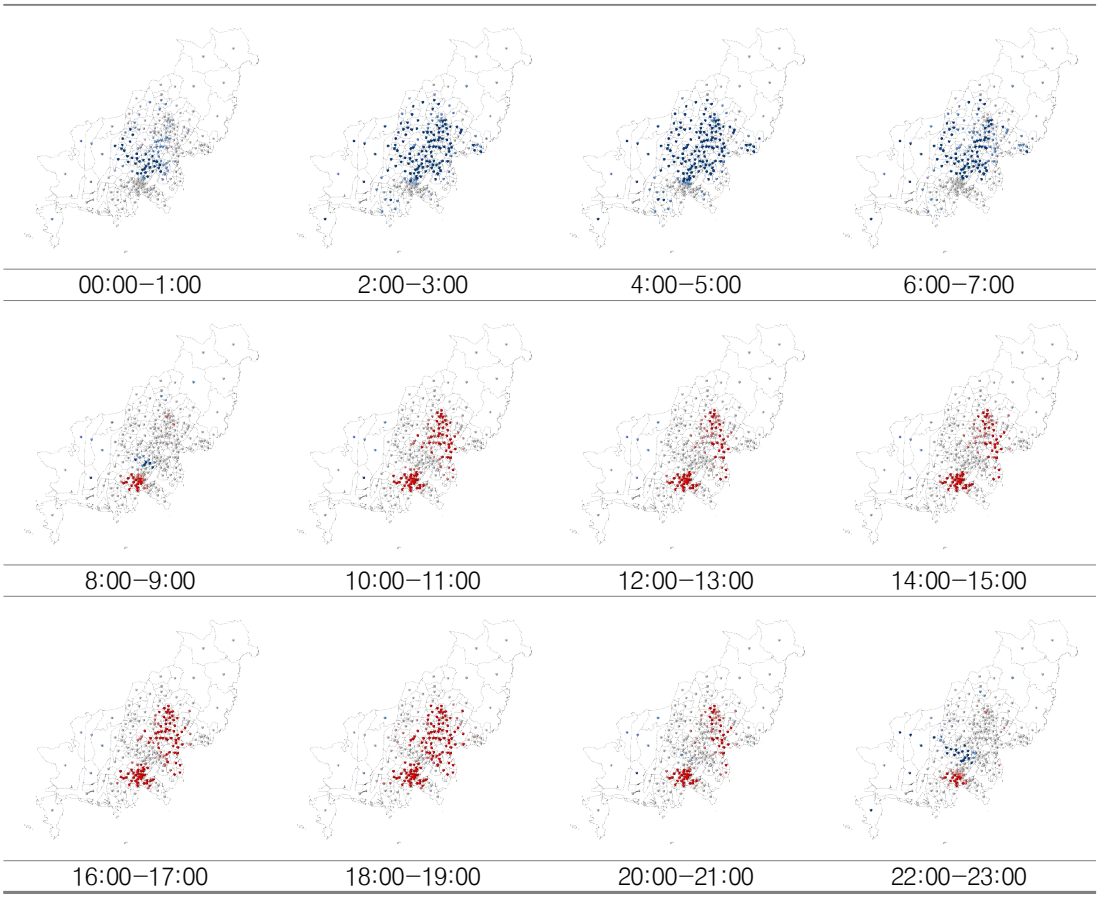

FIGURE 2. Spatiotemporal hot spot analysis with average speed of TAZ in Busan

이터(bin)가 생성되었다. 전반적인 존별 혼잡수준의 시계열 경향성을 살펴보면 z-값은 2.5052, p-값은 0.012로 부산광역시의 교통혼잡은 0시부터 24시까지 점차 증가하는 경향을 보이고 있지만, 일부 존이나 특정 시간대를 중심으로 혼잡이 집중하는 경향을 확인할 수 있다.

본 연구는 시공간 관계를 고려한 부산광역시 교통혼잡 패턴을 분석하기 위해 앞서 생성된 시공간 큐브를 이용하여 시공간 패턴 마이닝(Emerging Hot Spot Analysis)을 수행하였다. 핫스팟 분석을 통해 공간 관계 값을 기반으로 각 데이터(bin)의 통계치를 계산하였으며 시공간 핫스팟 패턴을 생성하기 위해 Getis-Ord Gi^* 공식을 사용하였다. 본 연구는 이웃거리(Neighborhood Distance) 및 전역 창(Global Window) 매개변수를 ArcGIS Pro에서 제공하는 고정 거리(Fixed Distance) 값과 모든 데이터의 자기상관 관계를 고려하기 위해 전체 큐브(Entire Cube)로 설정하여 분석을 수행하였다.

그림 2는 시공간 패턴 마이닝 기법으로 분석한 2019년 부산광역시 시간대별 혼잡구역 핫스팟 분석 결과를 제시하고 있다. 비 첨두시간인 0시에서 7시 사이에는 핫스팟이 형성되지 않는 것으로 나타났으며, 7시에서 24시 사이에는 동적 핫스팟이 형성되는 것으로 나타났다. 특히 18시~19시 교통 혼잡구역이 가장 넓게 분포하며 161개 교통 분석 존(신뢰수준 99% 이상 128개 + 신뢰수준 95% 이상 14개 + 신뢰수

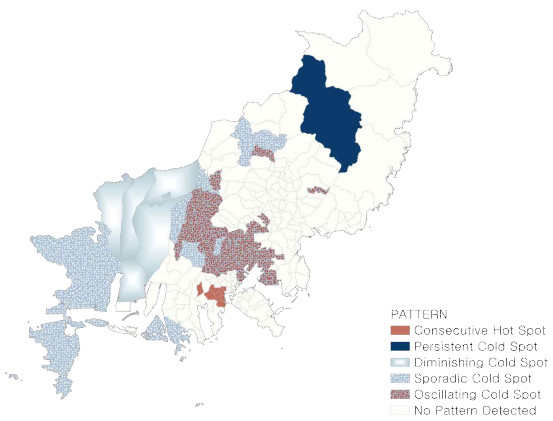

FIGURE 3. Emerging hot spot analysis with average speed of TAZ in Busan

준 90% 이상 19개)이 핫스팟으로 분류되었다. 다음으로 19시~20시 130개 교통 분석 존(신뢰수준 99% 이상 108개 + 신뢰수준 95% 이상 14개 + 신뢰수준 90% 이상 8개)이 핫스팟으로 분류되었다. 이는 해당 시간대(18시~20시)가 퇴근 후 교통량이 집중되는 오후 첨두시간대로 상업·업무시설이 밀집한 서면, 광복동 등의 도심을 중심으로 넓게 형성되는 것으로 나타났다.

오전 첨두시간과 오후 첨두시간 사이 시간대에도 지속해서 핫스팟이 도출되는 것으로 나타났다. 그림 3은 이러한 시계열적 경향성을 제시하고 있으며, 대부분의 존에서 시계열적 경향성을 특정할 수 없지만, 일부 존에서 오전 첨두시간을 기점으로 심야 시간까지 통계적으로 핫스팟 존으로 정의되는 연속형 핫스팟(Consecutive Hot Spot)의 경향을 보이고 있다. 부평동, 충무동, 초장동, 아미동, 남부민1동, 남부민2동, 감천2동, 괴정3동이 연속형 핫스팟 존으로 분류되며 특히 이 존들을 중심으로 좀 더 강력한 혼잡통행료 징수 체계를 적용할 필요가 있으며, 하루 중 일시적으로 교통혼잡이 집중되는 존들은 단기적인 혼잡 관리가 필요하다.

본 연구는 부산광역시 206개 교통 분석 존의 평균속도를 이용하여 시공간 혼잡구역을 분석한 결과를 근거로 다음과 같이 두 가지 동적 혼잡통행료 징수방식을 제안한다.

첫 번째는 핫스팟으로 도출된 시공간 징수범위에 대해 동일한 수준의 혼잡통행료를 징수하는 방식이다. 해당 방식 적용 시 동적으로 혼잡구역이 정의되지만, 일정한 통행료를 징수함에 따라 운전자의 혼란이 적으며 운영이 용이하다는 장점이 있다. 이 방식은 교통수요의 공간적인 분산을 기대할 수 있지만, 시간대별 분산 효과는 기대할 수 없다.

두 번째는 핫스팟으로 도출된 시공간 징수범위에 대해 혼잡수준에 따라 시공간적으로 차등 혼잡통행료를 징수하는 방식이다. 해당 방식 적용 시 혼잡시간대에 혼잡구역을 주행하는 운전자에게 더 높은 통행료를 징수하고, 덜 혼잡한 시간대와 덜 혼잡한 구역을 주행하는 운전자에게는 낮은 통행료를 징수함으로써 형평성 있는 통행료 징수가 가능할 것으로 기대되며 교통수요의 시공간적 분산 효과를 기대할 수 있다.

결 론

본 연구는 기존의 혼잡통행료 징수구역 설정 방식 및 혼잡기준 정의의 문제점을 지적하고 동적 혼잡통행료 징수를 위한 새로운 시공간 혼잡구역 설정 방식을 제시하고 있다. 부산광역시 206개 교통 분석 존의 평균 통행속도를 이용하여 시공간 큐브 분석(Space-Time Cube Analysis)

과 시공간 패턴 마이닝(Emerging Hot Spot Analysis) 분석기법을 통해 동적 교통혼잡 구역을 분석한 결과, 비 첨두시간인 0시~7시에는 핫스팟이 형성되지 않고, 7시~24시에는 동적 핫스팟이 형성되는 것으로 나타났다. 특히, 18시~20시에 상업 · 업무시설이 집중된 서면, 광복동 등의 도심을 중심으로 상당히 넓은 지역에서 교통 혼잡구역이 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 특정 교통 분석 존에서는 하루 중 장시간 혼잡구역으로 정의되어 강력한 교통수요 관리 정책이 요구된다고 할 수 있다.

본 연구의 결과를 기반으로 동적인 혼잡구역을 대상으로 동일한 혼잡통행료를 징수하는 방식과 차등 혼잡통행료를 징수하는 방식을 제안할 수 있으며, 이 두 가지 징수방식은 혼잡통행료에 대한 운전자의 순응도, 혼잡통행료 징수에 대한 운영 용이성, 교통혼잡 유발자에 대한 원인자 부담원칙, 교통 인프라의 이용 형평성 등의 기준으로 선택적으로 운영할 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구는 동적 혼잡통행료 징수 범위를 설정하기 위해 시공간적으로 교통혼잡이 집중하는 위치를 파악하고 설정된 범위에 대한 동적 혼잡통행료 징수 방식을 제안하였다. 해당 구역에 대해 실제로 혼잡통행료를 징수하기 위해서는 사전에 혼잡통행료 징수에 따른 교통영향을 평가하여야 하며, 구역 내부 주민의 소득수준이나 통행자 특성, 대상지 및 인접지 거주민의 민원 등 다양한 요소를 감안하여 경계설정에 충분한 검토가 이루어져야 하지만 이에 대한 검토가 이루어지지 않았다는 한계를 가지고 있다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 고려 요소를 반영하여 대상 범위를 조정하고, 교통시뮬레이션 또는 모의실험을 통해 동적 혼잡통행료 운영기법의 효과를 평가하고자 한다.

또한 설정된 시공간 범위를 대상으로 동적 혼잡통행료를 적용하면 시간마다 징수경계가 달라져 운전자의 혼란을 유발할 수 있다. 따라서 실제 동적 혼잡통행료의 적용 시 구역 진입부에 가변정보판(Variable Message Sign)을 설치하거나 실시간 교통정보를 반영한 내비게이션 등과 같은 모빌리티 서비스를 통해 고지하는 방안을 마련해야 할 것이다. KAGIS

REFERENCES

Anbaroglu, B., Heydecker, B. and Cheng, T. 2014. Spatio-temporal clustering for non-recurrent traffic congestion detection on urban road networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 48:47-65.

Byeon, W.H. and Kim, H.S. 2004. Stockholm City Congestion Toll Collection System. Transportation Technology and Policy 1 (2): 71-84 (변완희, 김희삼. 2004. 스톡홀름시의 혼잡통행료 징수 체계. 대한교통학회 교통기술과정책 1(2):71-84).

Cheng, Q., Liu, Z., Liu, F. and Jia, R. 2017. Urban dynamic congestion pricing: an overview and emerging research needs. International Journal of Urban Sciences, 21(sup1):3-18.

Cheng, Q., Liu, Z. and Szeto, W. Y. 2019. A cell-based dynamic congestion pricing scheme considering travel distance and time delay. Transportmetrica B: Transport Dynamics, 7(1):1286-1304.

Cheon, S.H., Kim, S.M. and LEE. C.Y. 2020. Paradigm Change in Traffic Congestion Cost Estimation and Results of Traffic Congestion Cost Estimation in 2017. Monthly KOTI Magazine on Transport 11-16 (천승훈, 김성민, 이채영. 2020. 교통혼잡비용 추정의 패러다임 변화와 2017년 교통혼잡비용 추정결과, 한국교통연구원 월간교통 11-16).

Cheong S.Y. 2006. Cases of Introduction of Foreign Traffic Congestion Toll Policy.

Korea Research Institute for Human Settlements Construction Economy 2006 (47):78-85 (정선영. 2006. 외국의 교통혼잡통행료 정책 도입 사례. 국토연구원 건설경제 2006(47):78-85).

Chung, I.H., Chung, S.Y., Lim, Y.T. and Lee, B.J. 2006. A Study on Enhancing the Acceptability of Road Congestion Pricing Policy. Korea Research Institute for Human Settlements 206(32) (정일호, 정선영, 임영태, 이백진. 2006. 효율적인 교통혼잡 통행료 정책 도입방안 연구. 국토연구원 206(32)).

Dynamic clustering and propagation of congestion in heterogeneously congested urban traffic networks. Transportation research procedia, 23:962-979.

Greater London Authority. 2001. The Mayor's Transport Strategy, City of London.

Han, S.Y. 2009. Policy Scheme for Improving Use Efficiency in Domestic Expressway: Focused on Differentiated Pricing System. The Korea Transport Institute. 1-97 (한상용. 2009. 국내 고속도로 이용 효율성 증대방안 연구: 고속도로 차등요금제를 중심으로. 한국교통연구원 1-97).

Han, Y. and Moutarde, F. 2013. Statistical traffic state analysis in large-scale transportation networks using locality-preserving non-negative matrix factorisation. IET Intelligent Transport Systems, 7(3):283-295.

Harrison, B. 1986. Electronic road pricing in Hong Kong: 3. Estimating and evaluating the effects, Traffic Engineering and Control 27(1):13-18.

Holland, E.P. and Watson, P.L. 1978. Traffic restraint in Singapore, Traffic Engineering and Control. 19:14-22.

Im, Y. and Kim, B., 2007. A Multiple User Class Congestion Pricing Model and Equity, Journal of Korean Society of Transportation. 25(5):183-193 (임용택, 김병관. 2007. 혼잡통행료 산정모형의 개발 및 계층간 형평성 연구. 대한교통학회지 25(5):183-193).

Jang, K., Chung, K. and Yeo, H. 2014. A dynamic pricing strategy for high occupancy toll lanes. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 67:69-80.

Ji, Y., Luo, J. and Geroliminis, N. 2014. Empirical observations of congestion propagation and dynamic partitioning with probe data for large-scale systems. Transportation Research Record, 2422(1):1-11.

Larsen, O. and Ramjerdi, F. 1991. Road Pricing as a Means of Financing Investment in Transport Infrastructure—The Case of Oslo, Institute of Transport Economics, Oslo.

Lee, J.Y., Lee, G.Y. and Jang, M.S. 2004. Review of Congestion Toll Introduction Plan on Expressway. Korea Road & Transportation Association 97:14-27 (이정윤, 이기영, 장명순. 2004. 고속도로에서의 혼잡통행료 도입방안 검토. 한국도로교통협회 97:14-27).

Li, X., Han, J., Lee, J. G. and Gonzalez, H. 2007. Traffic density-based discovery of hot routes in road networks. In International symposium on spatial and temporal databases. 441-459. Springer, Berlin, Heidelberg.

Mun, S.I., Konishi, K.J. and Yoshikawa, K.

2005. Optimal cordon pricing in a non-monocentric city. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 39(7-9): 723-736.

Orski, C. K. 2008. Highway tolling has entered the mainstream. Public Works Management & Policy, 12(4):548-550.

Saeedmanesh, M. and Geroliminis, N. 2017.

KAGIS