

유효녹색시간 조정을 활용한 중앙버스정류장 용량 부족 완화 방안 연구

Mitigation of Insufficient Capacity Problems of Central Bus Stops by Controlling Effective Green Time

구 교 민* · 이 재 덕** · 안 세 영*** · 장 일 준****

* 주저자 : 가천대학교 도시계획학과 석사수료
** 교신저자 : 가천대학교 도시계획학과 박사수료
*** 공저자 : 가천대학교 도시계획학과 박사과정
**** 공저자 : 가천대학교 도시계획학과 교수

Kyo Min Koo* · Jae Duk Lee** · Se Young Ahn*** · Iljoon Chang****

* Master Candidate, Department of Urban Planning, Gachon University
** Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning, Gachon University
*** Ph.D.Student, Department of Urban Planning, Gachon University
**** Professor, Department of Urban Planning, Gachon University

† Corresponding author : Jae Duk Lee, ljd8860@gmail.com

Vol. 21 No.1(2022)
February, 2022
pp.35~50

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.1.35>

요 약

중앙버스전용차로 설치 이후 버스의 통행우선권이 보장되어 버스 이용자들의 신뢰도가 향상되었지만 중앙버스정류장 용량 부족으로 정차 노선들의 통행속도와 정시성이 감소되는 등 정체현상이 발생하였다. 또한 중앙버스전용차로 및 중앙버스정류장 설치 시 기존시가지의 도로 기하구조를 바탕으로 설치하기 때문에 물리적인 제약이 따른다. 이에 본 연구는 중앙버스정류장 진출부의 신호 시스템 유효녹색시간을 최적화하여 운영 차원에서의 중앙버스정류장 용량 부족 문제의 개선 가능성을 제시하고자 하였다. 분석 방법론으로 TCQSM과 도로용량편람을 기초로 활용하였다. 물리적인 요인을 변수에서 제외할 수 있도록 구축 예정인 중앙버스정류장의 정차면수를 산정하였고 서울시의 현재 중앙버스전용차로가 설치되어 운영 중인 9개소의 중앙버스정류장을 임의로 선정 후 현장조사를 실시하여 분석자료로 활용하였다. 정류장 용량이 부족한 중앙버스정류장을 대상으로 정류장별 유효녹색시간 조정을 통해 시나리오 분석을 진행하였으며 종속변수는 중앙버스정류장의 용량으로 선정하였다. 분석 결과 운영 차원만의 개선 방안으로 용량이 부족한 중앙버스정류장 중 26.7%인 4개소의 정류장은 용량 부족 문제를 해결할 수 있는 것으로 도출되었다. 따라서 본 연구는 운영 차원의 개선 방안을 통하여 현재 운영 중인 중앙버스정류장의 용량 증대가 가능하다는 결과를 검증하였고 중앙버스정류장의 계획단계에서 공학적으로 산정된 중앙버스정류장의 정차면수를 확보할 수 없는 경우에도 효과가 있는 것으로 나타났다. 향후 중앙버스전용차로가 확대됨에 따라 중앙버스정류장 용량 문제가 더 많아질 것으로 예상되며 실질적인 중앙버스정류장의 개선 방안이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서 제시한 결과는 물리적인 개선 방안을 도입하기 이전에 운영 차원 개선 방안의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

핵심어 : 중앙버스전용차로, 중앙버스정류장, 정류장 용량 부족, 정차면수, 유효녹색시간

ABSTRACT

After the introduction of the central bus lane system, bus traffic was prioritized. This resulted in improved trust from bus users. However, the low capacity at the central bus stop reduces traffic speed and punctuality. In addition, physical constraints are inevitable because the construction of central bus lanes and bus stops considers the city's road geometry. Therefore, this study attempted to optimize the effective green time of the traffic signal system at the entrance and exit of the central bus stop to remedy its insufficient operational capacity. The Transit Capacity and Quality of Service Manual and Korea Highway Capacity Manual were used as the analysis methodologies. The number of stop areas for central bus stops to be built was determined by excluding variable physical factors, and field survey data collected from nine randomly selected central bus stops currently installed in Seoul were used. A scenario analysis was conducted on the central bus stops with insufficient capacity by adjusting the effective green time, and the capacity of the central bus stop was set as the dependent variable. According to the results, 26.7 percent of the central bus stops with insufficient capacity can solve the problem of insufficient capacity. Therefore, the results of this study can be verified by improving the operation level, and it can be effective even if the number of central bus stops calculated by engineering is not guaranteed during the planning stage of the central bus stop. As the number of central bus stops is expected to increase further as the number of central bus stops increases, it is necessary to improve the number of central bus stops. Therefore, it is hoped that the results presented in this study will be used as basic data for the improvement plan at the operational level before introducing the physical improvement plan.

Key words : Central bus lane, Central bus stop, Lack of capacity, Number of stops, Effective green time

Received 9 December 2021
Revised 22 December 2021
Accepted 10 January 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시의 교통정책 방향이 승용차 위주의 교통 인프라 공급에서 대중교통 및 보행자 중심으로 발전되고 있다. 중앙버스전용차로는 버스 우선 처리를 목적으로 통행우선권을 부여하여 버스의 정시성을 확보하고 편리한 교통서비스를 제공하여 대중교통의 이용을 활성화하고 도심 교통환경을 개선하기 위해 도입되었다. 중앙버스전용차로 도입 후 버스 통행속도는 평균적으로 15.8km/h에서 19.9km/h(약 28%)로 향상되었으며 대중교통 이용 만족도가 크게 향상되었다.

중앙버스정류장의 용량 부족 문제를 개선하는 방안으로 물리적인 시설물을 확장하는 방안이 있다. 중앙버스정류장의 버스정차면수를 확장하여 직접적으로 용량을 늘리는 방안이 있으며 미정차 노선이 정차면을 점거하지 않고 통과할 수 있도록 추월차로를 설치하는 방안 등이 있다. 과거 서울시는 2011년에 승객의 대기 밀도가 높았던 강남대로 중앙정류장의 정차면을 4면에서 5면으로 확장하였으나 여전히 정류장 용량이 부족한 실정이다. 또한 추월차로 설치에도 불구하고 추월차로에서 불법승하차를 하거나 추월 차량이 정차면을 점유하는 등의 문제가 발생하여 강남대로 중앙버스정류장 중 5개소의 추월차로를 제거하였고 계획단계에서 추월차로를 미반영하는 결과가 나타났다.

중앙버스전용차로 도입 시 기존 시가지에 설치하기 때문에 구축되어 있는 도로의 폭, 차로 수 등의 기하구조를 바탕으로 고려하여야 하며 문제 개선을 위한 도로의 확폭 역시 물리적 및 재정적인 제약이 따른다. 이와 동일하게 정차면수 확장과 추월차로 설치는 정류장부의 도로 여건에 따라 제약을 받을 수 있다.

이에 본 연구는 물리적으로 시설을 개선하지 않고 운영 차원의 개선 방안을 통해 중앙버스정류장의 용량

부족 문제를 개선하는 방안을 시도하였다. 중앙버스정류장의 물리적인 규모에 따라 정류장의 처리용량이 다르게 산정되기 때문에 물리적인 시설을 나타내는 변수를 고정해야 할 필요가 있으며 운영 차원의 변수 중 중앙버스정류장 진출부의 유효녹색시간을 조정하여 중앙버스정류장 용량 부족 문제의 해결을 목적으로 한다.

II. 문헌고찰

1. 선행연구

Seo(2003)의 버스 및 버스정류장 용량산정에 관한 연구에서는 대중교통에서 가장 우선적으로 개선해야 할 문제점이 버스의 정시성이라 강조했다. 정시성이 저하되는 요인은 차량의 혼잡 및 많은 중복 노선으로 인한 포화상태 등이라 명시하였다. 버스정류장에서의 정차 시간 및 점유 시간을 분석하여 정류장의 용량을 산정할 수 있도록 모형을 재정립하였으며 정차면수에 따른 이용효율계수를 분석하였다. 버스정류장의 이용효율계수 값은 정차면의 수가 증가함에 따라 효율이 감소하며 정차면수가 5개일 때부터 효율이 크게 감소하기 때문에 정류장 설계 시 5개 이상의 정차면이 필요할 경우 정류장을 분리하여 운영하거나 정차 노선 수를 축소시켜야 한다고 제안하였다.

Lee(2006)의 중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구에서는 중앙버스전용차로의 정확한 용량 산정을 위해서 가로변버스전용차로의 용량산정법(TCQSM)을 근거로 변수의 일부를 새로이 개발하여 중앙버스전용차로의 용량산정법을 개발하였다. 또한 정류장 용량에 정류장 간의 길이를 용량 결정요소로 추가하여 중앙버스전용차로의 용량을 결정하였고 Netsim 시뮬레이션을 통해 결과값을 검증하였다.

Kim(2010)의 차량 용량과 정류장 혼잡을 고려한 대중교통 통행배정 모형에서는 대중교통 수단의 용량 및 정류장의 승객 수요에 따른 혼잡현상으로 인한 대기시간 증가를 고려하여 대중교통 통행배정을 구축하는 모형개발을 하였다. 이 연구에서는 대중교통 수단의 용량에 따라 제약을 설정하였으며 개발한 모형은 최적 전략 탐색단계와 최적 전략에 따른 통행배정 단계로 나뉘며 결과적으로 수요를 분석하여 통행을 배정하고 EMME/2를 사용하여 검증하였다.

Jung(2016)의 BMS 빅데이터를 이용한 버스차로 분석에서는 서울시 중앙버스전용차로 내 중앙버스정류장의 용량 초과원인을 서울시 BMS 빅 데이터를 통해 분석하였다. 서울시 강남대로의 구간을 나누어 통행 시간, 정시성 및 정류장 용량 초과를 운영 평가지표로 선정하여 분석한 결과 강남대로 중앙버스전용차로 내 정류장의 정차면 용량 초과 현상이 대부분의 정류장에서 발생하였으며 정차 대수, 정차 시간, 유효녹색시간 비율 순으로 정차면 용량 초과와의 상관관계수가 높게 나타났다.

Jung(2016)의 중앙버스정류장의 효율적인 추월차로 배치 방안에서는 중앙버스정류장의 첫 번째 정차면을 추월버스가 잠식하여 중앙버스정류장의 지체 및 용량이 감소됨을 문제점으로 나타났다. 이에 추월차로를 정류장의 우측에 설치하는 물리적인 시설 개선을 통해 중앙버스전용차로의 효율성을 증가시키는 방안을 제안하였다. 효과분석의 지표로 중앙버스정류장의 용량 산정치(버스 처리대수)를 선정하였으며 TCQSM 방법론으로 검증하였으며 Vissim 시뮬레이션으로 결과를 나타냈다.

kim et al.(2016)의 정류장 혼잡도 고려 중앙버스전용차로의 수송용량 산정 방안에서는 중앙버스정류장의 용량에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 서울시의 기종점을 제외한 중앙버스정류장을 대상으로 상관관계 분석을 진행하였다. 정차 시간에 가장 큰 영향을 주는 요인은 유효녹색시간 비율(g/C), 승차차 인원, 정차 버스대수 순으로 나타났다. 중앙버스전용차로의 기능 회복을 위해선 “물리적인 개선과 더불어 종합적인

운영개선이 필요하다”고 주장하였으며 정류장별 적정 운영 용량을 산정한 후 초과되는 정차 버스대수 만큼 배차간격을 조정하여 감축 운행하는 값을 제시하였다.

기존 선행연구를 살펴보면 중앙버스정류장의 용량 산정 결과 도출 시 TCQSM 방법론과 도로용량편람을 기반으로 활용하였으며 정류장별 정차 버스노선들의 배치와 비교하여 용량 부족 여부를 판단하였다. 또한 산정모형을 개발하여 현재 운영 중인 중앙버스전용차로를 기초자료로 활용하여 결과를 도출하였다.

본 연구는 운영 차원인 유효녹색시간 조정을 통해 중앙버스정류장 용량 부족 개선 여부를 도출하는 것이 목적이며 중앙버스정류장의 용량 산정 시 타 구간에서도 효과를 나타낼 수 있도록 특정 구간의 현황자료만을 사용하지 않고 범위를 확대하기 위하여 각 방법론의 중앙버스정류장 용량 산정에 적합한 기본값을 변수로 적용한 점에서 차별성이 있다. 또한 운영 중인 중앙버스전용차로의 중앙버스정류장 뿐만 아니라 간선급행버스체계(BRT)의 계획이 구상된 노선을 선정하여 계획 단계에서도 적용할 수 있는 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 이론적 고찰 및 분석 데이터 구축

1. 이론적 고찰

중앙버스정류장 용량 산정을 위한 방법론으로 TCQSM과 도로용량편람이 대표적이며 버스노선 계획 및 구축 시에 활용되고 있는 이론이다. 두 가지 방법론의 종속변수는 1개 정차면의 용량이며 공통된 독립변수 중 정류장 용량 산정에 있어 직접적으로 관련된 영향요인으로 유효녹색시간 비율(g/C), 정차 시간(t_d), 소거 시간(t_c), 정류장의 형태(버스베이), 용량산출 보정계수(Z 혹은 R) 등이 있다. 각각 산정된 1개 정차면의 용량에 TCQSM은 버스정차면 이용효율을 나타내는 N_{el} , 도로용량편람은 정차면수에 따른 이용효율계수 N 을 적용한 후 정류장별 정차 버스대수(버스 교통량)와 비교하여 정류장 용량 부족 여부를 결정한다. 각 방법론의 독립변수는 중앙버스정류장의 특성과 맞도록 설정해야 한다.

TCQSM에서 제시하고 있는 정차면 1면에 대한 용량 B_l 은 다음 식 (1)에서 보는 바와 같다.

$$B_l = \frac{3,600(g/C)}{\{t_c + t_d(g/C) + Zc_v * t_d\}} \dots\dots\dots (1)$$

이 때, g/C = 정류장에 인접한 교차로의 직진방향 유효녹색시간의 비율, t_d = 버스의 정류장 평균 정차 시간, t_c = 출발하기 위해 출입문을 닫은 후부터 주행차로로 복귀하는데 걸리는 시간(소거시간, clearance time), Z = 버스정류장 뒤로 버스대기차량 발생가능성, c_v = 정차 시간 변동계수(표준편차÷평균 × 100) 등을 고려하여 산정한다.

일반적으로 버스정류장은 여러 개의 정차면이 연속되어 있으며 1면에 대한 용량에 정차면수를 곱하는 것 보다는 처리용량이 떨어지게 된다. TCQSM의 버스정류장 용량 산정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$B_s = N_{el} B_l = N_{el} \times \frac{3,600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} \dots\dots\dots (2)$$

이 때, B_s = 버스정류장 용량(대/시), N_{cl} = 버스정차면 이용효율, B_t = 1개 정차면의 시간당 최대 버스처리대수(대/시)를 의미한다.

TCQSM 방법론의 정류장 용량 산정식에서 중앙버스정류장의 특성을 고려한 요인별 변수값을 <Table 1>과 같이 설정하였다. 유효녹색시간 비율(g/C)은 각 정류장별 침두시 신호현시를 반영하였다. 정차 시간(t_d)은 분석범위 외의 중앙버스정류장에서도 효과성을 확인하기 위해 TCQSM 방법론에서 제시하고 있는 Default values를 적용하였으며 정류장 주변에 도보로 지하철 환승이 가능한 정류장은 60초, 주변에 환승시설이 없는 정류장은 30초로 기준을 정하였다. 소거시간(t_c)은 중앙버스전용차로 통행 시 Average Reentry Delay를 적용하지 않기 때문에 버스의 길이만큼 이동하는데 걸리는 10초만을 적용하였다. 정차 시간 변동계수(C_v)는 TCQSM 방법론에서 권장하는 적정값인 0.6을 적용하였으며 Z_a 값은 1.28을 적용하였고 이는 Failure Rate의 평균값인 10%를 적용한 것이다. 버스정차면 이용효율계수(N_{cl}) 및 물리적인 정차면수는 3~5면을 기준으로 적용하였다.

<Table 1> TCQSM variables for calculating central bus stop capacity

Classification	Applicable values	Remarks
g/C	By bus stop	Basic data
t_d	Availability of transfer facilities	Default
t_c	None	A dedicated lane(No Delay)
Fee payment method	3.5(s)	Smart card
C_v	0.6	Average urban value
Z	1.28	Average failure rate (10%)
N_{cl}	Platoon arrival(2.65~3.00)	On-line stop

도로용량편람의 버스정차면 용량 산정 방법은 연속류 및 단속류의 구분이 필요하다. 통행로의 연속류와 단속류를 분류하기 위해서는 버스정류장의 위치가 교차로나 횡단보도 등 일정한 주기의 단속류 시설을 포함하고 있는 도로인지 아니면 도시고속도로나 버스전용도로상의 단속류 시설이 없는 연속류 도로인지 판단하여야 한다. 단속류상에서 정차면 1면에 대한 용량 C_b 는 시간당 처리되는 버스의 용량을 의미하며 다음 식 (3)과 같다.

$$C_b = (g/C) \frac{3,600R}{h} = (g/C) \frac{3,600R}{t_c + t_D} \dots\dots\dots (3)$$

이 때, h = 연속된 운행단위간 차두시간(초), t_c = 소거시간(초), t_D = 정차 시간(초) (출입문 개폐시간 + 승객 승하차 시간), g/C = 유효녹색시간 비율, R = 정차면 용량 보정계수이다.

도로용량편람의 단속류에 속해있는 버스정류장 용량 산정식은 (4)와 같다. 단속류와 연속류의 정류장 용량의 차이는 유효녹색시간 비율(g/C)과 직접적으로 관련이 있다.

$$C_b = c_b \times N = (g/C) \frac{3,600NR}{h} = (g/C) \frac{3,600NR}{t_c + t_D} \dots\dots\dots (4)$$

이 때, C_B = 정류장당 시간당 최대 용량(대/시), N = 정차면수(또는 정차면 길이)에 따른 이용효율계수를 의미한다.

도로용량편람 방법론의 단속류 정류장 용량 산정식에서 중앙버스정류장의 특성을 고려한 요인별 변수값을 <Table 2>와 같이 설정하였다. TCQSM과 동일한 조건으로 분석하기 위해 정차 시간(t_d)은 TCQSM의 Default values값을 적용하였으며 출입문 개폐시간(s)은 도시형의 기본값인 3초를 적용하였다. 소거시간(t_c)은 중앙버스정류장의 버스베이가 없기 때문에 감속시간 7초, 가속시간은 9초로 적용하였다. 정류장 용량 보정계수 R 은 0.81을 적용하였으며 이는 t_R 의 도시지역 기본값인 10%를 적용한 것이다. 또한 3-5면의 정차면수에 따른 이용효율계수(N)를 사용하였다.

<Table 2> KHCM variables for calculating central bus stop capacity

Classification	Applicable values	Remarks
g/C	By bus stop	Basic data
t_d	TCQSM Default values	Consistent with TCQSM conditions
s	3(s)	Urban type
t_c	16(s)	Default
R	0.81	t_R 10%(Urban)
N	2.25-2.65	3-5 stop areas

2. 분석 데이터 구축

본 연구에서는 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 방법론 개발 및 분석을 위해 안양-사당 간선급행버스체계 사전타당성 조사(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021)를 위해 수집된 기초자료와 현장 조사를 통해 조사한 서울시의 중앙버스정류장 9개소의 자료를 활용하였다.



<Fig. 1> Sections to be analyzed

해당 조사연구는 수원-구로BRT와 사당역까지 연계하는 BRT 노선을 수립하기 위한 대안으로 안양시의 비산사거리를 기점으로 제시하였으며 간선급행버스체계(BRT) 종합계획의 구상안으로부터 시작된 노선이다.

<Table 3> Bus traffic and percentage of effective green time at the planned central bus stop (based on peak hours)

No.	Name of bus stop (provisional name)	Direction	Number of bus routes	Peak hours (08:00 to 09:00)				
				Bus traffic (v/h)	Average stop time (s)	Signal Timing		
						Effective green time	Cycle	g/c
1	Bisan Samsung Raemian	to Sadang	14	95	30	139	180	0.77
2	Bisan Samsung Raemian	to Anyang	14	97	30	139	180	0.77
3	Miryong APT. Daelim APT	to Sadang	13	93	30	105	180	0.58
4	Miryong APT. Daelim APT	to Anyang	13	95	30	105	180	0.58
5	Samho APT	to Sadang	13	93	30	99	180	0.55
6	Samho APT	to Anyang	13	101	30	99	180	0.55
7	Jonghab-undongjang	to Sadang	9	80	60	132	180	0.73
8	Jonghab-undongjang	to Anyang	9	82	60	132	180	0.73
9	Gwanyang Middle School	to Sadang	12	103	30	100	180	0.56
10	Gwanyang Middle School	to Anyang	14	105	30	100	180	0.56
11	Jungchon Village	to Sadang	14	103	30	105	180	0.58
12	Jungchon Village	to Anyang	14	105	30	105	180	0.58
13	Indeokwon Station. Indeokwon Cathedral	to Sadang	13	95	60	133	180	0.74
14	Indeokwon Station. Indeokwon Cathedral	to Anyang	16	107	60	133	180	0.74
15	Galhyeoncheon	to Sadang	13	80	30	130	180	0.72
16	Galhyeoncheon	to Anyang	13	82	30	130	180	0.72
17	(Former)Galhyeondong Unit	to Sadang	13	80	30	130	180	0.72
18	(Former)Galhyeondong Unit	to Anyang	13	82	30	130	180	0.72
19	Chan-umul	to Sadang	13	80	30	130	180	0.72
20	Chan-umul	to Anyang	13	82	30	130	180	0.72
21	Galhyeon intersection	to Sadang	13	80	30	65	150	0.43
22	Galhyeon intersection	to Anyang	13	82	30	65	150	0.43
23	Woojung Hospital intersection	to Sadang	14	82	30	91	150	0.61
24	Woojung Hospital intersection	to Anyang	15	88	30	91	150	0.61
25	Gwacheon government complex station	to Sadang	16	87	60	74	150	0.49
26	Gwacheon government complex station	to Anyang	16	89	60	74	150	0.49
27	KT Gwacheon branch	to Sadang	17	91	30	114	150	0.76
28	KT Gwacheon branch	to Anyang	15	88	30	114	150	0.76
29	Gwacheon station	to Sadang	16	87	60	114	150	0.76
30	Gwacheon station	to Anyang	14	84	60	114	150	0.76
31	Gwacheon industrial complex	to Sadang	18	92	30	65	160	0.41
32	Gwacheon industrial complex	to Anyang	18	94	30	65	160	0.41

비산사거리부터 관문사거리까지 중앙버스정류장을 방향별로 구분하여 32개소를 설정하였으며 노선별로 인접한 정류장은 통합하여 계획되었다. 현장 조사 중앙버스정류장으로는 선형연구에서 용량 부족 및 정류장

부 지체현상의 사례연구로 많이 선택되는 강남대로의 중앙버스정류장 5개소와 안양-사당BRT 노선의 연장 선상에 구축되어 있는 동작대로의 중앙버스정류장 4개소를 대상으로 진행하였으며 모든 기초자료는 가장 버스 교통량이 많은 오전 첨두시(08~09시)를 기준으로 수집하였다. 연구 대상 정류장은 교차로 간 가로 중간에 위치한(Mid-Block) 정류장으로 신호현시가 2현시인 단일로형 중앙버스정류장이다.

본 연구의 기초자료는 <Table 3>, <Table 4>와 같으며 가장 중요한 유효녹색시간 자료는 각 지역의 경찰서와 현장 조사를 통해 구축하여 오전 첨두시를 기준으로 정리하였고 정류장별 버스 교통량은 경기버스시스템 및 서울시 열린 데이터 광장의 자료를 기반으로 구축하였다.

<Table 4> Bus traffic and percentage of effective green time at the central bus stop from the on-site survey (based on peak hours)

No.	Name of bus stop	Direction	Number of bus routes	Peak hours (08:00 to 09:00)				
				Bus traffic (v/h)	Average stop time (s)	Signal Timing		
						Effective green time	Cycle	g/c
33	Raemian APT.Financial news	to Bang Bang Intersection	51	239	30	110	160	0.69
34	Raemian APT.Financial news	to Shinbundang Line Gangnam station	30	132	30	110	160	0.69
35	Shinbundang Line Gangnam station	to Raemian APT.Financial news	45	210	60	110	160	0.69
36	Shinbundang Line Gangnam station	to Subway Line 2, Gangnam station	22	108	60	110	160	0.69
37	Subway Line 2, Gangnam station	to Nonhyeon station	28	141	60	100	160	0.63
38	Sadang station	to Isu station	26	140	60	175	220	0.80
39	Sadang station	to Sadang automobile academy	14	76	60	175	220	0.80
40	Isu station	to Chongshin University station	17	96	60	175	220	0.80
41	In front of Sadang-dong post office	to Bangbae senior welfare center	13	76	60	175	220	0.80

IV. 분석 방법론

1. 방법론 개발 및 흐름

본 연구의 목적인 유효녹색시간 조정을 통한 중앙버스정류장 용량 부족의 완화 여부를 분석하기 위해 개발한 방법론은 <Fig. 2>와 같은 이미지로 표현할 수 있다.

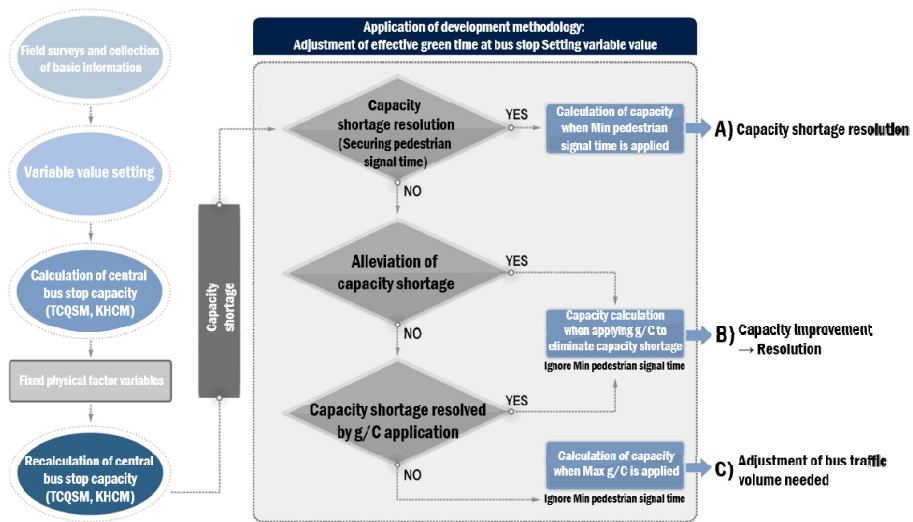
정류장 용량 산정의 기초가 되는 TCQSM과 도로용량편람 방법론을 중앙버스정류장의 조건에 맞도록 설정하고 유효녹색시간(운영적 요인)을 변수로 적용하기 위해 물리적 요인 변수인 정차면수를 산정한 후 고정해야 한다. 정차면수 산정 시 정류장을 통행하는 버스 진행방향의 유효녹색시간 비율을 기초로 반영하며 계획 예정 정류장은 정류장의 규모에 맞는 테이퍼의 길이를 함께 고려해야 한다. 이 후 정류장별 버스 교통량

과 산정된 중앙버스정류장의 용량과 비교하여 용량 부족 여부를 도출한다. 산정된 중앙버스정류장의 용량이 버스 교통량보다 낮은 경우 ‘용량 부족’으로 판단하며 정류장별 신호주기를 바탕으로 유효녹색시간을 조정하는 시나리오 분석을 진행한다.

유효녹색시간 조정 시 보행자 신호 시간을 기준으로 분류하였다. 본 연구의 개발 방법론에 적용하여 보행자의 최소 보행신호시간을 확보할 수 있는 정류장의 경우 ‘용량 부족 해소’라는 개념을 도입하였으며 정류장 진출부의 유효녹색시간 조정만으로 중앙버스정류장의 용량이 버스 교통량보다 높게 도출된 것을 의미한다.

최소 보행자 신호 시간 적용 시 버스의 진행방향에 최대의 유효녹색시간을 배정한 것과 같은 의미이며 이때 용량 부족 현상이 해소되지 않았지만 이전보다 중앙버스정류장의 용량 효율이 증가할 경우 ‘용량 부족 완화’라 명명하였다. 용량 부족 해소로 분류할 수 없는 경우 유효녹색시간 조정만으로 중앙버스정류장의 용량이 얼마나 변화되는지 분석하기 위하여 최소 보행자 신호 시간의 제약을 제외하고 개발 방법론을 적용하면 중앙버스정류장의 용량이 해소되는 유효녹색시간과 용량을 도출할 수 있다.

마지막으로 최소 보행자 신호 시간 적용 시에도 중앙버스정류장의 용량에 변화가 없는 경우 정류장별 최대 유효녹색시간 값을 독립변수로 적용하여 가상의 최대 정류장 용량을 산출하고 초과하는 버스 교통량의 수치만큼 노선 조정을 권장한다. 이는 본 연구를 통해 중앙버스정류장을 정거하는 버스 노선들의 배차 조정을 최소한으로 하는 결론이 될 것이다.



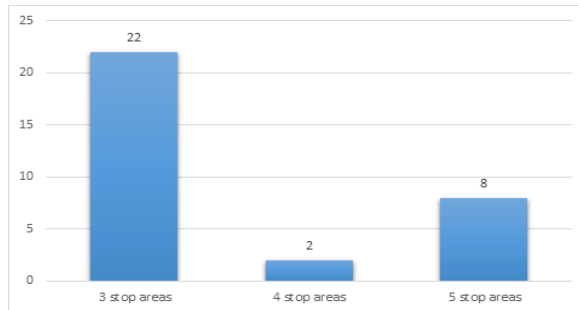
<Fig. 2> Flow for performing analysis development of the capacity of central bus stop methodology by adjusting effective green time

V. 분석 결과

1. 물리적 요인 변수 고정

1번부터 32번 중앙버스정류장의 정차면수 산정 결과는 <Fig. 3>과 같으며 정차면수가 3개인 정류장은 22

개소, 4개인 정류장은 2개소, 5개인 정류장은 8개소이다. 33번부터 41번 정류장은 현장 조사를 통해 수집한 정차면수로 고정하였다.

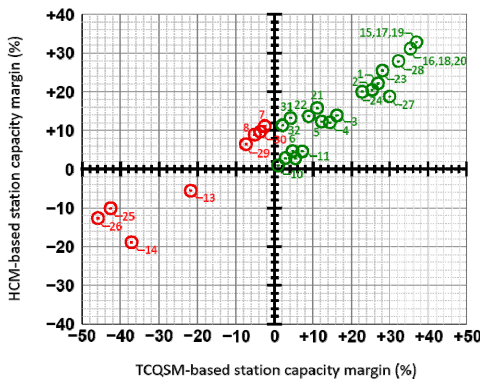


<Fig. 3> Applicable number of stop areas

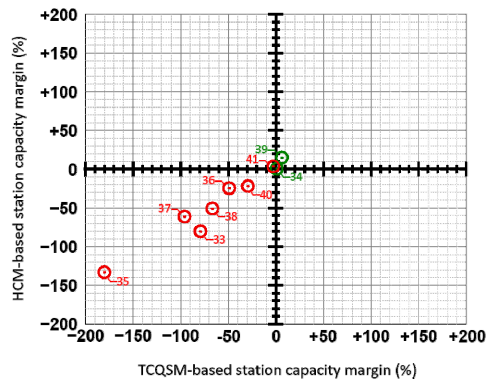
TCQSM과 도로용량편람에서 제시한 방법론에 따라 산정된 정류장 용량 값을 기준으로 정차면수를 산출 하였으며 두 방법론 중 정류장별로 정차면수가 높게 산정된 정차면수를 적용하여 용량 부족을 최소화하였다. 중앙버스정류장의 물리적 요소인 테이퍼의 길이를 함께 고려한 결과 두 개소(25, 26번)의 중앙버스정류장의 정차면수를 5면에서 4면으로 축소해야만 했다.

2. 용량 부족

물리적 요인을 고정하여 산정한 중앙버스정류장의 용량 산정 결과는 <Fig. 4>와 같다. TCQSM으로 산정한 중앙버스정류장 중 구축 예정인 중앙버스정류장의 25%인 8개소, 현장 조사 중앙버스정류장의 77.8%인 7개소의 정류장이 용량 부족으로 산출되어 용량이 부족한 중앙버스정류장은 총 15개소이다.



Calculated capacity of central bus stop to be built



Calculated capacity of central bus stop, as determined from the on-site survey

<Fig. 4> Calculated central bus stop capacity

도로용량편람의 산정식으로 산정한 중앙버스정류장은 TCQSM보다 적게 나타났으며 구축 예정인 중앙버

스정류장의 12.5%인 4개소, 현장 조사 중앙버스정류장의 66.7%인 6개소의 정류장이 용량 부족으로 산출되어 용량이 부족한 중앙버스정류장은 총 10개소이다.

3. 개발 방법론 적용 결과

버스정류장의 용량 부족 여부 결정 방법으로는 두 방법론을 통해 용량이 부족하게 산출된 10개소의 중앙 버스정류장의 용량이 부족하다고 판단한다. 그러나 본 연구에서는 두 방법론 모두 유효녹색시간 조정을 통한 용량 완화 효과를 확인하기 위하여 각 방법론별 산출된 용량 부족 정류장별로 시나리오 분석을 진행하였다. 본 연구의 개발 방법론을 적용한 결과는 총 세 가지로 정리할 수 있다.

최소 보행자 신호 시간을 확보할 수 있으며 동시에 유효녹색시간 조정만으로 중앙버스정류장의 용량이 해소되는 정류장은 ‘A’, 최소 보행자 신호 시간을 확보하지 못하지만 주어진 신호주기 내에서 용량이 해소되는 정류장은 ‘B’, 시나리오 분석 중 유효녹색시간 비율(g/C)이 1.00(최대)까지 설정되어도 용량 해소가 되지 않는 정류장은 ‘C’로 분류하였다.

TCQSM을 기반으로 개발 방법론을 적용한 결과는 <Table 5>, <Table 6>과 같이 나타났다. 구축 예정인 중앙버스정류장을 기반으로 분석한 결과 용량이 부족한 8개의 정류장 중 37.5%인 3개소의 정류장이 A, 37.5%인 3개소의 정류장이 B, 25%인 2개소의 정류장이 C로 분석되었다. 현장 조사를 시행한 중앙버스정류장 중 사당동우체국앞(41번)의 용량이 3% 증가하여 용량 부족 해소(A)가 가능한 것으로 분석되었다.

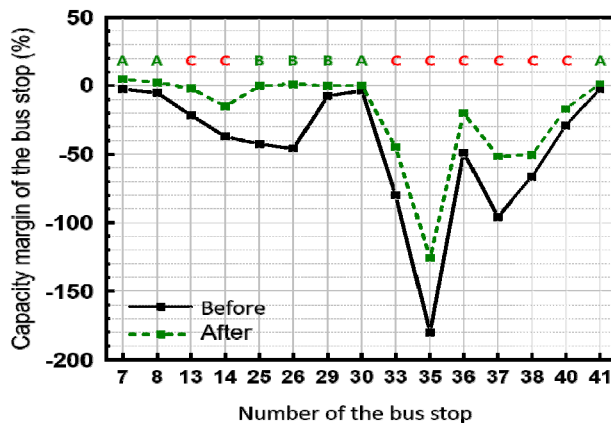
<Table 5> Calculations for the central bus stop to be Built, utilizing development methodology (TCQSM)

No.	Bus traffic (v/h)	Stop areas	Calculation of central bus stop capacity				Application of development (Ensure Min pedestrian signal time)				Application of development (Ignore pedestrian signal time)				Type
			g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	
			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			
7	80	5	0.73		78	-2	0.74		81	1	0.79		84	4	A
			132	180			134	180			143	180			
8	82	5	0.73		78	-4	0.79		84	2	0.79		84	2	A
			132	180			143	180			143	180			
13	95	5	0.74		78	-17	0.74		78	-17	1.00		93	-2	C
			133	180			133	180			180	180			
14	107	5	0.74		78	-29	0.74		78	-29	1.00		93	-14	C
			133	180			133	180			180	180			
25	87	4	0.49		61	-26	0.81		81	-6	0.91		87	0	B
			74	150			122	150			136	150			
26	89	4	0.49		61	-28	0.81		81	-8	0.97		90	1	B
			74	150			122	150			145	150			
29	87	5	0.76		81	-6	0.81		84	-3	0.85		87	0	B
			114	150			121	150			127	150			
30	84	5	0.76		81	-3	0.79		84	0	0.81		84	0	A
			114	150			119	150			121	150			

<Table 6> Calculations for the central bus stop, based on the on-site survey, utilizing development methodology (TCQSM)

No.	Bus traffic (v/h)	Stop areas	Calculation of central bus stop capacity				Application of development (Ignore pedestrian signal time)				Type
			g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	
			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			
33	239	4	0.69		133	-106	1.00		165	-74	C
			110	160			160	160			
35	210	5	0.69		75	-135	1.00		93	-117	C
			110	160			160	160			
36	108	4	0.69		73	-36	1.00		90	-18	C
			110	160			160	160			
37	141	5	0.63		72	-69	1.00		93	-48	C
			100	160			160	160			
38	140	5	0.80		84	-56	1.00		93	-47	C
			175	220			220	220			
40	96	3	0.80		74	-22	1.00		92	-14	C
			175	220			220	220			
41	76	3	0.80		74	-2	0.85		77	1	A
			175	220			187	220			

TCQSM을 기반으로 개발 방법론 적용 전·후의 분석 결과는 <Fig. 5>와 같다. A로 분류된 중앙버스정류장은 7, 8, 30, 41번 정류장이며 TCQSM 기반 개발 방법론 적용 결과 유효녹색시간 조정만으로 정류장 용량 부족이 해소되었다. B로 분류된 중앙버스정류장은 25, 26, 29번 정류장이며 유효녹색시간 조정을 통해 정류장 용량이 증가하여 용량 부족 문제가 완화되었다. C로 분류된 중앙버스정류장은 13, 14, 33, 35-38, 40번 정류장이며 이미 최소 보행자 신호 시간으로 운영하는 값과 동일한 유효녹색시간이 배정되어 있어 정류장 용량을 추가적으로 확보할 수 없었다.



<Fig. 5> Changes in the capacity (%) of the central bus stop before and after applying the development methodology (Based on TCQSM)

도로용량편람을 기반으로 개발 방법론을 적용한 결과는 <Table 7>, <Table 8>과 같이 나타났다. 구축 예정인 중앙버스정류장을 기반으로 분석한 결과 용량이 부족한 4개의 정류장 중 50%인 2개소의 정류장이 A, 25%인 1개소의 정류장이 B, 25%인 1개소의 정류장이 C로 분석되었다. 현장 조사를 시행한 중앙버스정류장 중 용량이 해소되는 정류장은 없는 것으로 나타났다.

<Table 7> Calculations for the central bus stop to be Built, utilizing development methodology (KHCM)

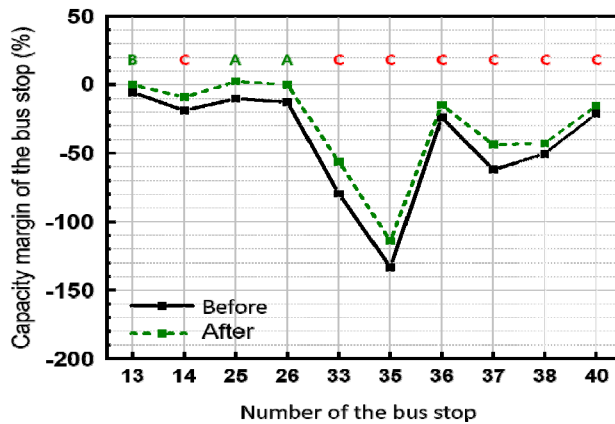
No.	Bus traffic (v/h)	Stop areas	Calculation of central bus stop capacity				Application of development (Ensure Min pedestrian signal time)				Application of development (Ignore pedestrian signal time)				Type
			g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	
			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			
13	95	5	0.74		90	-5	0.74		90	-5	0.84		95	0	B
			133	180			133	180			151	180			
14	107	5	0.74		90	-17	0.74		90	-17	1.00		98	-9	C
			133	180			133	180			180	180			
25	87	4	0.49		79	-8	0.67		87	0	0.81		89	2	A
			74	150			100	150			122	150			
26	89	4	0.49		79	-10	0.75		89	0	0.81		89	0	A
			74	150			112	150			122	150			

<Table 8> Calculations for the central bus stop, based on the on-site survey, utilizing development methodology (KHCM)

No.	Bus traffic (v/h)	Stop areas	Calculation of central bus stop capacity				Application of development (Ignore pedestrian signal time)				Type
			g/c		Capacity	excess or deficiency	g/c		Capacity	excess or deficiency	
			Effective green time	Cycle			Effective green time	Cycle			
33	239	4	0.69		133	-106	1.00		153	-86	C
			110	160			160	160			
35	210	5	0.69		90	-120	1.00		98	-112	C
			110	160			160	160			
36	108	4	0.69		87	-21	1.00		94	-14	C
			110	160			160	160			
37	141	5	0.63		87	-54	1.00		98	-43	C
			100	160			160	160			
38	140	5	0.80		93	-47	1.00		98	-42	C
			175	220			220	220			
40	96	3	0.80		79	-17	1.00		83	-13	C
			175	220			220	220			

도로용량편람을 기반으로 개발 방법론 적용 전·후의 분석 결과는 <Fig. 6>과 같다. A로 분류된 중앙버스

정류장은 25, 26번 정류장이며 도로용량편람 기반 개발 방법론 적용 결과 유효녹색시간 조정만으로 정류장 용량 부족이 해소되었다. B로 분류된 중앙버스정류장은 13번 정류장, C로 분류된 중앙버스정류장은 14번 정류장이며 이미 최소 보행자 신호 시간으로 운영하는 값과 동일한 유효녹색시간이 배정되어 있어 정류장 용량을 추가적으로 확보할 수 없었다. 그러나 13번 정류장은 최소 보행자 신호시간을 무시할 경우를 추가로 분석한 결과 정류장 용량이 해소되어 B로 분류되었다.



<Fig. 6> Changes in the capacity (%) of the central bus stop before and after applying the development methodology (Based on KHCM)

VI. 결 론

1. 결론 및 시사점

중앙버스정류장 설치 시 기존 시가지의 도로 기하구조를 바탕으로 설치하기 때문에 정류장 용량을 증가시키기 위한 시설 개선은 물리적인 제약이 따르며 해당 지자체의 자원 또한 요구된다. 이에 본 연구는 유효녹색시간 조정을 통해 중앙버스정류장 용량 부족 개선 여부 및 효과를 도출하는 연구로 물리적인 개선 방안을 배제하고 운영적 차원의 관점에서 오전 침두시(08~09시)를 기준으로 분석하였다.

본 연구는 운영 차원인 유효녹색시간 조정을 통해 중앙버스정류장 용량 부족 개선 여부를 도출하는 것이 목적이며 TCQSM 및 도로용량편람 방법론을 기반으로 본 연구를 위한 방법론을 개발하였다. 정류장 용량 산정에 있어 직접적으로 관련된 영향요인의 값을 중앙버스정류장에서 맞도록 설정하였다. 본 연구는 구축 예정인 가상의 중앙버스정류장을 계획하여 기초자료로 활용하였으며 기 구축된 중앙정류장도 함께 개발 방법론에 적용하였다. 중앙버스정류장 진출부의 유효녹색시간은 정류장으로 연결된 보행자 신호와 연동되기 때문에 최소 보행자 신호 시간과 중앙버스정류장의 용량을 기준으로 시나리오 분석을 진행하였다.

각 방법론별 개발 방법론 적용 전·후 결과는 <Fig. 5>와 같으며 분석 결과 유효녹색시간을 조정 시 중앙버스정류장의 용량이 해소되어 현실에서 적용할 수 있는 정류장은 'A', 용량은 해소되지만 최소 보행자 신호 시간을 확보하지 못하는 정류장은 'B', 용량이 해소되지 못하고 완화되는 결과를 나타내는 정류장은 'C'로

분류 할 수 있었다. 결과적으로 운영 차원의 개선 방안으로 용량이 부족한 15개소의 중앙버스정류장 중 26.7%인 4개소의 정류장은 유효녹색시간 조정을 통해 용량 부족 문제를 해결할 수 있는 것으로 도출되었다. 또한 본 연구의 개발 방법론을 통해 도출되는 초과 버스 교통량은 감축 운행 계획 시 최소 노선 조정수로 활용할 수 있다고 판단된다.

따라서 본 연구는 운영 차원의 개선 방안을 통하여 현재 운영 중인 중앙버스정류장의 용량 증대가 가능하다는 결과를 검증하였고 중앙버스정류장의 계획단계에서 공학적으로 산정된 중앙버스정류장의 정차면수를 확보할 수 없는 경우에도 효과가 있는 것으로 나타났다. 현실적으로 본 연구의 개발 방법론 적용 시 최소 보행자 신호 시간을 확보하는 값의 유효녹색시간을 적용한다면 중앙버스정류장의 용량이 해소 및 완화될 수 있으나 교차로부가 아닌 Mid-block 정류장에 한정하여 적용하여야 한다.

하지만 강남대로 및 동작대로의 중앙버스정류장 등 대다수가 단일로형 중앙버스정류장의 형태로 구축되어 운영 중이며 용량 부족 문제를 물리적 시설 개선이 아닌 운영 차원을 통해 개선한 접근은 가치 있는 연구로 판단된다. 향후 중앙버스전용차로가 확대됨에 따라 중앙버스정류장 용량 문제가 더 많아질 것으로 예상하며 실질적인 중앙버스정류장의 개선 방안이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서 제시한 결과는 물리적인 개선 방안을 도입하기 이전에 운영 차원 개선 방안의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

2. 향후 연구

본 연구는 간선급행버스체계(BRT) 구축계획에 포함된 가상의 중앙버스정류장과 실제 용량 부족 문제가 심각한 중앙버스정류장을 분석 데이터로 활용하였지만 분석 범위에 국한되지 않기 위해 독립변수인 정차 시간(t_d)을 Default values로 적용하여 중앙버스정류장의 용량을 정밀하게 측정하지 못하였다. 또한 신호현시가 2현시인 단일로형 중앙버스정류장을 대상으로 개발 방법론에 적용하였기 때문에 보행자 신호만을 고려하였으며 교차로형의 중앙버스정류장은 적용하지 못한 한계가 있다.

공간적 분석범위를 명확하게 설정하여 유효녹색시간 조정에 따른 중앙버스정류장 용량 분석 및 운영적 차원의 용량 완화 방안에 대한 연구가 필요하다. 또한 교차로형 중앙버스정류장의 용량 부족 문제에 대한 운영적 개선 방안을 고안해낼 필요가 있다. 구간을 한정지어 정밀한 기초 데이터를 반영하고 물리적 요인을 Vissim, Netsim 등의 시뮬레이션을 통해 설정하여 검증하는 등의 연구들이 앞으로 중앙버스정류장의 운영 발전에 도움이 될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 대도시권광역교통위원회의 ‘안양-사당 간선급행버스체계 사전 타당성 조사’ 용역을 지원받아 작성함.

REFERENCES

Jung, D. W. and Kim, Y. C.(2016), “Analysis of bus lanes using BMS big data”, *The 74th Conference of Korean Society of Transportation*, pp.708-713.

- Jung, W.(2016), “The efficient arrangement method for passing lane at median bus station: Centering on the intersection at the entrance of Gangnam-daero Education Development Institute,” Master’s Thesis, Department of Traffic Management Graduate School University of Seoul.
- Kim, J. Y.(2010), *A Transit Assignment model under Vehicle Capacity and Station Congestion*, Master’s Thesis, Department of Transportation Engineering Graduate School University of Seoul.
- Kim, W. H., Kim, S. J. and Kim, T. J.(2016), *Estimation of Operation Capacity on the Exclusive Median Bus Lane*, The Seoul Institute.
- Korean National Police Agency(2020), *Traffic Signal Installation and Management Manual*.
- Lee, J. W.(2006), *A Study on the Capacity Determination of Median Bus Lanes*, Master's Thesis, Department of Environmental Planning and Transportation Management Graduate School Seoul National University.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Explanation of rules on road structure and facility standards*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017), *Comprehensive Plan(2018~2027) for Express Bus System (BRT)*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), *Pre-validity investigation of the express bus system between Anyang and Sadang*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013), *Korea Highway Capacity Manual 2013*.
- Seo, J. S.(2003), *A Study on the Capacities of Bus and Bus Stop*, Doctoral Dissertation, Department of Transportation Engineering Graduate School Myongji University.
- Seoul Solution, <https://seoulsolution.kr>, 2021.10.11.
- Transportation Research Board’s Transit Cooperative Research Program(TCRP) Report 165(2013), *Transit Capacity and Quality of Service Manual-Third Edition*.