

# 자율주행시대의 Flex Zone 도입과 입지 최적화 방안 연구: 수정된 MCLP 알고리즘을 기반으로

박진우<sup>1</sup> · 최우철<sup>2</sup> · 김정화<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경기대학교 스마트시티공학부 도시·교통공학전공 석사과정, <sup>2</sup>성균관대학교 수학과 조교수,

<sup>3</sup>경기대학교 스마트시티공학부 도시·교통공학전공 조교수

## Allocation Modeling for Flex Zone on Curb Space Use in an Era of Autonomous Driving

PARK, Jinwoo<sup>1</sup>  · CHOI, Woocheol<sup>2</sup>  · KIM, Junghwa<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Master Course, Department of Urban & Transportation Engineering, College of Creative Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi 16227, Korea

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Urban & Transportation Engineering, College of Creative Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi 16227, Korea

\*Corresponding author: junghwa.kim@kyonggi.ac.kr

### Abstract

With the nationwide trend, the number of cars registered per capita is increasing, and numerous efforts are currently being made to meet the growing demand for vehicles on the road. Self-driving technology is also one of these efforts, and this study attempts to present the concept of self-driving cars through road reorganization and maintenance corresponding to the introduction of self-driving vehicles. The Flex Zone is a concept that first appeared in the Seattle Urban Comprehensive Plan in 2017 and refers to a road using a multi-purpose curb space that utilizes road use priorities according to land use. The road occupancy area required for system-based autonomous vehicle traffic is expected to decrease compared to the same number of general vehicles passing through, which will allow for the creation of spare sites along with the increase in the capacity of road space. This study aims to establish a new concept of Flex Zone that can respond to autonomous driving era by subdividing the existing multi-purpose Use case for free space on the road that can occur in the autonomous vehicle era, build an optimization algorithm for multi-purpose placement considering accessibility, and check the operation characteristics by time. To this end, demand estimation data were aggregated using the collected image data after selecting the spatial range, and the MCLP (Maximum Covering Location Problem) that maximizes the demand for use of the Flex Zone was used for model construction. According to the analysis through the constructed algorithm, the optimized use case arrangement varies by time zone, and accordingly, it was confirmed that the purpose of using the road curb space could change dynamically depending on the time zone, passage traffic volume, and surrounding land use.

**Keywords:** autonomous vehicle, flex zone, genetic algorithm, location optimization, maximal covering location problem

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.40, No.5, pp.750-761, October 2022  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2022.40.5.750>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 28 July 2022

Revised: 31 August 2022

Accepted: 21 September 2022

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 초록

전국적인 추세로 1인당 자동차 등록대수는 증가하고 있으며, 현재 도로에서는 늘어나는 차량의 수요를 감당하기 위한 수많은 노력이 행해지고 있다. 자율주행 기술 또한 이러한 노력 중 하나이며, 본 연구에서는 자율주행차량의 도입 시 이에 대응하는 도로의 개편, 정비를 통한 자율차 맞춤형 도로의 개념을 제시하고자 한다. 플렉스 존(Flex Zone)은 2017년 시애틀 도시종합계획에서 처음 등장한 개념으로 토지 이용에 따른 도로 이용 우선 순위를 활용한 다목적 연석 공간(Curb Space) 활용 도로를 의미한다. 시스템 기반의 자율차 통행에 필요한 도로 점유면적은 동일한 수의 일반차량이 통행하는 것 보다 감소할 것으로 예상되며 이는 곧 도로공간의 용량증대와 함께 여유부지의 발생이 가능토록 한다. 본 연구에서는 자율차 시대에 발생할 수 있는 도로 위의 여유공간을 대상으로 포괄적인 기존의 다목적 활용방안인 유즈케이스를 세분화하여 자율주행시대 대응할 수 있는 플렉스 존의 개념을 새로이 정립하고, 접근성을 고려한 다목적 용도 배치를 위한 최적화 알고리즘을 구축하고 시간대별 운영 특성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 공간적 범위 선정 후 수집된 영상자료를 활용하여 수요 추정 데이터를 집계하였으며, 모델 구축에는 플렉스 존의 이용 수요를 최대화하는 MCLP(Maximal Covering Location Problem)를 활용하였다. 구축된 알고리즘을 통해 분석한 결과 최적화된 유즈케이스의 배치는 시간대별로 상이하게 나타나는 것으로 도출되었으며 이에 따라 도로 연석공간의 사용 목적이 시간대와 통과교통량 그리고 주변 토지이용에 따라 동적으로 변화될 수 있음을 확인할 수 있었다.

**주요어:** 자율주행, 플렉스 존, 유전 알고리즘, 입지 최적화, MCLP

## 연구의 배경 및 목적

일반적으로 도로의 사용은 차량, 보행자, 자전거 등과 같은 이동수단별 전용도로 설치를 통해 제공되며, 설치된 도로는 각 이동수단의 규격, 서비스 수준에 맞게 설계되어 있다. 이때 각 이동수단은 보행자를 제외한 타 수단의 도로를 침범할 수 없다. 이에 따라, 도로에서 사용되지 못하는 유휴공간이 많아지게 되면서, 도로의 성능을 제대로 활용하지 못하는 경우가 생기며, 단위 시간당 통행 횟수 및 통행 속도에도 악영향을 미쳐 도로의 용량이 감소되는 문제점이 존재한다. 전국 평균 1인당 자동차 등록대수는 2003년 0.3에서 2021년 0.5로 지속적으로 증가하는 추세이며(KOISIS, 2021), 현재 도로에서는 늘어나는 차량의 수요를 감당하기 위한 수많은 노력이 행해지고 있다. 자율주행차량의 도래(Rad et al., 2020)는 이러한 노력 중 하나이며, 자율주행차량의 도입을 통해 도로의 용량 증가 및 원활한 교통류의 흐름, 기존 주차 공간의 다목적 공간으로의 전환과 같은 효과를 기대할 수 있다. 자율주행차량이 도입되면 인적 요인들이 배제되고 군집주행으로 인한 평균주행속도 상승, 교통흐름 안정화, 도로용량 증대의 효과가 예상된다(Jung et al., 2017). 이에 대응하여 교통에서 차량 이외의 요소인 도로의 개편, 정비를 통해 도로 이용 효율을 극대화하는 동시에 이용자 입장에서 용이한 자율차 맞춤형 도로의 필요성이 대두된다. 이러한 목적을 효율적으로 달성하기 위해 플렉스 존(Flex Zone)의 개념이 응용되어질 수 있다. 플렉스 존은 본래 다목적 연석 공간 활용 도로를 의미하는 것으로 제시되었으나(ITF, 2018), 본 연구는 자율차시대에 대응하여 자율차 통행으로 인한 잉여 도로용량 및 공간을 이용자 입장에서 multi-modal-multi-use가 효율적으로 가능하도록 배치하는 것을 플렉스 존의 핵심 개념으로 제시한다. 그러나 종래의 플렉스 존은 도로의 사용 목적을 단순화하여 주변 토지 사용 용도에 따른 우선 순위를 지정하고 연석 공간에 유즈케이스를 배치하는 방법으로 인해 플렉스 존의 성능을 효과적으로 발전시킬 수 있는 여지가 존재한다.

본 연구에서는 MCLP(Maximal Covering Location Problem) 알고리즘을 수정 변형하여 수요를 최대화하는 유즈케이스의 입지를 결정함과 동시에 각 유즈케이스의 중요도와 접근 시간을 고려한 플렉스 존 입지 최적화 모델을 구축하고, 이를 활용한 플렉스 존의 배치를 통해 자율주행시대에 효율적으로 대응하는 도로 운영방안을 마련하고자 한다.

## 선행연구 검토

본 연구는 도로 이용의 효율성을 높이기 위해 유휴공간의 후보지로 선택될 수 있는 연석 공간의 사용에 관한 선행 연구를 중점적으로 검토하였다. Shepard(2018)는 노상 주차에 초점을 맞춘 연석 공간 이용에서 이용자와 화물을 위한 상하차를 포함하는 유연한 공간 할당으로의 전환을 검토하였다. 대중교통 및 기타 형태의 공유 이동을 통한 도로 용량 증대에 따른 잔여 공간에 6개의 유즈케이스를 포함한 새로운 형태의 복합적 도로 플렉스 존의 개념을 제시하였다. 플렉스 존의 유즈케이스와 토지 사용에 따른 유즈케이스 우선순위는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Seattle flex zone functions prioritized based on surrounding land use

	Residential	Commercial & mixed use	Industrial
1	Mobility (modal plan priorities)	Mobility (modal plan priorities)	Mobility (modal plan priorities)
2	Access for people	Access for commerce	Access for commerce
3	Access for commerce	Access for people	Access for people
4	Greening	Activation	Storage
5	Storage	Greening	Activation
6	Activation	Storage	Greening

source: reorganized by researcher based on Shepard (2018).

Cao et al.(2017)은 취리히 일부 지역을 대상으로 행위자 기반 모델을 사용하여 Cruising-for-parking에 소요되는 추가 통행 시간과 거리를 산출하였다. 분석 결과, 정오에 가장 나쁜 조건이 발생하였으며, 시간대별로 Cruising-for-parking 통행 시간 및 거리가 상이함을 확인하였다. Yu and Bayram(2021)은 연석 공간의 전통적인 사용 목적인 주차 외에 전반적인 운송 시스템의 성능을 향상시키기 위해 다양한 용도에 대한 연석 공간의 할당을 연구하였다. 이를 위해 교통 네트워크 내에 기존 노상 주차 공간의 수를 감안하여 주차, 승하차, 상하차에 따라 연석 공간을 유연하게 할당하는 것을 고려한 Curb space allocation model을 구축하였으며, 모델을 단순화한 Curb space allocation heuristic을 제시하였다. Heuristic algorithm을 통해 최적의 동적 연석 공간 할당 정책을 도출하고, 정적 연석 공간 할당 정책과 비교 분석하여 동적 정책이 차량의 지·정체와 총 주행 거리를 개선함을 확인하였다. Curb space allocation model의 목적함수는 Equations 1, 2, 3과 같다.

$$\max F(A_z^h) = \sum_{h=0}^{|H|-1} \sum_{t=1+h}^{\frac{|T|}{|H|}} N_p^t \cdot \rho_p - \nu^t \cdot c_d \tag{1}$$

$$s.t. \sum_{z \in \{P, PD, LU\}} A_z^h = M_A \cdot \forall h \in H \tag{2}$$

with multiple constraints

$$A_z^h \geq 0 \forall z \in \{P, PD, LU\}, h \in H, \tag{3}$$

여기서,  $A_z^h$  : The number of allocated curb spaces for the curb use  $z$  in epoch  $h$ ,

$N_p^t$  : Number of vehicles in stationary state  $P(Parking)$  at the beginning of time period  $t$ ,

$\rho_p$  : The unit profit obtained from the parked vehicles,

$\nu^t$  : The number of vehicles transitioning from system state  $j \in J$  to system state  $j' \in J$  in period  $t$ ,

$c_d$  : The unit cost of traffic delay,  
 $M_A$  : The total curb space available.

또한 특정한 시설물의 입지를 최적화하기 위해 MCLP 모델 적용하거나, 수정·보완한 선행연구를 검토하였다. Metrot et al.(2019)은 AED(Automated External Defibrillator, 자동체외제세동기)를 적소에 배치하여 병원 외 급성 심정지 환자를 최소화하고자 하였다. 응급 환자라는 특수한 상황을 반영하여 환자와의 실시간 거리를 적용해 RTD-MCLP와 DRTD-MCLP를 개발하였다. Park et al.(2013)은 자전거 주차장의 효율적인 공급을 위해 P-Median algorithm을 변형하여 통행시간가치를 반영한 목적함수를 제시하고, Heuristic P-Median Algorithm을 이용하여 자전거 주차장의 예산제약에 대한 시나리오별 입지를 도출하였다. 분석 결과, 자전거 주차장의 입지점은 예산제약이 있는 경우 9개, 예산제약이 없는 경우 20개로 선정되었으며, 선정된 입지점들은 실제 자전거 주차장의 이용률이 높은 곳과 일치하는 것으로 나타났다. Kim(2021)은 강남구를 대상으로 심정지 발생 가능 인구를 추정하여 AED 입지를 확인하고 설치 개수에 따른 커버 인구를 통해 효율적인 AED 개수와 입지를 추정하였다. 급성심정지 환자의 발생은 성별과 나이의 함수관계에 있는데 이러한 급성심정지 환자 발생 특성과 인구통계를 바탕으로 Equation 4를 활용하여 공간 단위의 심정지 발생 가능 인구를 추정하였다.

$$OC_i = R_m \sum_{j=1}^k BR_j \times PM_j + R_f \sum_{j=1}^k BR_j \times PF_j \quad (4)$$

여기서,  $OC_i$  : 공간 단위  $i$ 에서 추정된 심정지 발생 가능 인구,

$j$  : 연령그룹 인덱스( $j=1, \dots, k$ ),

$BR_j$  : 연령그룹  $j$ 의 심정지 발생률,

$PM_j$  : 연령그룹  $j$ 의 남성 인구,

$PF_j$  : 연령그룹  $j$ 의 여성 인구,

$R_m$  : 관측된 심정지 환자에서 남성의 비율,

$R_f$  : 관측된 심정지 환자에서 여성의 비율.

## 플렉스 존(Flex Zone)의 정의

2017년 시애틀의 도시종합계획(Seattle, 2020)에서 처음 등장한 플렉스 존은 도로와 연석 공간의 사용이 여러 기능을 담당하며, 상황에 따라 차별화되어야 한다는 것을 증명하기 위해 제시되었다. 선행연구에서 제시되었던 플렉스 존의 유즈케이스는 6개의 종류가 존재하는데, 본 연구에서는 자율주행시대에 맞게 Table 2와 같이 유즈케이스를 세분화하였다. 보다 구체적으로, 이동성을 자율주행차 이동성, 보행 이동성, 자전거 및 PM 이동성, 대중교통 이동성, 항공교통 이동성의 5가지 소분류로 분류하였다. 접근성의 경우 교통 접근성과 물류 접근성으로 재설정하였으며 각각 3개의 소분류로 세분화하였다. 추가된 유즈케이스로는 특정 용도 지정 공간이 있으며, 특수 혹은 비상 상황과 같은 다른 유즈케이스보다 우선순위를 가질 수 있는 유즈케이스를 말한다. 플렉스 존에는 이처럼 다양한 유즈케이스가 존재하여 이용자가 효율적으로 시설을 사용하기 위해서는 이를 어떠한 순서로 얼마나 배치해야 하는지가 중요한 요소이다. 따라서 많은 이용자들이 사용할 수 있도록 수요를 기반으로 목적함수를 최대화하는 MCLP를 기반으로 최적화 모델을 구축하였다.

**Table 2.** Flex zone use case segmentation in an era of autonomous driving

Use case	Division	Definition
Transportation mobility	Autonomous vehicle mobility	• Vehicle movement including AV, SAV, etc
	Pedestrian mobility	• Movement of people and goods
	Bicycle and PM mobility	• Movement of bicycles and PM
	Public transport mobility	• Movement of public transportation using bus, light rail/tram, etc
	UAM mobility	• Movement of air mobility such as UAM
Transportation accessibility	SAV boarding area	• Passenger pick-up/drop-off area of SAV
	Transferable area	• Reciprocal transfer area for public transport, light rail/tramway, UAM and SAV
	Curb parking area	• Area for parking of personal vehicles
Freight accessibility	Regular freight	• Loading/unloading area for food and regular delivery of goods by logistics companies
	Parcel freight	• Loading/unloading area for parcel delivery including non-periodic freight
	UAM freight	• Loading/unloading area using drones and UAM
Activation		• Offers vibrant social spaces
Greening		• Enhances aesthetics and environment health
Specific purpose space		• Specific purpose space such as autonomous driving fallback, charging facility, etc

## MCLP의 적용

MCLP(Maximal Covering Location Problem)는 사전에 정해진 수의 시설물로 가능한 많은 수요를 커버할 수 있는 입지를 결정하는 기법으로 Equations 5-9와 같은 기호와 결정변수를 이용하여 정의된다(Church and ReVelle, 1974). MCLP를 플렉스 존에 적용하기 위해서는 좌표 기반의 수요 데이터가 필요하며, 도로의 네트워크는 연결되어 있기 때문에 연속 공간에 설치되는 플렉스 존의 설치 후보지를 특정 도로의 포인트에 가둬둘 필요가 있다. 모델 구동 시 플렉스 존 후보지에 유즈케이스가 설치되면 각각의 수요에 따라 목적함수 값이 정해지며 알고리즘의 반복에 따라 목적함수의 값이 정해지면 해당 배열의 유즈케이스를 최적의 유즈케이스 배치라고 할 수 있다.

$$Maximize \sum_{i \in I} a_i y_i \tag{5}$$

$$S.T. \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \forall i \tag{6}$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \tag{7}$$

$$x_j \in \{0,1\} \forall j \tag{8}$$

$$y_i \in \{0,1\} \forall i \tag{9}$$

여기서,  $I$  : Denotes the set of demand nodes,

$J$  : Denotes the set of facility sites,

$S$  : The distance beyond which a demand point is considered “uncovered” (the value of  $S$  can be chosen differently for each demand point if desired),

- $d_{ij}$  : The shortest distance from node  $i$  to node  $j$ ,  
 $x_i$  :  $\begin{cases} 1 & \text{if a facility is allocated to site } j \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$   
 $N_i$  :  $\{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$ ,  
 $a_i$  : Population to be served at demand node  $i$ ,  
 $p$  : The number of facilities to be located,  
 $y_i$  :  $\begin{cases} 1 & \text{if a demand node } i \text{ is covered by a facility within } S \text{ distance} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$

## 1. MCLP의 적용 요소 확대

다양한 유즈케이스 중 접근성 유즈케이스를 대상으로 MCLP를 구현하고자 하였다. MCLP 적용 시 플렉스 존을 이용하는 수요에 따라 가장 많은 이용자가 발생하는 유즈케이스 배치로 구현되는데, 본 연구에서는 수요를 민감하게 고려하여 정확한 유즈케이스 배치를 구현하기 위해 유즈케이스별 중요도와 수요 발생 지점에서 후보지로의 후보지별 서비스 범위 내 차량 및 보행 평균 접근 시간을 추가한 접근성 유즈케이스 대상의 입지 최적화 모델을 구축하고자 한다. 유즈케이스별 중요도의 경우 도로교통 전문가 AHP 설문 결과를 활용하여 접근성 유즈케이스의 중요도를 산출하였으며, 접근 시간의 경우 PYTHON을 이용한 네이버 지도 웹 크롤링(Naver Maps, 2022)을 통해 산출하였다.

## 2. 수정된 MCLP

MCLP 모델에서 시설물의 이용 수요를 보다 민감하게 고려하기 위해 중요도 및 접근시간을 고려한 접근성 유즈케이스 대상의 최적화 모델을 구축하였다. 이때, 시설물의 개수 제한에 대한 제약 조건을 제거하였는데, 플렉스 존이라는 시설은 접근성 유즈케이스가 설치되지 않더라도 해당 공간을 유동적으로 사용할 수 있기 때문에 유즈케이스에 대한 개수 제한은 본 연구와는 부적절한 것으로 판단하였다. Equation 10의 목적함수는 유즈케이스에 의해서 서비스되는 수요의 합을 최대화, 비용(접근 시간)을 최소화하며, 이는 모든 유즈케이스  $z$ 와 후보지  $z_j$ 를 고려한다. Equation 11의 제약조건은 어떤 수요 지점에 대해 서비스를 제공하는 유즈케이스가 최소 1개 이상 존재한다면, 해당 수요 지점이 커버됨을 나타낸다. 모델 구동 시 목적함수 값이 0 이하일 경우, 접근성 유즈케이스를 설치하지 않고 해당 후보지를 접근성 외 유즈케이스로 설정하였다.

$$\text{Maximize } \sum_z w_z \left( \sum_{i \in I} D_{zi} y_{zi} - a \sum_{j \in J_z} A_{zj} \right) \quad (10)$$

$$\text{S.T. } \sum_{j \in N_i} x_{zj} \geq y_{zi} \quad \forall i \quad (11)$$

$$x_{zj} \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (12)$$

$$y_{zi} \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (13)$$

- 여기서,  $z_i$  : Use case  $z$ 의 수요 지점 인덱스  $i \in I$ ,  
 $z_j$  : Use case  $z$ 의 후보지 인덱스  $j \in J_z$ ,  
 $D_{zi}$  : 지점  $i$ 에서의 Use case  $z$ 의 수요량,  
 $C_z$  : Use case  $z$ 의 최대 서비스 거리,

- $W_{ij}$  : 수요지점  $i$ 로부터 후보지  $j$ 까지의 거리,  
 $N_i$  :  $\{j \mid W_{ij} \leq C_z\}$ , 수요지점  $i$ 로부터 서비스 거리 안에 있는 집합,  
 $x_{zj}$  :  $\begin{cases} 1, Use\ case\ z\ 가\ 후보지\ j\ 에\ 입지하면, \\ 0, 그렇지\ 않은\ 경우 \end{cases}$   
 $y_{zi}$  :  $\begin{cases} 1, 수요\ 지점\ i\ 가\ 적어도\ 하나의\ Use\ case\ z\ 에\ 의해\ 서비스되면, \\ 0, 그렇지\ 않은\ 경우 \end{cases}$   
 $A_{zj}$  : 후보지  $j$ 내의 차량 평균 접근 시간  $\times$  후보지  $j$ 내의 보행 평균 접근 시간,  
 $z \in \{SAV\ 승하차\ 구역, 환승\ 가능\ 구역, 노면\ 주정차\ 구역, 정기\ 물류, 택배\ 물류\}$ ,  
 $w_z$  : Use case  $z$ 의 이용 시간 중요도,  
 $a$  : 가중치 상수.

### 3. MCLP 샘플링을 위한 유전 알고리즘

MCLP는 NP-hard 문제로, 모든 경우의 수를 고려하기 위해서는 많은 데이터와 자원이 필요하다(Choi and Lee, 2009). 따라서 최적지에 가까운 입지를 상식적인 시간 내에 찾을 수 있는 휴리스틱 접근법으로 수정된 MCLP를 구동하였다. 휴리스틱 접근법은 문제를 축소하여 평균적인 정도의 성능을 발휘하는 솔루션으로 수정된 MCLP에서 최초의 수요 측정 지점과 교차를 통한 적합도 높은 입지 제시를 위해 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였다. 초기해를 생성할 시 플렉스 존 설치 대상지 수와 동일한 개수의 요소를 가지는 배열을 생성하고, 각 요소들은 고유한 좌표를 가지며, 접근성 유즈케이스를 뜻하는 -1, 0, 1, 2, 3, 4의 숫자로 표현한다. 이때 요소의 값이 -1이면 어떠한 접근성 유즈케이스도 설치하지 않음을 뜻하며, 0이면 SAV 승하차구역, 1이면 환승 가능 구역, 2이면 노면 주정차 구역, 3이면 정기물류, 4이면 택배물류 유즈케이스가 설치됨을 뜻한다. 유전 알고리즘 적용 시, 염색체의 각 유전자 위치에 대해 난수를 발생시켜 부모 염색체의 유전자를 복사하는 균등 교차 방식을 사용하였으며, 유전 알고리즘에서 일반적으로 사용되는 룰렛 휠 방식을 사용하여 적합도와 비례하여 부모 염색체를 선택하였다. 우월 유전자 보존 시에는 적합도 상위 5개의 유전자를 보존하였다.

## 플렉스 존 설치 대상지 재현

### 1. 유즈케이스별 수요 추정

영상으로 촬영한 데이터를 통해 각 가변 주정차 수요를 유즈케이스별로 분배하여 표본 데이터로 수집하였다. 영상 데이터는 2021년 11월 08일 강남구 포이사거리 부근에서 촬영된 데이터로, Figure 1에 표기한 11개의 지점에 카메라를 설치하여 수집하였다. 이때 자율주행시대의 수단을 현재 존재하는 유사한 형태의 수단으로 가정하였다. 데이터 수집 기준은 아래와 같다.

- SAV 승하차 구역: 택시 주정차 시 승하차 인원
- 환승 가능 구역: 버스 승하차 인원
- 노면 주정차 구역: 이륜차, 승용차를 포함하여 가변에 주정차한 차량에서 승하차한 인원
- 정기물류: 상업 시설을 위한 물류 상하역 및 청소차량 등 정기적으로 가변에 주정차하는 차량
- 택배물류: 비정기적 화물운송 및 퀵 배송, 택배차량

수요 추정 데이터는 각 포인트에 해당하는 위치에 차량이 주정차하여 수요가 발생할 경우, 해당 수요를 유즈케이스별로 분류하여 포인트별 데이터를 구축하였다. 각 구역별 데이터는 0시부터 23시에 촬영되었으며, 1시간 단위로 이루어진 지점별 영상 데이터를 확인 후 각 유즈케이스별 최대 서비스 범위를 도출하였다. 유즈케이스별 서비스 범

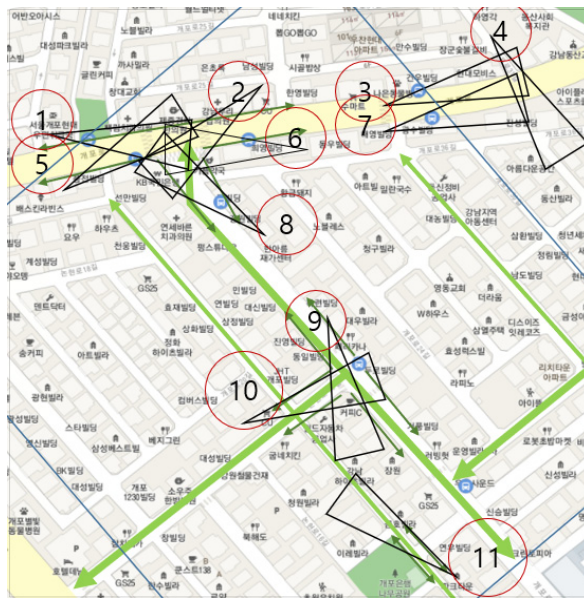
위는 Table 3과 같다. 시간대의 경우 새벽 시간대(02:00-07:00), 출근 시간대(07:00-11:00), 점심 시간대(11:00-14:00), 오후 시간대(14:00-18:00), 퇴근 시간대(18:00-21:00), 심야 시간대(21:00-02:00)로 구분하였다.

**Table 3.** Coverage distance by use case

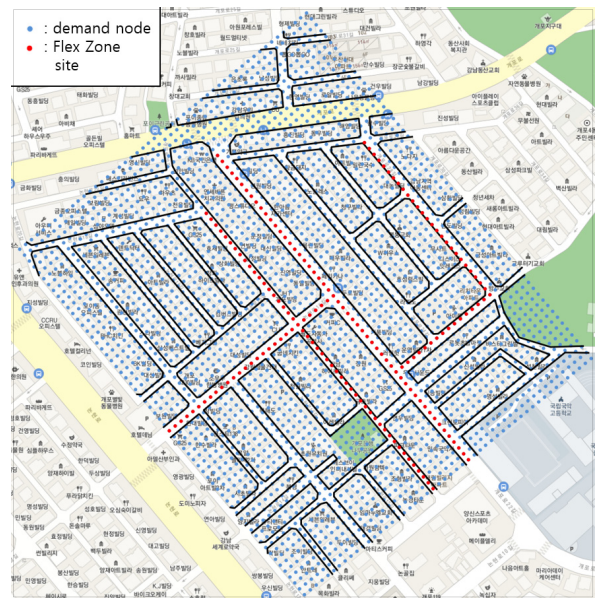
	SAV boarding area	Transferable area	Curb parking area	Regular freight	Parcel freight
Coverage distance	85m	120m	65m	11m	33m

## 2. 플렉스 존 설치 대상지

서울시 강남구 개포동 포이사거리 부근의 약 360\*440m 크기의 대상지를 선정하였다. 플렉스 존의 접근성 유즈 케이스 분류를 토대로 각 유즈케이스가 다양하게 혼합되어있는 지점을 선정하고자 하였다. 수정된 MCLP의 적용을 위해 대상지를 좌표 기반으로 표현하였으며, Figure 2에서 7.5m 간격으로 최하단(1, 1)부터 최상단(50, 60) 합계 3,000개의 포인트를 생성하였다. 이중 중심부 도로에 분포된 170개의 포인트를 플렉스 존을 설치하고자 하는 후보지로 선정하였다. 유즈케이스의 서비스 범위를 고려하여 상세한 결과를 도출하기 위해 7.5m 해상도를 채택하였으며, 상업·업무지역과 주거지역을 포함하여, 플렉스 존 설치를 위해 대상지 내 가변 주정차 수요 추정이 가능한 도로를 후보지로 선정하였다.



**Figure 1.** Image data collection section and range



**Figure 2.** Analysis target site in Gangnam area

## 분석 결과

포이사거리를 대상으로 수정된 MCLP 모델을 적용하여 시간대별 플렉스 존의 최적 입지를 나타내었다. 분석 결과 모두 알고리즘 구동 시 2,000세대를 거쳐 도출된 것으로 적합도는 1,000세대 초반에서 정체하기 시작하여 충분한 횡수의 교차를 적용하였다. Figure 3은 새벽 시간대의 유즈케이스 최적 배치를 나타낸 것으로 많은 정기물류 유즈케이스가 배치되었다. 해당 시간대는 도로의 수요 자체가 적은 시간대로, 영상 데이터 확인 결과 주정차 수요에서 정기적으로 정차하는 정기물류 및 청소차량의 비중이 커 이러한 결과가 도출되었음을 확인하였다. Figure 4는 출근 시간대의 유즈케이스 최적 배치를 나타낸 것으로 새벽 시간대에 비해 SAV 승하차와 택배물류 유즈케이스가 증가한



것을 확인하였다. Table 4에서, 새벽 시간대에 높았던 정기물류의 비중이 줄어들음을 확인할 수 있다. 또한 출근 수요가 많아져 출근을 하려는 수요와 주변으로 출근하는 수요가 증가해 환승 가능 구역과 노면 주정차 구역 유즈케이스가 증가하였다. 택배물류 유즈케이스 역시 증가하였는데 출근 시간대로 지정된 07시 가량부터 택배 물류의 배달이 시작됨을 알 수 있다. 접근성 유즈케이스의 적합도가 0 이하일 경우 접근성 외 유즈케이스를 설치하였기 때문에 접근성 유즈케이스의 감소는 주정차 수요의 증가로 볼 수 있다. 시간이 지날수록 교통량이 증가하여 주정차 수요 또한 증가함을 알 수 있다.

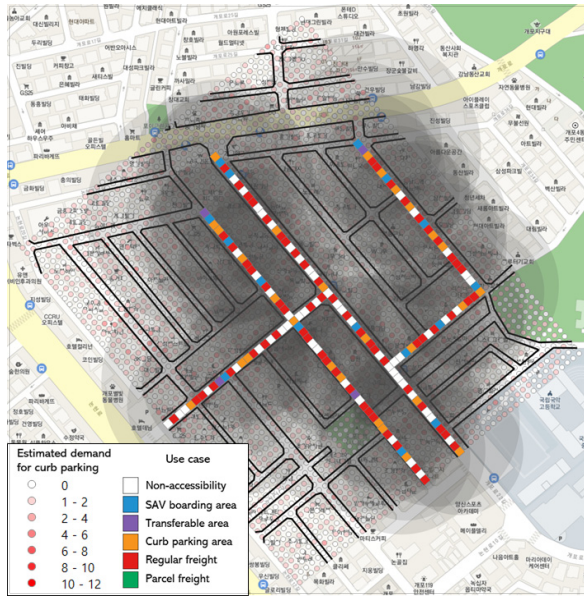


Figure 3. Flex zone use case optimal location (02:00-07:00)

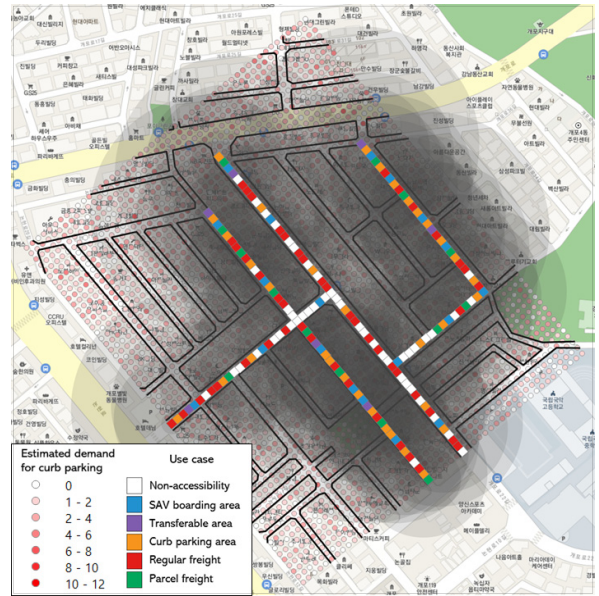


Figure 4. Flex zone use case optimal location (07:00-11:00)

Table 4. Temporal flex zone use case distribution (02:00-07:00, 07:00-11:00)

		Non-accessibility use case	SAV boarding area	Transferable area	Curb parking area	Regular freight	Parcel freight
02:00-07:00	Count	55	16	4	28	67	0
	Percentage	32.35%	9.41%	2.35%	16.47%	39.41%	0.00%
07:00-11:00	Count	47	19	7	34	49	14
	Percentage	27.65%	11.18%	4.12%	20.00%	28.82%	8.24%

Figure 5는 점심 시간대의 유즈케이스 최적 배치를 나타낸 것이다. 점심 시간대는 출근 시간대에 비해 SAV 승차 구역의 비중이 줄어들며, 동시에 정기물류 역시 지속적으로 감소하였고, 택배물류는 지속적으로 증가하였다. Figure 6에서 표현한 오후 시간대의 유즈케이스 최적 배치는 정기물류에서 노면 주정차 구역 유즈케이스로 이동한 것 외에 점심 시간대 유즈케이스 최적 배치와 큰 차이를 보이지 않는 모습을 확인하였다. 점심 시간대와 오후 시간대의 유즈케이스 분포는 Table 5와 같다.

Figure 7은 퇴근 시간대의 유즈케이스 최적 배치로 적은 접근성 유즈케이스가 배치되었으며, 영상 확인 결과 퇴근 시간대의 특성상 교통량이 가장 많아 접근성 외 유즈케이스의 비율에 많은 비율이 배치되었다. 교통량이 많으므로 주정차 수요가 있어도 도로에 공간이 부족하여 대부분의 유즈케이스가 주정차하지 못한 것으로 추측하였다. 그러나 필수적으로 주정차하여야 하는 노면 주정차 구역 및 정기물류 유즈케이스는 오후 시간대와 유사한 비중으로 나타났다. Figure 8은 심야 시간대의 유즈케이스 최적 배치로 가장 적은 접근성 유즈케이스가 배치되었으며, 퇴근 시간대에 급격히 줄어든 SAV 승차차 구역의 비율이 증가하였다. 영상 데이터 확인 결과, 심야 시간대 역시 새벽 시간대와

같이 주차차 수요가 매우 감소하였으며, 때문에 접근성 외 유즈케이스가 증가한 것으로 추측할 수 있다. 퇴근 시간대와 심야 시간대의 유즈케이스 분포는 Table 6과 같다.

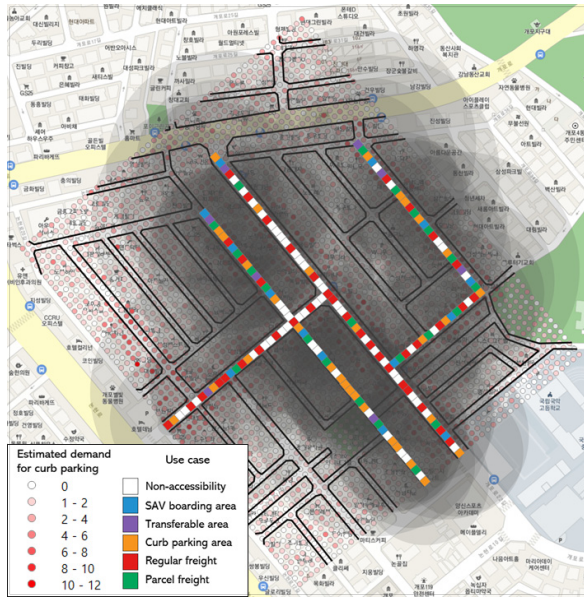


Figure 5. Flex zone use case optimal location (11:00-14:00)

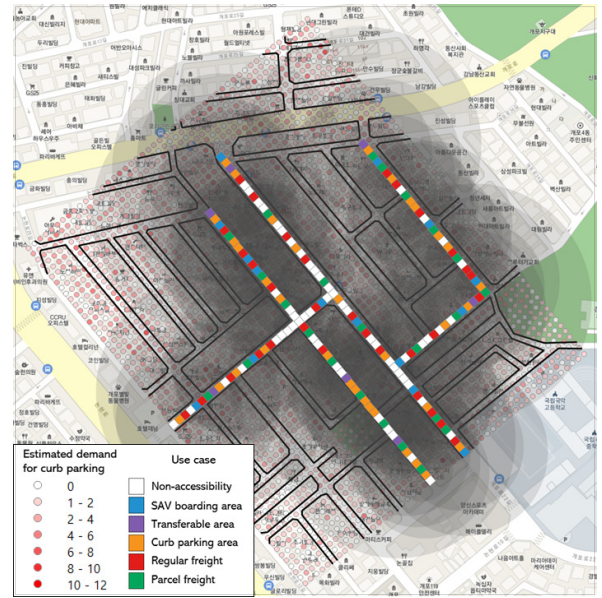


Figure 6. Flex zone use case optimal location (14:00-18:00)

Table 5. Temporal flex zone use case distribution (11:00-14:00, 14:00-18:00)

		Non-accessibility use case	SAV boarding area	Transferable area	Curb parking area	Regular freight	Parcel freight
11:00-14:00	Count	55	14	8	32	39	22
	Percentage	32.35%	8.24%	4.71%	18.82%	22.94%	12.94%
14:00-18:00	Count	57	15	7	35	32	24
	Percentage	33.53%	8.82%	4.12%	20.59%	18.82%	14.12%

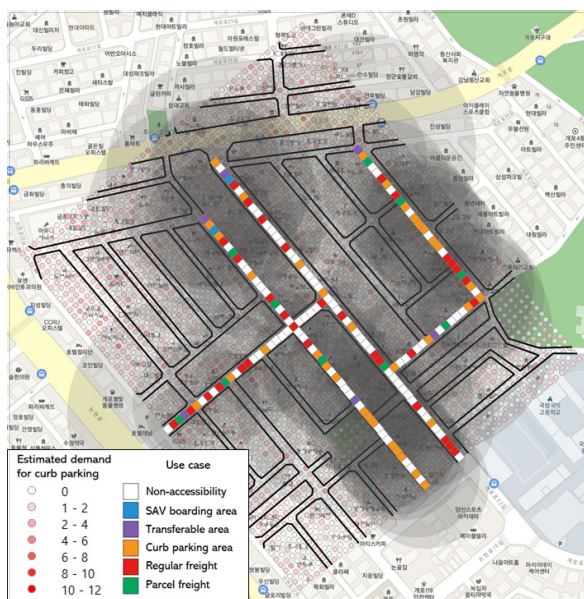


Figure 7. Flex zone use case optimal location (18:00-21:00)

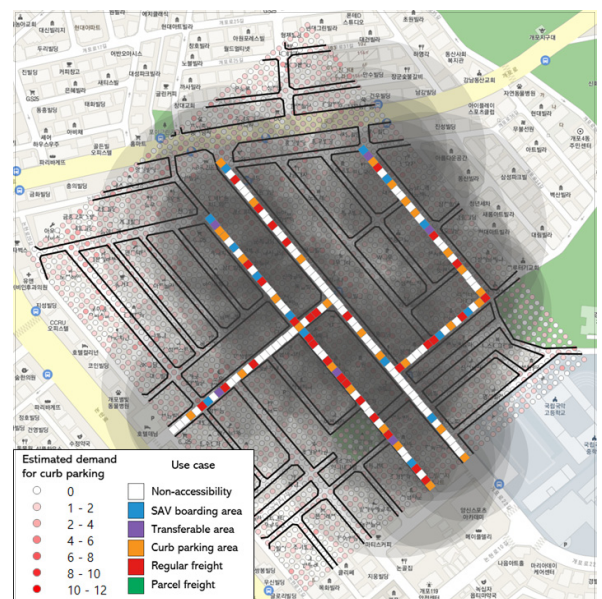


Figure 8. Flex zone use case optimal location (21:00-02:00)

**Table 6.** Temporal flex zone use case distribution (18:00-21:00, 21:00-02:00)

		Non-accessibility use case	SAV boarding area	Transferable area	Curb parking area	Regular freight	Parcel freight
18:00-21:00	Count	84	2	6	36	32	10
	Percentage	49.41%	1.18%	3.53%	21.18%	18.82%	5.88%
21:00-02:00	Count	88	15	6	30	31	0
	Percentage	51.76%	8.82%	3.53%	17.65%	18.24%	0.00%

## 결론 및 연구의 한계점

교통정체 해소, 평균주행속도 상승 등의 편리성 증대를 위한 자율주행기술에 대한 많은 관심을 통해 자율주행 산업은 빠른 속도로 증가하는 추세이다. 일부 자동차 제조업체는 높은 수준의 자율주행기술을 보유하고 있으며, 지속적으로 연구개발 중이다. 그러나 이러한 신기술이 보편화되려면 통신 시설, 도로, 교통 관제 등 교통 인프라 구축 또한 뒷받침되어야 한다. 자율주행차의 운전 주체는 운전자가 아닌 차량에 탑재된 시스템으로, V2I, V2X와 같은 통신을 통한 자율주행 시스템 보조를 통해 완성도를 더해 나가기 때문이다.

본 연구에서는 자율주행시대에 발생할 수 있는 유희 연석공간을 활용하는 플렉스 존의 도입에 대응하여 수정된 MCLP 알고리즘을 구축하고 서울시 강남구 포이사거리를 대상으로 최적 입지 분석을 시행하였다. 기존 MCLP의 목적함수에서 중요도와 접근 시간을 고려하였으며, 다양한 유즈케이스를 한 번에 고려한 다차원의 수정된 MCLP를 구축하였다. 시간대별 최적화된 유즈케이스의 배치가 상이한 것을 확인하였으며, 주변 상업시설이 집중되어 있는 공간적 특성상 정기물류의 경우 시간대를 통틀어 가장 많은 유즈케이스가 배치되었고 그 외의 유즈케이스의 배치량은 새벽에서 점심으로 갈수록 상승하는 양상을 보이다 오후 시간대를 기준으로 하락하는 추이를 보였다. 본 연구에서 구축한 Multi-modal-multi-use 입지 최적화 알고리즘은 장래 자율차의 통행이 활성화 되고 용량이 증대된 도로의 유희 연석공간의 플렉스 존 설치 구상단계 및 추후 운영단계에 까지 활용가능할 것으로 기대되며 이는 도로공간의 이용 효율성 증대를 이끌어 낼 것이다. 다만 본 연구는 다음과 같은 한계를 갖는다. 첫째, 접근성 외 유즈케이스와 접근성 유즈케이스의 상호 비교 분석 결과가 반영되지 않았다는 점이다. 접근성 유즈케이스의 목적함수는 가변 추정차 수요를 통해 측정되었으며, 이는 통행 수요를 사용하는 이동성 유즈케이스 등 접근성 외 유즈케이스의 목적함수와는 상호 비교가 불가하기 때문이다. 둘째, 목적함수 계산 시, 서비스 범위를 유클리드 거리 기반으로 하여 도로 네트워크의 적용이 고려되지 않았다는 점이다. 이는 유즈케이스의 서비스 범위가 클수록 목적지에 도달하는 도로 네트워크가 복잡해져 오차가 발생할 확률이 높아질 것이다. 향후 통행 수요와 가변 추정차 수요를 통합하는 목적함수를 개발하여 모델에서 접근성 외의 유즈케이스를 고려할 필요성이 존재하며, 보다 넓은 대상지를 분석에 활용하고, 대상지의 해상도를 현재보다 확대하여 분석의 신뢰도를 높이고자 한다.

## Funding


This work was supported by Kyonggi University's Graduate Research Assistantship 2022.


This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 22AMDP-C160881-02, Future Road Design and Testing for Connected and Autonomous Vehicles).


## 알림

본 논문은 대한교통학회 제86회 학술발표회(2022.04.22)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## ORCID

PARK, Jinwoo  <http://orcid.org/0000-0002-1559-9605>

CHOI, Woocheol  <http://orcid.org/0000-0003-0238-1655>

KIM, Junghwa  <http://orcid.org/0000-0001-9771-5755>

## References

- Cao J., Menendez M., Waraich R. (2017), Impacts of the Urban Parking System on Cruising Traffic and Policy Development: The Case of Zurich Downtown Area, Switzerland, *Transportation*, 46, ETHzurich, 883-908.
- Choi M. J., Lee S. H. (2009), Stochastic Maximal Covering Location Problem with Floating Population, *Korean Management Science Review*, 26(1), The Korean Operations Research and Management Science Society, 197-208.
- Church R., ReVelle C. (1974), The Maximal Covering Location Problem, *Paper of the Regional Science Association*, 32(1), Springer-Verlag, 101-118.
- ITF (2018), *The Shared-Use City: Managing the Curb*.
- Jung S. W., Moon Y. J., Lee S. Y., Hwang K. Y. (2017), Impacts of Automated Vehicles on Traffic Flow Changes, *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, 16(6), The Korea Institute Of Intelligent Transport Systems, 244-257.
- Kim K. Y. (2021), Evaluating Coverage of Automated External Defibrillator (AED) Using a Spatial Optimization Model: The Case of Gangnam-Gu, *JAKG*, 10(1), Association of Korean Geographers, 153-166.
- KOISIS (2021), <https://kosis.kr>, 2021.11.01.
- Metrot C., Darazi R., Benslimane A., Doumith E. A. (2019), Dynamic AED Allocation and Reallocation for SCA Rescue Using Modified MCLP, *2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 310-316.
- Naver Maps: <https://map.naver.com/v5/> (Access date 2022.03.29)
- Park B. R., Lee K. J., Choi K. C. (2013) Optimum Location Choice for Bike Parking Lots Using Heuristic P-Median Algorithm, *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 33(5), Korean Society of Civil Engineers, 1989-1998.
- Rad S. R., Farah H., Taale H., Arem B. V., Hoogendoorn S. P. (2020), Design and Operation of Dedicated Lanes for Connected and Automated Vehicles on Motorways: A Conceptual Framework and Research Agenda, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, ELSEVIER, 102664.
- Seattle (2020), *Seattle 2035 Comprehensive Plan: Managing Growth to Become an Equitable and Sustainable City 2015-2035*.
- Shepard, Meghan, *Flex Zone/Curb Use Priorities in Seattle* (2018), <https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/parking-program/parking-regulations/flex-zone/curb-use-priorities-in-seattle>, 2021.06.21.
- Yu M., Bayram A. (2021), Management of the Curb Space Allocation in Urban Transportation System, *Intl. Trans. in Op. Res.*, 28(5), Wiley, 2414-2439.