

SSA를 이용한 지하철 노선 Chain OD 구축 및 활용

Establishment and Application of Subway Line Chain OD Using SSA

이 미 영* · 남 두 희**

* 주저자 및 교신저자 : 국토연구원 국토환경·자원연구본부 책임연구원

** 공저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

Mee Young Lee* · Doohee Nam**

* Korea Research Institute of Human Settlements

** School. of Social Science, Hansung University

† Corresponding author : Mee young Lee, mylee@krihs.re.kr

Vol.18 No.5(2019)

October, 2019

pp.100~111

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.5.100>

2019.18.5.100

요 약

기존의 선별역사분석(SSA)은 특정 역사를 통행하는 개별승객의 기종점간 연계통행수단정보를 미시적으로 분석하는 개념이다. 따라서 지하철 노선과 같은 거시적이고 통합적인 분석방안으로 기존 SSA를 활용하기에는 한계가 있다. 본 연구는 개별승객의 지하철 통행의 경로탐색을 통하여 노선연계OD를 구축하고 활용하는 방안을 검토한다. 우선 승객이 이용한 연계통행수단에서 지하철 통행에 대하여 통행경로를 탐색하고 이를 SSA의 노선분석에 적용하는 개념을 제안한다. 이 개념은 기존 SSA에 비하여 개별승객의 완전한 통행경로정보가 특정역사에서 존재하기 때문에 역사를 통과하는 노선과 노선에 포함된 역사의 상반된 분석이 가능하다. 또한 특정역사에 대하여 접근하는 노선연계OD를 통합적으로 관찰하는 것이 허용된다. 개념적 이해를 위하여 서울메트로9호선을 대상으로 사례연구를 통하여 특정역사를 중심으로 노선연계OD의 통합적 구축개념과 노선에 포함된 역사로 접근하는 통행의 거시적 특성을 시연한다.

핵심어 : 역사선별분석, 지하철 노선 연계 OD, 경로선택모형, 교통카드, 빅노드 네트워크

ABSTRACT

The existing selected station analysis (SSA) method analyzes the link transfer mode data between origin and destination of individuals passing through stations from a microscopic standpoint. As such, existing SSA is insufficient as it uses integrated analysis using macroscopic data such as subway lines. This research builds a line chain OD based on path search of individual passenger's movement through the subway, and explores means to utilize the findings. First, a method is proposed that searches the traversed subway path from the linked passage modes that the passenger uses and applies the results to SSA line analysis. Compared to the existing SSA, this method provides for analysis of commonly conflicting features such as the line on which the station is passed, and the stations included on the line thanks to the presence of complete information of the individual passenger's traversed path. It also allows for integrated observation of the line chain OD that approaches a certain station. For enhanced understanding, Seoul Metro Line 9 is used as a case study to demonstrate the integrated formulation concept of line chain OD centered around a certain station as well as the macroscopic features of the traversed path that approaches stations included on the line.

Key words : Selected Station Analysis, Line Chain OD, Route Choice Model, Smart Card, Big Node Network

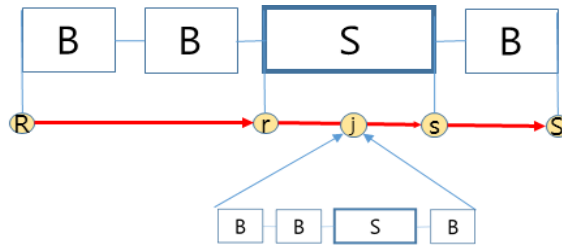
Received 4 October 2019
Revised 16 October 2019
Accepted 23 October 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

I. 서론

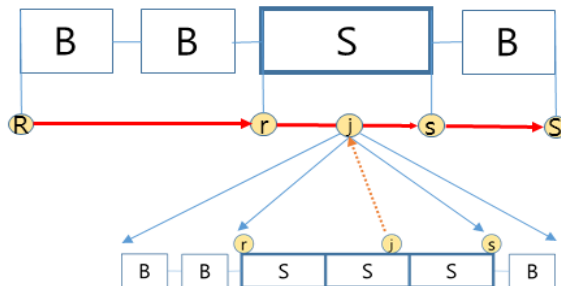
선별역사분석(Selected Station Analysis: SSA)은 교통망 최적화이론(Beckmann et al., 1956; LeBlanc et al., 1975; Dafermos, 1980; Sheffi, 1985; Lee, 2004)의 선별링크분석(Selected Link Analysis)을 기반으로 제안된 개념이다. Lee(2018)은 교통카드자료를 기반으로 구축된 버스(B)-지하철(S) 통합대중교통네트워크에서 SSA를 특정 지하철역사에서 나타나는 개별승객의 통행을 미시적(Microscopic)으로 파악하기 위해서 제안하였다. SSA는 지하철역사 내를 이동하는 승객의 통행을 4가지 유형 - 1) 노선간환승보행, 2) 역사승차/하차환승보행, 3) 역사직승/직하보행, 4) 열차내통행 - 으로 구분하고 이들 유형에 속하는 개별통행은 최초출발지와 최종도착지 간의 연계수단통행(Chain Mode Trip)으로 분석한다.

<Fig. 1>은 BBSB 연계수단통행을 발생시킨 승객은 최초정류장(R)과 최종정류장(S)에서 지하철(S)의 (r)-(s)역간 통행에 포함된 특정 (j)역사에서 BBSB정보가 관측되는 SSA사례를 보여준다. 이는 (j)역사를 중심으로 나타나는 4가지 승객통행유형에 대하여 개별승객의 연계수단통행 정보를 역사내의 통행특성을 규명하기 위해 SSA의 활용이 가능함을 예시하고 있다.



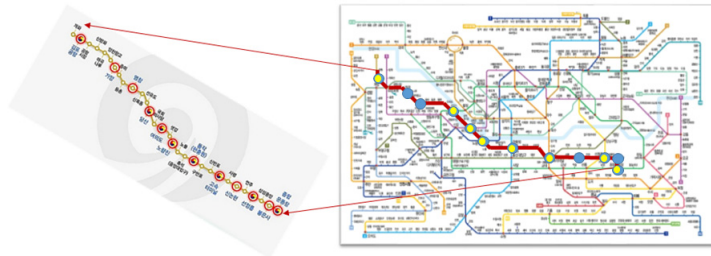
<Fig. 1> BBSB Observed by SSA in terms of Station (j)

한편 <Fig. 1>에서 특정 역사(j)에서 관측된 연계수단통행은 환승을 포함하는 통행으로 확장되는 정보는 파악할 수 없는 문제가 발생한다. <Fig. 1>의 BBSB는 4개의 수단통행으로 구성되나 <Fig. 2>의 지하철 네트워크에서 환승을 통해 3개의 S가 분리된 BBSSB의 6개 통행으로 발생하는 상황은 파악이 불가하다. 이는 Lee(2018)가 제안한 SSA가 미시적, 장소적 관측개념이어서 거시적, 통합적 기능이 결여되어 발생하는 문제이다. 따라서 역사(j)에서 지하철환승과 연계된 지하철 연계노선통행을 관측하는 별도의 작업이 필요함을 알 수 있다. <Fig. 2>는 모든 개별역사(j)에서 모든 승객의 연계수단통행이 파악되고 지하철 연계노선정보를 포함하면 SSA를 통해서 전체 연계노선의 통행분석이 통합적으로 유추됨을 나타낸다.



<Fig. 2> BBSSB Observed by SSA in terms of Station (j)

<Fig. 2>의 사례는 SSA의 확장을 통해 노선의 거시적 분석이 가능해짐을 의미한다. <Fig. 3>은 9호선이 포함된 모든 역사*j*의 접근노선통행을 고려하여 노선단위의 결과로 확장되는 것이다. 이 접근방법의 장점은 역사내 통행흐름을 미시적으로 파악하면서 거시적으로 노선 내의 역사별 또는 모든 역사의 통행을 노선전체의 통합적 관측개념으로 파악하게 하는 것이다.



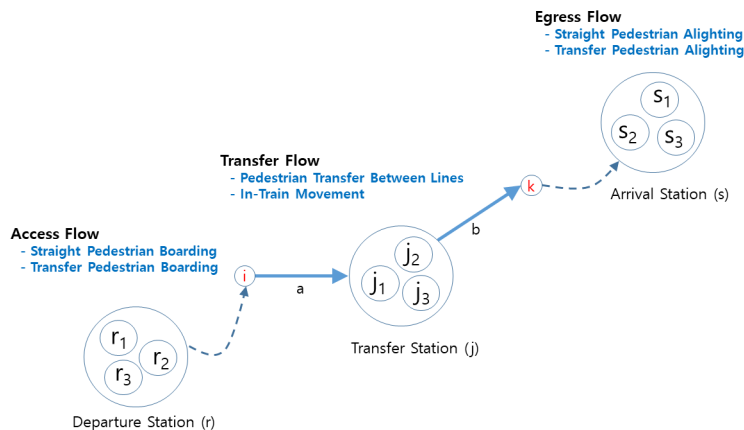
<Fig. 3> Seoul Metropolitan Subway Network & Metro Line 9

본 연구는 SSA에서 노선 Chain OD를 내재하는 방법론을 제안한다. 이를 위해 SSA에서 개별승객의 지하철 통행수단에서 지하철 환승으로 나타나는 연계노선정보를 재구축하는 방안을 강구한다. 이를 통해 특정 노선과 연계된 분석방안을 제안한다.

II. SSA와 활용 사례

1. 지하철역사 승객흐름

<Fig. 4>와 같이 출발역*r*, 환승역*j*, 도착역*s*에서 출발역 단말기노선ID 3개 (r_1, r_2, r_3), 환승역 3개 (j_1, j_2, j_3), 도착역 3개 (s_1, s_2, s_3)로 구성되며 각각 *r*, *j*, *s*가 Big Node에 해당된다. *r*의 출발직승보행, 출발환승보행, *j* 노선간환승보행, 차량통행, *s*는 도착직하보행, 도착환승보행으로 구분한다(Lee et al., 2018).



<Fig. 4> Passenger Flow in Subway Station Network

2. 지하철역사 승객경로선택모형

Lee(2018)은 교통카드 단말기노선ID로 구성된 역명이 Big Node로 구축된 지하철 네트워크를 대상으로 승객의 최소통행시간경로선택모형은 선형목적함수식으로 표현했다. 식(1)의 해법은 출발역(r)부터 도착역(s)까지 승객($q_{r,s}$)을 배정하는 확률적 배분문제로서 경로비용은 비가산성경로비용(Non Additive Path Cost; Gabriel and Bernstein, 1993; Shin and Baek, 2016; Shin et al., 2016)과 가산성경로비용(Additive Path Cost)으로 구분된다. Lee(2017)는 식(1)의 해법으로 가산경로비용을 가정한 K-경로탐색기법(Avezedo et al., 1993; Shin, 2004)을 기반으로 M-유사경로 탐색기법을 적용한 확률적 배정기법을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_a (c_a \cdot x_a) + \sum_a \sum_b (d_{ab} \cdot v_{ab}) \dots\dots\dots (1) \\ \text{s. t.} \quad & q_{rs} = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \quad \forall r, s \\ & f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, k \\ & v_{ab} = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \quad \forall ab, b \in \Gamma_a^+ \\ & x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,a}^{rs} \quad \forall a \end{aligned}$$

여기서 c_a 는 링크(a) 차내통행시간 ; d_{ab} 는 회전(ab) 환승시간
 q_{rs} 는 r-s간 수요; f_k^{rs} 는 r-s간 경로(k) 통행량
 v_{ab} 는 회전(ab) 통행량; x_a 는 링크(a) 통행량
 Γ_a^+ 는 링크a(i,j)의 j가 출발노드인 링크집합

식(1)에서 지하철노선정보를 나타내는 $\Phi(r)$, $\Phi(s)$, $\Phi(a)$, $\Phi(b)$ 을 도입하여 식(2)의 노선정보를 비교하여 승차역보행흐름은 $x_a^{r \rightarrow}$ 은 1) 직접승차(직승)과 2) 출발역사환승, 도착역보행흐름은 $x_b^{\rightarrow s}$ 는 3) 직접하차(직하)와 4) 도착역사환승, 중간역사 x_{ab}^j 는 5) 노선환승보행과 6) 차내통행으로 표현된다. <Table 1>은 식(2)의 통행분류를 보여주고 있다.

$$\begin{aligned} x_a^{r \rightarrow} &= \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,ra}^{rs} \quad \forall r, a(r,*) \dots\dots\dots (2) \\ x_b^{\rightarrow s} &= \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,bs}^{rs} \quad \forall b(*,s), s \\ x_{ab}^j &= \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \quad \forall ab = (*,j)b(j,*) \end{aligned}$$

여기서 $x_a^{r \rightarrow}$ 는 r에서 링크a 통행량 ;
 $x_b^{\rightarrow s}$ 는 링크b 에서s 통행량
 x_{ab}^j 는 j역사 회전ab 통행량 a=(*,j), b=(j,*)

<Table 1> Passenger Movement in Transfer Subway Stations

Passenger Movement	Mode	Variable	Line Comparison Condition
1) Departure Straight Ride	Pedestrian	$x_a^{r \rightarrow (*)}$	$\Phi(r) = \Phi(a)$
2) Departure Transfer		$x_a^{r \rightarrow (*)}$	$\Phi(r) \neq \Phi(a)$
3) Arrival Straight Alight		$x_b^{(*, s)}$	$\Phi(b) = \Phi(s)$
4) Arrival Transfer		$x_b^{(*, s)}$	$\Phi(b) \neq \Phi(s)$
5) Line Transfer		x_{ab}^j	$\Phi(a) \neq \Phi(b)$
6) Line Movement	In-Vehicle	x_{ab}^j	$\Phi(a) = \Phi(b)$

3. 개별승객의 연계수단통행정보를 내재한 지하철역사 승객경로선택모형

Lee(2018)은 지하철네트워크에서 승객의 최소통행시간경로선택모형은 식(3)과 같이 선형목적함수식으로 표현된다. 여기서 \bar{q}_{rs}^m 과 같이 최초출발정류장(r)부터 최종도착정류장(s)까지 연계통행이 포함된 개별승객(m)을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_a (c_a \cdot x_a) + \sum_a \sum_b (d_{ab} \cdot v_{ab}) \dots\dots\dots (3) \\
 & \text{s. t. } \bar{q}_{rs}^m = \sum_r \sum_s \sum_k \bar{f}_{mk}^{rs} = 1 \quad \forall r, s, m \\
 & \quad \bar{f}_{mk}^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, m, k \\
 & \quad v_{ab} = \sum_r \sum_s \sum_m \sum_k \bar{f}_{mk}^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \quad \forall ab, b \in \Gamma_a^+ \\
 & \quad x_a = \sum_r \sum_s \sum_m \sum_k \bar{f}_{mk}^{rs} \cdot \delta_{k,a}^{rs} = \sum_a \sum_b v_{ab} \quad \forall a
 \end{aligned}$$

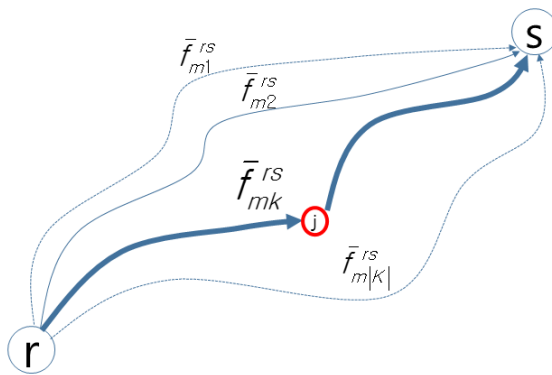
\bar{q}_{rs}^m 는 연계통행정보포함 개인(m)의 수요 ($q_{rs}^m = 1$);
 \bar{f}_{mk}^{rs} 는 연계통행정보포함 개인(m)의 (r-s)간 경로k의 통행량 ($f_{mk}^{rs} \leq 1.0$);

III. 지하철 노선 Chain OD를 내재한 SSA 구축방안

Lee(2018)가 제안한 SSA는 특정 지하철역사(j)에서 개별승객(m)이 지하철 환승에 따른 r-s간 확장된 연계통행을 포함하지 못하는 한계가 존재한다. 본 장은 r-s간 경로탐색과정에서 산출된 경로k의 모든 경로정보를 개별승객(m)에게 부여하는 SSA기법을 제안한다. 또한 개별승객(m)의 경로k에 포함된 역사를 특정노선과 연관하여 분석하기 위해 1) Big Node에 포함된 단말기노선ID를 검색하거나, 2) Big Node와 연결된 노선링크를 검색하는 방안을 제안한다. 이와 함께 Big Node에서 출발통행과 도착통행을 포함하고 있다.

1. 경로정보 구축방안

지하철 네트워크의 경로탐색에서 선정된 경로는 노선링크, Big Node 순서, 속성정보를 포함한다. 경로정보 구축방안은 \bar{f}_{mk}^{rs} 산정과정에서 경로(k) 전체 정보를 개별승객(m)에게 부여하는 방안이다. 이때 j역사 관점에서 보면 j역사를 통행하는 모든 개별승객(m)이 경로정보를 보유하고 있으므로 Chain OD가 내재된다. <Fig. 5>는 r-s간 |K| 개의 경로에서 k번째 경로의 통행량을 포함하는 경로k의 궤적이 역사 j에 개별승객(m)으로 포착되는 상황을 표현한 것으로 통행량은 \bar{f}_{mk}^{rs} 으로 나타난다.



<Fig. 5> Flow (\bar{f}_{mk}^{rs}) & k-th Path Information of Individual Passenger m

2. 경로에 포함된 역사(Big Node)의 노선정보 선별방안

개별승객(m)이 통행한 경로(k)의 정보는 Big Node(역사)의 연결 순서로 나타난다. 이때 특정역사(j)를 통과하는 경로(k)가 경유한 특정(선별)노선을 판단하는 과정이 요구된다. 이를 위해서는 Big Node(j)에 포함되는 교통카드 단말기노선ID를 검색하는 방법과 지하철 네트워크에서 Big Node와 연결된 노선링크로 파악하는 방법이 있다.

단말기노선ID 검색방법은: Θ 를 지하철노선집합으로 정의하면, j역사는 $j = \{j_1 \dots j_{|\Theta|}\}$ 의 단말기노선으로 표현되며 식(4)와 같이 특정노선의 통과여부는 판단함수 Δ 를 통해 j역사의 노선통과여부가 결정되는 식(4)과 같다.

$$\Phi(j) = \Delta(\Phi(j_1) \dots \Phi(j_{|\Theta|})) \dots \dots \dots (4)$$

노드와 연결된 노선링크 검색방법은 j노드를 유출(유입)노선링크로 하는 집합 Γ_j^+ (Γ_j^-)을 검토하여 j역사의 노선통과여부가 판단되는 식(5)과 같다. Γ_j^+ 과 Γ_j^- 를 동시에 파악하는 이유는 수도권 지하철과 같이 일방통행으로 운행되는 네트워크를 고려하는 내용을 포함하고 있다.

$$\Phi(j) = \Delta(\Phi(\Gamma_j^+) | \Phi(\Gamma_j^-)) \dots \dots \dots (5)$$

3. 역사(Big Node) 및 노선통행량 산정방안

Lee(2018)이 제안한 SSA는 특정역사(j)에서 방향별 승객통행을 출발역 $x_{a(j,*)}^{\vec{j}}$, 환승역 $x_{a(*,j)b(j,*)}^j$, 도착역 $x_{b(j,*)}^{\vec{j}}$ 으로 분리하여 판별하기 때문에 역사 전체의 통행량 x^j 을 식(6)와 같이 산정하는 방안이 요구된다. 식(7-8)은 x^j 의 산정을 위한 세부내용이다.

$$x^j = x_{a(j,*)}^{\vec{j}} + x_{b(*,j)}^{\vec{j}} + x_{a(j,*)b(*,j)}^j \dots\dots\dots (6)$$

$$x^j = \sum_j \sum_s \sum_m \sum_k \bar{f}_{mk}^{js} + \sum_r \sum_j \sum_k \bar{f}_{mk}^{rj} + \sum_r \sum_s \sum_k \bar{f}_{mk}^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \dots\dots\dots (7)$$

$$x^j = \sum_j \sum_s \sum_m \sum_k \bar{f}_{mk}^{js} + \sum_r \sum_j \sum_m \sum_k \bar{f}_{mk}^{rj} + x_{ab}^j \dots\dots\dots (8)$$

x^j 를 대상으로 Big Node(역사) j가 포함된 노선(L)의 x_L^j 통행량을 산정하면 식(9)와 같다.

$$x_L^j = \sum_j x^j \cdot \delta_L^j \dots\dots\dots (9)$$

여기서 δ_L^j 은 역사가 노선L에 포함되는 역사이면 1, 아니면 0.

IV. 사례연구

1. 시나리오 및 입력자료

기존 SSA의 개념을 거시적, 통합적인 분석이 가능하도록 SSA의 확대방안이 제시되었다. 시나리오는 지하철노선에 대한 통합분석의 가능성을 시연한다. 시나리오는 2가지 접근방법에서 분석된다. 우선 <Fig. 6>과 같이 수도권지하철네트워크의 출발역(r), 도착역(s)으로 통행하는 모든 개별승객이 메트로9호선 환승역에서 포착된 연계통행을 분석하기 위해 메트로9호선에 포함되는 역사는 기호 "O", 아니면 "X"로 구분한다. 또한 메트로9호선 8개 환승역사 통행량을 산정하여 SSA의 거시적 분석의 활용성을 도모한다.

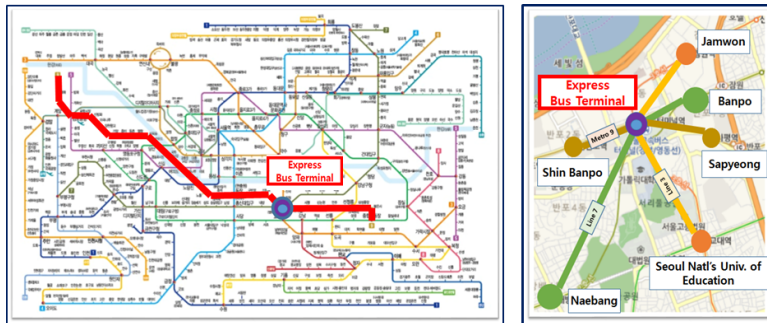


<Fig. 6> SSA for Metro Line 9 in Seoul Metropolitan Subway Network

입력자료는 교통카드자료와 수도권지하철네트워크 속성이다. 교통카드자료는 2017년 10월 18일 수요일 선후불카드로서 15,458,413 (건)의 연계통행으로 구성되어 있다. 수도권지하철네트워크는 노선단말기ID 688 (개), Big Node 588 (개), 노선링크 1332 (개), 회전 2132 (개)로 구성되어 있다.

2. 결과분석: 서울메트로9호선 연계통행분석 (고속터미널 사례)

수도권 15,458,413 연계통행에서 지하철 통행에 대한 SSA의 분석사례는 9호선 고속터미널역으로 선정한 다. <Fig. 7>은 서울메트로9호선의 고속터미널과 노선연계를 보여주고 있다. <Table 2>은 고속터미널을 중심으로 본 연구에서 제안하는 SSA의 결과를 나타내고 있다. 총 709035 (건) 통행이 일일 고속터미널을 이용했으며 서울메트로9호선 통과통행(OO포함)은 259827(건)인 36.7%를 차지한다.



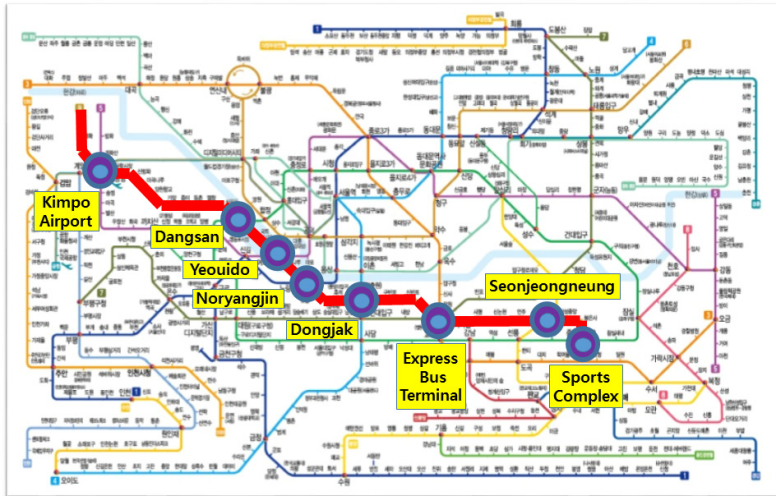
<Fig. 7> “Express Bus Terminal” in Seoul Metropolitan Subway Network

<Table 2> Trip Chain Type of Express Bus Terminal Station

Trip Chain Type	Number of Trip	Trip Chain Type	Number of Trip
XXX	165705	XXXO	409
XX	151471	XXXOOX	347
XXXX	65680	XXXOX	327
OO	53346	XOOXXX	284
XOOX	48962	XOXXX	186
OOX	48509	XO	170
XOO	47920	XXXXOX	138
XOX	42117	XXXOXXX	96
OXXX	17959	XXOXXX	47
XXOO	15843	XXXXXXXX	37
XXXXX	11833	XXXXOO	23
XXOOX	11407	XXXXO	23
XOXXX	11312	OXXX	10
XXOX	4895	OXXXX	1
XOXX	4119	Total : 709035 (100.0%) Inclusion of OO : 259827 (36.7%)	
XXOXXX	2022		
XXO	1053		
OXXXX	947		
XXXOO	802		
XXXXXX	533		
OXX	502		

3. 결과분석: 서울메트로 9호선 노선분석 (8개 환승역 사례)

서울메트로9호선 환승역을 중심으로 본 연구에서 제안하는 SSA의 통합분석결과를 검토한다. <Fig. 8>은 서울메트로9호선의 8개 환승역사를 보여주고 있으며 <Table 3>는 개별역사의 결과를 나타내고 있다. 평균통행거리 “김포공항” 30.3 (km), 평균통행시간 “김포공항” 50.9 (분), 평균통행역수 “고속터미널” 14.6 (개), 평균 환승역수 “김포공항” 3.6 (개)로 개별역사의 최고값으로 분석되었다.

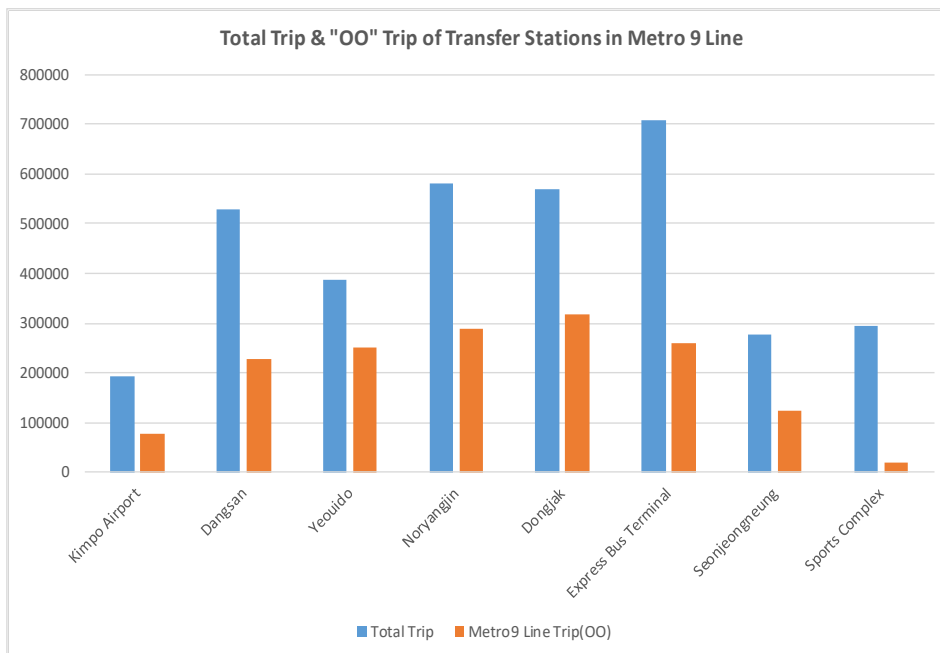


<Fig. 8> Transfer Stations of Seoul Metro Line 9

<Table 3> Summary of SSA in Seoul Metro 9 Line

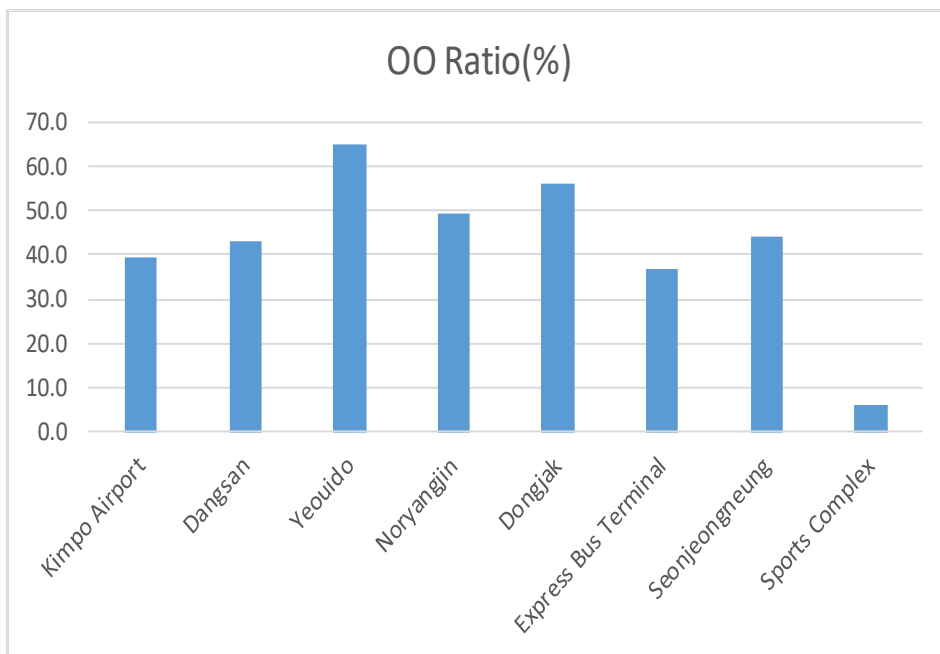
Transfer Station Name	Travel Length (Km)	Travel Time (Minute)	No. of Station	No. of Transfer Station	Transfer Time (Minute)	Total Trip (A)	Metro 9 Trip (B)	A/B*100
Kimpo Airport	30.3	50.9	11.4	1.4	3.6	193967	76417	39.4
Dangsang	18.4	40.0	12.1	1.0	2.4	528929	227143	42.9
Yeouido	19.0	40.3	12.4	0.9	2.2	387097	251819	65.1
Noryangjin	22.5	46.2	14.4	0.8	2.1	581604	287776	49.5
Dongjak	21.9	44.2	13.5	1.0	2.4	568449	317966	55.9
Express Bus Terminal	20.8	44.6	14.6	1.0	2.5	709035	259827	36.6
Seonjeongneung	18.0	42.0	12.7	1.1	2.7	277230	123073	44.4
Sports Complex	14.7	33.9	11.9	0.6	1.7	294674	18605	6.3

<Fig. 9>는 8개 환승역의 총통행 대비 서울메트로9호선 통과통행에 대하여 비교를 수행한 것이다. “고속터미널”이 가장 많은 통행인 709035 (건), 서울메트로9호선 통과통행은 “동작”이 317966 (건)을 나타내고 있다.



<Fig. 9> SSA for Metro Line 9 in Seoul Metropolitan Subway Network

<Fig. 10>은 8개 환승역의 총통행 대비 서울메트로9호선 통과통행의 비율을 분석한 내용이다. “여의도”가 가장 높은 55.9 (%)를 보여주고 있으며 “종합운동장”이 가장 낮은 6.3 (%)를 나타내고 있다.



<Fig. 10> Trip Ratio of Through SSA for Metro Line 9 in Seoul Metropolitan Subway Network

V. 결 론

SSA는 수도권통합대중교통체계에서 지하철역사를 이동하는 개별승객의 기종점으로 연관하여 분석하는 기법이다. 기존 SSA는 미시적이고 장소적으로 분석하여 역사내부의 통행분석에는 적합하나 노선으로 접근하는 통행에 대한 거시적 통합적 분석에는 한계가 존재했다. 본 연구는 SSA에서 지하철경로선택모형의 확장을 통해서 경로의 노선과 역사를 SSA의 개별승객통행에 내재화하는 방안을 도입하였다. 이에 따라 SSA에서 포착된 개별승객의 이동경로를 파악하여 전체적인 분석을 확장하는 방안을 마련하였다.

본 연구에서 제안한 SSA는 모든 역사를 통행하는 개별승객은 지하철의 출발역과 도착역을 연결하는 경로 정보를 포함하여 개인통행의 미시적 분석뿐만 아니라 특정 역사, 특정 노선, 네트워크전체의 통행특성을 포괄하는 분석기법으로 검토된다고 평가된다.

연구는 서울메트로9호선 사례연구를 통하여 SSA가 “고속터미널”의 세부적인 통과통행이 어떤 방식으로 접근하여 이탈하는가에 대한 윤곽을 보여주었다. 또한 SSA가 8개 환승역사의 모든 개별승객의 경로분석을 통합하여 서울메트로9호선과 환승역의 통행을 연관하여 분석하는 방법론을 제시하였다. 향후 버스 및 지하철을 통합하는 네트워크의 특성을 판단하는 작업이 추가적으로 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 ‘수도권 통행인구의 공간이동 실태분석 및 시사점-대중교통카드자료를 중심으로(2015, 국토연구원)’와 ‘교통카드자료를 활용한 서울시 마을버스 발전방안(2017, 서울시 마을버스조합 & 국토연구원)’를 바탕으로 확대한 것임

REFERENCES

- Azevedo J. A., Costa M. E. O. S., Madeira J. J. E. R. S. and Martins E. Q. V.(1993), “An Algorithm from the Ranking of Shortest Paths,” *European Journal of Operational Research*, vol. 69, pp.97-106.
- Beckmann M. J., McGuire C. B. and Winstern C. B.(1956), *Studies int the Economics of Transportation*, Yale University Press, New Haven, Conn.
- Dafermos S.(1980), “Traffic Equilibrium and Variational Inequilities,” *Transportation Science*, vol. 14, pp.42-54.
- Gabriel S. and Bernstein D.(1997), “The Traffic Equilibrium Problem With Nonadditive Path Costs,” *Transportation Science*, vol. 20, no. 5, pp.337-348.
- LeBlanc L. J., Morlock E. K. and Pierskalla W.(1975), “An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem,” *Transportation Research*, vol. 9, no. 5, pp.309-318.
- Lee M.(2017), “Transportation Card Based Optimal M-Similar Paths Searching for Estimating Passengers’ Route Choice in Seoul Metropolitan Railway Network,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 2, pp.1-12.

- Lee M.(2018), “A Study on Selected Station Analysis of AFC-Based Integrated Transit Network: Focused on Subway Transfer Stations in Seoul Metropolitan Area,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6, pp.67-83.
- Lee M., Shin S. and Kim B.(2018), “An Analysis Model on Passenger Pedestrian Flow within Subway Stations: Using Smart Card Data,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6, pp.14-24.
- Sheffi Y.(1985), *Urban Transportation Network*, Prentice Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey.
- Shin S.(2004), “Finding the First K Loopless Paths in A Transportation Network,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 6, pp.121-131.
- Shin S., Baek N. C. and Nam D. H.(2016), “A Heuristic Optimal Path Search Considering Cumulative Transfer Functions,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 3, pp.60-67.