

수도권 도시철도 경계역을 반영한 교통카드 기반 수입금 배분모형

Transport Card Based Revenue Allocation Model Considering Boundary Stations in Seoul Metropolitan Urban Railroad Network

신 성 일* · 김 희 천** · 남 두 희***

* 주저자 : 서울연구원 공간교통연구실 연구위원
** 교신저자 : 서울대학교 행정대학원 박사과정
*** 공저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

Seongil Shin* · Hee Chun Kim** · Doohee Nam***

* Research Associate, Dept. of Space Transportation Research, The Seoul Institute
** Ph D. Student, Graduate School of Public Administration, Seoul National University
*** Professor, School of Social Science, Hansung University

† Corresponding author : Hee Chun Kim, kimhee1000@korea.kr

Vol. 22 No.2(2023)
April, 2023
pp.15~28

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.2.15>

Received 10 February 2023
Revised 6 March 2023
Accepted 7 March 2023

© 2023, The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

경계역은 수도권 도시철도 연락운임정산에서 반영되지 못한 평가지표이다. 경계역은 동일한 노선을 공유하는 2개 운송기관의 경계 지점에 있는 역사로서 선로 운영방식은 영업관리와 유지관리로 구분된다. 지금까지 연락운임정산은 경계역을 영업관리의 관점으로 평가하였다. 한편 수도권 통합대중교통 요금체계는 발전적 차원에서 경계역을 유지관리의 관점으로 해석할 필요성을 요구하고 있다. 본 연구는 유지관리 방식이 도입되는 상황을 염두에 두고 수입금 변화를 정량적으로 분석하는 방안을 마련하였다. 서울교통공사와 KORAIL의 4개 구간의 경계역을 대상으로하여 1일 교통카드자료를 기반으로 운송기관의 수입금 변화를 평가하였다. 본 연구는 향후 수도권 도시철도의 운송수입금 변화를 평가하고 배분하는 분석적 판단을 위한 기초연구로써 의의가 있다고 할 수 있다.

핵심어 : 수도권 도시철도, 연락운임정산, 경계역, 영업관리, 유지관리

ABSTRACT

Boundary Station is an evaluation index that was not reflected in the Seoul Metropolitan Urban Railroad Connected Fare Allocation. Boundary station is a station located at the boundary point of two transportation agencies sharing the same route, and track operation methods are divided into business management and maintenance management. Until now, the Connected Fare Allocation has evaluated the boundary stations from the perspective of business management. Meanwhile, the integrated public transportation fee system requires the need to interpret the boundary stations from the point of view of maintenance management at the developmental level. This study was prepared a measure to quantitatively analyze changes in income with the introduction of maintenance methods in mind. The Change in the income of operation agency evaluated based on the daily transportation card data for the boundary stations of the four Seoul Transportation Corporation and KORAIL sections. This study is meaningful as a basic research for an analytical judgment that evaluates and

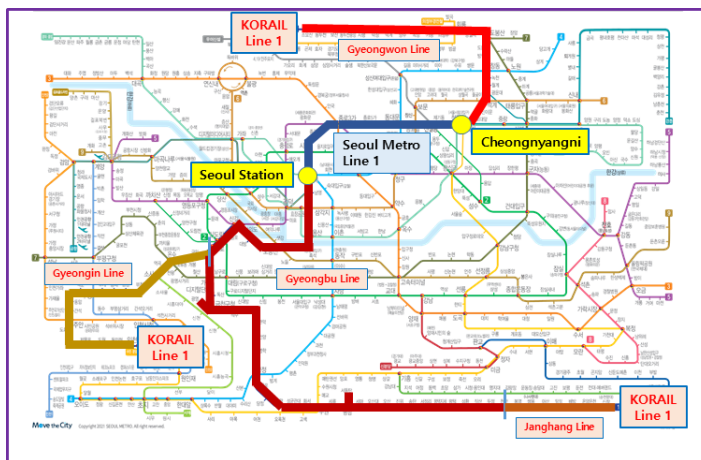
allocates changes in transportation income of Seoul Metropolitan Urban Railroad in the future.

Key words : Seoul Metropolitan Urban Railroad, Connected Fare Allocation, Boundary Stations, Business Management, Maintenance Management

I. 서 론

수도권 도시철도는 ‘22년 현재 13개 운영기관이 통합대중교통 요금체계(이하 통합요금제)에 참여하여 공동으로 운영된다. 통합요금제에서 승객통행은 복수의 운영기관이 관리하는 역사 및 선로 등의 인프라로 지원된다. 운영기관 입장에서 승객에게 부과된 요금을 수입금으로 배정받는 과정이 요구된다. 운송기관 간 수입금 배분은 도시철도발전법의 “연락운임정산”으로 명시되어 있다. 연락운임정산은 운송기관의 기여도를 산정하여 승객이 부과한 요금을 수입금으로 배분하는 협약 내용을 담고 있다. 그동안 연락운임정산에서 운송기관 기여도는 세 가지 지표 - 1) 최초 승차 단말기 운영(이하 TagIn), 2) 최초 열차승차(이하 초승), 3) 승객의 노선이동 거리(이하 인-Km) - 를 통해 일반적으로 평가됐다고 볼 수 있다.

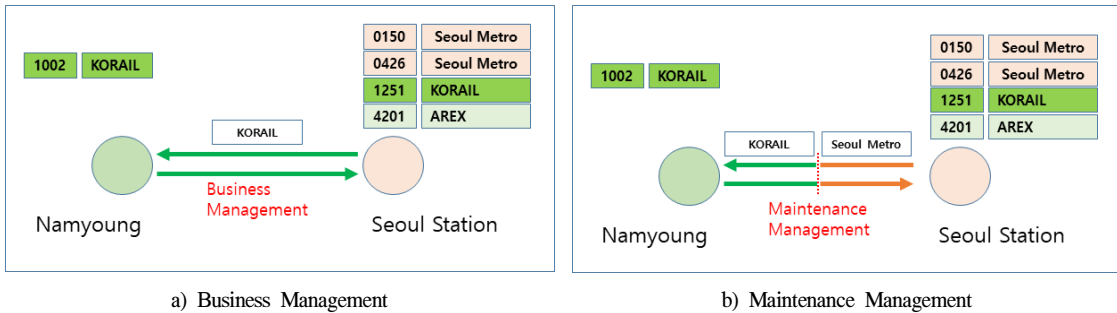
수도권 도시철도에서 경계역이란 동일한 노선을 2개 운영기관이 소유하여 운영하는 경계 지점에 있는 도시철도 역사를 의미한다. 경계역은 연락운임정산에서 논란이 되어 왔으나 반영되지 못한 지표이다. 경계역은 동일한 노선을 공유하는 두 운송기관의 경계 지점에 있는 역사이다. 인접 운영기관은 역사를 운영하고 노선을 유지하고 관리하고자 하는 공통 요구사항이 나타난다. <Fig. 1>은 수도권 5개 노선이 통합되어 운영되는 도시철도 1호선을 보여주고 있다. 수도권 도시철도 1호선은 서울교통공사의 1호선, KORAIL의 경원선, 경부선, 경인선, 장항선의 5개 노선으로 구분된다. 이때 서울교통공사(Seoul Metro: SM) 1호선과 한국철도공사(KORAIL) 경부선의 경계역은 서울역이다. 또한, 서울교통공사 1호선과 KORAIL 경의선의 경계역은 청량리다. 두 경계역 역사는 서울교통공사와 KORAIL이 운영 및 유지관리 업무를 공동으로 수행하기 때문에 서울교통공사와 KORAIL의 수입금 배분 기여도를 산정하는데 서로 영향을 미친다. 두 기관에서 연락운임정산의 수입금 배분에 대한 영향은 열차 선로(Track)를 운영하는 방식의 선택에 따라 달라진다.



<Fig. 1> Line 1 of Seoul Metropolitan Urban Railroad

경계역의 선로 운영방식은 영업관리와 유지관리로 구분된다. 영업관리는 단일 운송기관이 승객이 통행하는 선로를 전담하여 운송한다고 간주한다. <Fig. 2-a>는 서울역 - 남영 간 선로를 KORAIL에 소속된 노선으로 본다. 이 때문에 선로에서 발생하는 초승 및 인-Km의 기여도에 의한 수입금은 KORAIL로 배정된다. 유지관리 방식은 선로를 유지관리하는 부분만큼 담당한다고 본다. <Fig. 2-b>는 서울교통공사와 KORAIL의 유지관리가 분리된 선로에서 발생하는 초승 및 인-Km 기여도가 두 기관에 배분된다. 서울역 초승은 서울교통공사, 남영역 초승은 KORAIL이며, 인-Km의 기여도가 두 기관의 관리 부분만큼 할당된다.

한편 지금까지의 연락운임정산에서 경계역 선로는 영업관리 관점에서 주로 평가되었다. 하지만 최근 들어 경계역 선로의 기능을 다양한 측면에서 바라볼 요구가 나타나고 있다. 우선 수도권 도시철도의 외연적 확장으로 노선의 기능과 경계역의 역할이 복잡해지고 있다. 또한 민자기관 증가로 경계역 수가 늘어나고 있다. 따라서 유지관리의 협업 체계에 대한 중요성이 높아지고 있다. 특히 지자체들이 선로를 유지관리하는 참여자로 포함되고 있다. 이는 연락운임정산에 영향을 미치는 새로운 이해관계자(Stakeholder)의 요구를 고려해야 한다는 의미이다. 하지만 경계역을 고려한 수입금 배분 문제를 검토한 학술연구는 지금까지 없는 것으로 볼 수 있다.



<Fig. 2> Classification of Track Management of Between Seoul Station and Namyoung

본 연구는 연락운임정산에서 영업 및 유지관리 방식이 미치는 정량적 검토를 시행하고 시사점을 찾기 위한 수리적 방법론을 제시한다. 이를 위해 교통카드자료를 대상으로 수입금 배분 모형을 구축하여 영업 및 유지관리 방식에 대한 수입금 규모 및 배분 차이를 비교하고 시사점을 도출하고자 한다. 연구 방법은 다음의 3가지로 설명된다. 1) 수도권 도시철도 수단이 포함되는 개별승객의 연계통행(Trip Chain)을 대상으로 도시철도의 수단정산 배분금액을 산정한다. 2) 교통카드자료에서 나타난 개별승객의 수도권 도시철도 이용기록을 바탕으로 경로선택모형을 구축하고 운송기관의 수입금 배분 기여도를 산정하는 방법론을 제안한다. 3) 마지막으로 영업관리 및 유지관리의 시나리오를 구축하여 운송기관의 수입금 배분 금액을 비교하고 시사점을 도출한다.

II. 관련 자료 검토

1. 수도권 통합요금제

통합요금제는 단독수단과 환승이 포함된 복합수단을 모두 연계통행(Trip Chain)으로 간주한다. 따라서 단통통행과 환승통행에 대한 요금을 부과하는 방식을 구분할 필요가 있다. <Table 1>은 서울, 경기, 인천의 단

독수단을 이용하는 단일요금과 환승이 포함된 연계통행에 대한 환승할인과 거리비례요금제를 설명하고 있다(Shin et al., 2019).

<Table 1> Fare Data on Seoul Metropolitan Integrated Public Transport System

Area	Single Trip	Transfer Trip										
Seoul	• Single Fare : City bus, Town bus	• Metropolitan Unity Fare(Distance Based Fare) Basic Fare(City/Town 10km, Express 30km) (Charge Highest Fare among Used Modes) 100won Added Every 5km (Youth: 80won, Child: 50won) • Basis Distance										
Incheon	• Single Fare : City bus • Distance Based Fare : Express Bus, Metropolitan Bus, M Bus											
Gyeonggi	• Single Fare : Part of City Bus, Express Bus, Nonstop Express Bus, Town Bus • Distance Based Fare : Great Part of City Bus, Suburb Circular Bus, Metropolitan Rapid Bus											
Metropolitan Subway	• Distance Based Fare Within 10km : Basic Fare Within 10~50km : 100won per Each 5km Excess of 50km : 100won per Each 8km											
		<table border="1"> <tr> <td>Seoul Arterial/Feeder Bus, Town Bus</td> <td rowspan="3">10km</td> </tr> <tr> <td>Gyeonggi City Bus, Town Bus</td> </tr> <tr> <td>Incheon Arterial/Feeder/Rapid Express/Intra-Inter Express/Airport Express Bus</td> </tr> <tr> <td>Metropolitan Subway</td> <td rowspan="3">30km</td> </tr> <tr> <td>Seoul Metropolitan Bus</td> </tr> <tr> <td>Gyeonggi Express/Nonstop Express /Suburb Circular/Metropolitan Bus</td> </tr> <tr> <td>Incheon Metropolitan Bus</td> <td></td> </tr> </table>	Seoul Arterial/Feeder Bus, Town Bus	10km	Gyeonggi City Bus, Town Bus	Incheon Arterial/Feeder/Rapid Express/Intra-Inter Express/Airport Express Bus	Metropolitan Subway	30km	Seoul Metropolitan Bus	Gyeonggi Express/Nonstop Express /Suburb Circular/Metropolitan Bus	Incheon Metropolitan Bus	
Seoul Arterial/Feeder Bus, Town Bus	10km											
Gyeonggi City Bus, Town Bus												
Incheon Arterial/Feeder/Rapid Express/Intra-Inter Express/Airport Express Bus												
Metropolitan Subway	30km											
Seoul Metropolitan Bus												
Gyeonggi Express/Nonstop Express /Suburb Circular/Metropolitan Bus												
Incheon Metropolitan Bus												

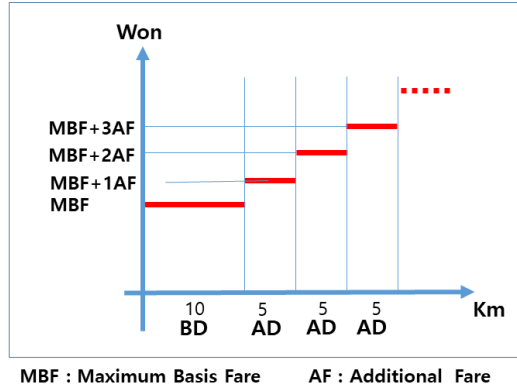
통합요금제에 참여하고 있는 버스과 지하철을 개별대중교통수단(m), 대중교통수단집합($M = \{m\}$)으로 한다. 출발역(정류장) 단말기 ID(r)와 도착역(정류장) 단말기 ID(s), 승객(p)라고 정의한다.

단일수단의 요금제로서 BF_{pm}^{rs} 는 p 가 m 을 이용한 기본요금(원), D_{pm}^{rs} 는 p 가 m 을 이용한 통행거리(km), BD_m 은 m 의 기본요금거리(km), AD_m 은 m 의 추가요금거리(km), AF_{pm}^{rs} 는 p 가 m 을 이용한 추가요금(원)이다. 단일수단(m) 탑승에 대한 요금부과는 서울·경기·인천의 지역별, 시내·마을·광역의 버스 수단별, 공사·민자의 도시철도 운영기관별로 요금이 부과된다. 식(1)은 단일수단(m)을 이용하는 승객의 요금(F_{pm}^{rs})은 BF_{pm}^{rs} 과 AF_{pm}^{rs} 의 합으로 계산된다. δ_m 은 수단의 추가요금 부과 여부를 결정하는 변수로서 추가요금이 부과되면 1, 아니면 0이다. 식(2)는 단일수단의 추가요금을 나타낸다. 식(2)의 $\epsilon \cong 0.0001$ 는 경계조건을 만족시키기 위해서 도입된 상수이다(Lee et al., 2004; Lee et al., 2005).

$$F_{pm}^{rs} = BF_{pm}^{rs} + AF_{pm}^{rs} \cdot \delta_m \quad \forall rs, p, m \dots\dots\dots (식1)$$

$$AF_{pm}^{rs} = (int) \left(\frac{\max(D_{pm}^{rs} - BD_m, 0)}{AD_m} + 1 - \epsilon \right) * AF_{pm} \quad \forall rs, p, m \dots\dots\dots (식2)$$

복합수단의 요금부과는 환승할인과 거리비례요금이 함께 적용된다. 5회의 수단까지 이용하면 환승요금이 할인된다. 기본거리 10(km)까지는 기본요금이 부과되고, 추가거리 매 5(km)에서 추가요금이 부과된다. 기본요금은 이용한 수단의 최대기본요금이 적용된다. <Fig. 1>은 기본거리(Basis Distance: BD)까지 기본요금(Basis Fare: BF)이 최대인 수단을 기본요금(Maximum Basis Fare: MBF)으로 최종 부과한다. 매 추가거리(Additional Distance: AD)에 따라 추가운임(Additional Fare: AF)이 적용되는 개념을 보여주고 있다.



<Fig. 3> Concept of Distance Based Fare Policy

BF_p^{rs} 는 p 의 기본요금(원), D_p^{rs} 는 p 의 통행거리(km), BD 은 기본요금거리(km), AD 은 추가요금거리(km), AF_p^{rs} 는 p 가 이용한 추가요금(원)으로 정의한다. 환승할인에 의해 BF_p^{rs} 을 승객(p)가 지불하는 기본요금은 이용한 수단의 최대기본요금의 식(3)으로 나타난다. D_p^{rs} 는 이용한 수단의 거리를 합산한 식(4)와 같다. 추가 요금은 운행한 총거리에 비례해서 요금을 부과하는 AF_p^{rs} 로 식(5)와 같다. 총요금은 식(6)이며, 환승할인에 의한 기본요금과 거리비례에 의한 추가요금의 합으로 나타난다.

$$BF_p^{rs} = \max(BF_{pm}^{rs}) \quad \forall rs, p \dots\dots\dots (식3)$$

$$D_p^{rs} = \sum_m D_{pm}^{rs} \quad \forall rs, p \dots\dots\dots (식4)$$

$$AF_p^{rs} = (int) \left(\frac{\max(D_p^{rs} - BD, 0)}{AD} + 1 - \epsilon \right) * AF_p \quad \forall rs, p \dots\dots\dots (식5)$$

$$F_p^{rs} = \max(BF_{pm}^{rs}) + (int) \left(\frac{\max(D_p^{rs} - BD}{AD} + 1 - \epsilon \right) * AF_p \quad \forall rs, p \dots\dots\dots (식6)$$

2. 수도권 대중교통수단 수입금 배분

단일수단 요금은 해당 수단을 운영하는 기관에 전액 배분된다. 따라서 통합요금제의 수입금 배분에 대한 규칙은 복합수단을 이용하는 상황에 한정한다. 복합수단의 수입금배분은 개별승객(p)에게 부과된 요금을 수단 정산규칙에 근거해서 계산된다. 수단배분의 가장 기본적인 규칙은 기본운임비율정산(이하 기본배분)이다. 기본배분은 연계수단에 대한 기본운임비율로 요금을 배분하는 식(7)과 같이 도시철도 통행에서 발생한 추가 요금수입은 도시철도로 배분되며 이를 “도시철도추가운임배분”이라고 한다. 여기서 AF_{pm}^{rs} 을 도시철도(Urban Railway: UR) 수단에서 발생한 추가운임으로, δ_m^{UR} 는 수단이 도시철도 여부(1, 0)로 구분하고, TA_m 은 m 의 총수입금으로 정의한다(식9).

$$A_{pm}^{rs} = F_p^{rs} \cdot \frac{BF_m^{rs}}{\sum_m BF_m^{rs}} + \delta_m^{UR} \cdot \sum_m AF_{pm}^{rs} \quad \forall rs, p, m \dots\dots\dots (식7)$$

$$AF_{pm}^{rs} = (int) \left(\frac{\max(D_{pm}^{rs} - BD, 0)}{AD} + 1 - \epsilon \right) * AF_p \quad \forall rs, p \dots\dots\dots (식8)$$

$$TA_m = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_m A_{pm}^{rs} \quad \forall m \dots\dots\dots (식9)$$

3. 수도권 도시철도 수입금 배분

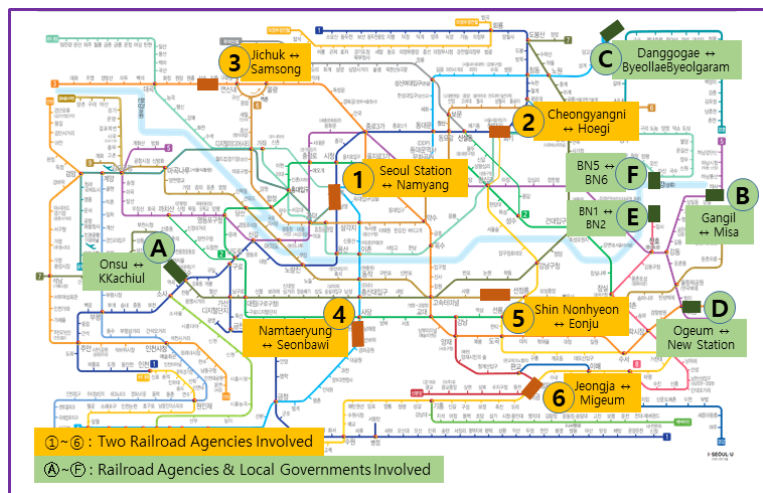
도시철도에 배정되는 기본운임수입($RBasis_{pm}^{rs}$)은 단독요금에서 기본요금의 식(1)과 복합요금에서 할당된 기본요금 식(7)을 합산한 식(10)과 같다. 추가운임수입($RAdded_{pm}^{rs}$)은 단독요금의 추가요금 식(2)와 도시철도 추가운임우대에서 발생한 추가요금 식(8)과 같다. 이때 식(11)에서 δ_{mrs}^{rs} 는 rs 와 \bar{rs} 의 일치판정 표식(1, 0)으로 정의한다.

$$RBasis_{pm}^{rs} = F_{pm}^{rs} + A_{pm}^{rs} \dots\dots\dots (식10)$$

$$RAdded_{pm}^{rs} = AF_{pm}^{rs} + \delta_{mrs}^{rs} \cdot \sum_m AF_{pm}^{rs} \dots\dots\dots (식11)$$

4. 수도권 도시철도 경계역

수도권 도시철도에서 운영하는 경계역은 동일노선을 공유하는 두 운송기관의 경계 지점에 있는 역사(㉠~㉦)이거나 운송기관과 관련지자체가 공동으로 역사를 운영하고 노선을 유지하는 경우(㉡~㉦)가 해당되며 <Fig. 4>와 같다.



<Fig. 4> Boundary Stations in Seoul Metropolitan Urban Railroad

<Table 2> Boundary Stations between Railroad Agencies in <Fig. 4>

Division		Track Length(km)	Owned Agencies
Line 1	① Seoul Station ↔ Namyang	1.7	Seoul Metro ↔ KORAIL
	② Chenongyangni ↔ Hoegi	1.4	
Line 3	③ Jichuk ↔ Samsung	1.7	
Line 4	④ Namtaeryung ↔ Seonbawi	2.0	
Seoul Metro Line 9	⑤ ShinNonhyeon ↔ Eonju	0.8	Seoul Metro Line 9 ↔ Seoul Metro
Shinbundang Line	⑥ Jeongja ↔ Migeum	1.8	Shinbundang Line ↔ Gyeonggi Railroad

<Table 3> Boundary Stations between Railroad Agencies & Local Governments in <Fig. 4>

Division		Track Length(km)	Associated Agencies and Local Governments
Line 7	Ⓐ Onsu ↔ Kkachiul	10.3	Seoul Metro, Bucheon City
Line 5	Ⓑ Gangil ↔ Misa	7.7	Seoul Metro, Hanam City
Line 4	Ⓒ Dangogae ↔ ByeollaeByeolgaram	12.7	Seoul Metro, Guri City, Namyangju City
Line 3	Ⓓ Ogeum ↔ New Station	11.5	Seoul Metro, Hanam City
Line 8	Ⓔ BN1 ↔ BN2	12.9	Seoul Metro, Guri City
	Ⓕ BN5 ↔ BN6		Seoul Metro, Guri City / Namyangju City

Ⅲ. 수도권 도시철도 운송기관 간 수입금 배분 모형

1. 경로선택모형

도시철도 역사를 출발역사 및 도착역사로 구분하고 운영되는 단말기ID를 각각 r, s 로 정의한다. 교통카드에서 나타나는 TagIn은 r 로 TagOut은 s 로 기록된다. Shin(2022)은 승객이 r 과 s 를 연결하는 최소시간경로를 선택하는 가정으로 식(12)의 선형목적식(Linear Programming)과 같이 표현하였다. 경로를 선택하는 요소는 노선링크 a 에서 b 로 이동하는 회전 v_{ab} 통행량(명)은 환승보행시간 W_{ab} (분), 배차간격 H_b (분), 차내시간 c_b (분)를 최소화하는 경로를 선택한다고 가정한다. 여기서 q^{rs} 는 수요(명); f_k^{rs} 는 경로 k 의 통행량(명); x_a 는 링크 a 의 통행량(명); $\delta_{k,a}^{rs}$ 는 경로 k 의 a 의 통과여부(0,1); $\delta_{k,ab}^{rs}$ 는 경로 k 의 ab 통과여부(0,1)를 나타낸다.

$$\min \sum_a \sum_b \left(W_{ab} + \frac{H_b}{2} + c_b \right) \cdot v_{ab} \dots\dots\dots (식12)$$

$$\text{s.t. } q^{rs} = \sum_k f_k^{rs} \quad \forall r, s$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, k$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,a}^{rs} = \sum_b v_{ab} \quad \forall a$$

$$v_{ab} = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \quad \forall ab$$

목적함수 식(12)에서 Lee(2004)의 링크표지기반 최소통행시간 경로탐색을 응용하여 Shin(2022)은 식(13)을 적용했다.

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + W_{ab} + \frac{H_b}{2} + c_b, \pi^{rb}) \dots\dots\dots (식13)$$

$$\pi^{rs} = \min(\pi^{rb} \mid b \in \Gamma_s^-)$$

여기서 π^{rb} : r에서 링크 b의 도착지점까지 최소통행시간(분)
 Γ_s^- : 노드 s가 도착노드인 링크집합

2. 도시철도 운송기관 수입금 배분

수도권 도시철도는 2022년 현재 13개 운송기관이 통합요금제에 참여하고 있다. 승객에게 부과된 요금수입은 개별운송기관의 수입금으로 바로 배정되지 않고 승객이 최초 진입하는 도시철도역사의 단말기 운영기관(TagIn)에서 보관하고 있다. 버스와 도시철도로 배분되는 수단정산은 매일 시행되고 있는 반면에 13개 도시철도 운영기관의 입장에서는 운송수입금을 확정하는 절차가 필요하다. 도시철도기본법에서는 이를 ‘연락운임정산’으로 명명하고, 운송기관의 수입금 배분 협약에 근거하여 수입금을 배분하도록 유도하고 있다.

2절에서 버스 및 도시철도 운송기관에 배정된 승객의 요금은 버스는 버스를 운영하는 기관 자체의 수입으로 배정된다. 반면 도시철도에 배정된 요금은 지하철의 최초 TagIn 단말기 운영기관에 잠정적으로 배분된다. 따라서 도시철도의 TagIn 단말기 운영기관에 배분된 수입금은 연락운임정산의 명목으로 재배분 절차를 수행하는 과정이 요구된다. 이때 TagIn부터 TagOut까지 승객이 이동한 경로를 추정하는 모형을 기반으로 TagIn, 초승기관, 인·Km의 정보를 산출하여 수입금을 재산정하는 과정을 수행한다.

수도권 도시철도에 참여하고 있는 13개 운영기관 집합을 θ , 개별운송기관을 O 로 정의한다($\theta = \{O\}$). 수도권 도시철도에서 두 역사 단말기ID의 $r-s$ 간 승객(p)에 대해 운송기관(O)에 배정된 요금수입(Ω_O)은 식(14)과 같이 식(15)의 TagIn수입(Ω_O^{TagIn}), 식(16)의 초승수입(Ω_O^{FRide}), 식(17)의 인·Km수입(Ω_O^{PerKm})을 통해서 배정받는다. 이때 기본요금($RBasis_{pm}^{rs}$)은 (β) 비율로 Ω_O^{TagIn} 배정하고 나머지 $(1-\beta)$ 는 Ω_O^{FRide} 에 배정한다. 추가요금($RAdd_{pm}^{rs}$)은 전부 Ω_O^{PerKm} 에 의한 수입으로 배정한다. 여기서 식(15)의 TagIn을 운영하는 기관표식 $\delta_{O,TagIn}^{rs}(1,0)$, 식(16)의 초승링크 판단 $\delta_{k,a,O,FRide}^{rs}(1,0)$, 식(17)의 경로거리(Δ_k^{rs})에서 기관의 거리부분 판단 $\delta_{k,a,O}^{rs}(1,0)$ 이 포함되어 개별 승객에게 부과된 요금이 개별운송기관의 수입금으로 배정되는 역할을 수행한다.

$$\Omega_O = \Omega_O^{TagIn} + \Omega_O^{FRide} + \Omega_O^{PerKm} \dots\dots\dots (식14)$$

$$\Omega_O^{TagIn} = \sum_r \sum_s \sum_p RBasis_{pm}^{rs} \cdot \delta_{O,TagIn}^{rs} \cdot \beta \dots\dots\dots (식15)$$

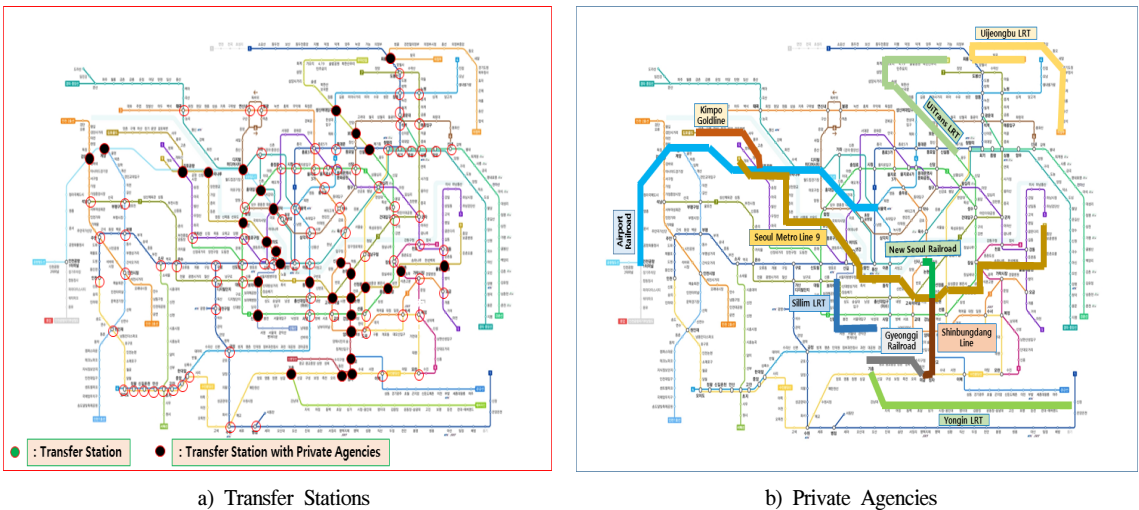
$$\Omega_O^{FRide} = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \sum_a RBasis_{pm}^{rs} \cdot \delta_{k,a,O,FRide}^{rs} \cdot (1-\beta) \dots\dots\dots (식16)$$

$$\Omega_O^{PerKm} = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \left(\frac{\sum_a \Delta_a \cdot \delta_{k,a}^{rs} \cdot f_k^{rs}}{\Delta_k^{rs}} \right) \cdot RAdd_{pm}^{rs} \cdot \delta_{k,a,O}^{rs} \dots\dots\dots (식17)$$

IV. 사례연구

1. 네트워크 및 교통카드 자료

통합요금제는 버스와 도시철도를 포함해서 5회까지 수단이용이 가능하다. 버스(B)는 통행수단자체에서 통행거리가 파악되나 도시철도는 승객의 통행을 추정하는 모형이 요구된다. 따라서 모든 연계통행을 고려할 필요가 없이 도시철도가 포함되는 경로선택을 포함하는 과정이 필요하다. 본 연구의 수도권 도시철도는 '22년 현재 641개 역사, 114개 환승역, 13개 운송기관이 통합요금체계에 참여해서 운영되고 있다. 또한 r, s 로 표현되는 요금 단말기 ID는 770개로 승객의 요금은 $r-s$ 를 최소통행거리로 연결하는 거리비례요금제로 부과된다. 요금부과의 최소통행거리를 부과하는 이유는 환승역사에서 승객의 이동이 포착되지 못하기 때문이다. <Fig. 5-a>는 114개 중 32개 환승역과 이에 대한 32개 민자기관의 환승단말기 운영역사를 보여주고 있다. <Fig. 5-b>는 10개의 민자운영기관 노선을 나타내고 있다. 민자기관의 요금체계는 기본요금과 추가요금 이외에 별도요금과 독립요금에 추가된다. 본 연구는 연락운임정산에서 필요로 하는 기본 및 추가요금을 대상으로 한정한다.



<Fig. 5> Seoul Metropolitan Urban Railroad Network

2022년 5월 31일 화요일의 일일 교통카드자료를 대상으로 도시철도가 포함된 총 8,270,305건의 연계통행을 <Table 4>는 보여주고 있다. 이때 버스는 B, 도시철도는 S로 표시한다.

<Table 4> Trip Chains with Railroad Trip(S) in Smart Card Data

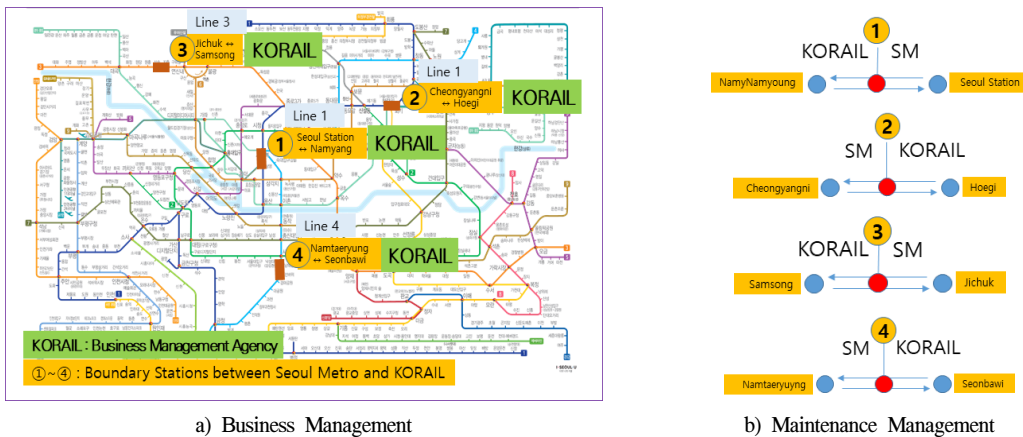
(2022.5.31, Tuesday)

Sequence	Trip Chain	Count	Sequence	Trip Chain	Count
1	S	5,934,399	21	BSS	603
2	BS	1,028,076	22	BBSBB	525
3	SB	982,691	23	SSB	471
4	BSB	219,220	24	SBBSB	470

Sequence	Trip Chain	Count	Sequence	Trip Chain	Count
5	SBB	37,342	25	BBBBS	401
6	BBS	28,370	26	SBBBS	223
7	BSBB	7,963	27	SBSBB	197
8	BBSB	6,384	28	SBSBS	159
9	SBS	5,194	29	BBSBS	99
10	SBBB	3,515	30	BSSB	76
11	SS	3,458	31	SSBB	9
12	BBBS	2,171	32	BSSBB	4
13	SBBS	2,090	33	SSS	4
14	SBSB	1,272	34	BBSS	2
15	BSBBB	1,115	35	SSSB	2
16	BSBS	1,110	36	BBSSB	2
17	BBBSB	724	37	BSSS	2
18	SBBBB	685	38	SSBBS	1
19	BSBBS	666	39	BSSBS	1
20	BSBSB	608	40	SSBBB	1

2. 도시철도 경계역 반영

<Table 2>에서 경계역은 총 12개가 검토되었다. 본 연구는 수입금의 차이가 크게 나타날 수 있는 경계역이 포함된 4개 경계역의 영업관리와 유지관리에 대해 2개 시나리오를 구축하여 비교한다. <Fig. 6>는 분석대상이 되는 4개 경계역과 선로 ① 서울역~남영(1호선), ② 청량리~회기(1호선), ③ 지축~삼송(3호선), ④ 남태령~선바위(4호선)를 보여주고 있다. 현재는 4개 선로에 영업관리 방식을 적용하고 있으며, KORAIL 선로로 전부 할당되어 운영하고 있다. <Fig. 6-a>는 영업관리를 나타내고 있다. 한편 유지관리 방식은 경계역에서 선로길이의 1/2씩 KORAIL과 서울교통공사(SM)가 할당해서 평가한다. 이때 경계역의 선로는 가상노드(Dummy Node)를 구축하여 <Fig. 6-b>와 같이 선로를 두 기관에 할당한다.



<Fig. 6> Track Management Scenarios of Boundary Stations

3. 대중교통 수단요금 반영

'22년 일일 교통카드 자료의 수단에 포함되는 도시철도는 13개로 적용된 요금은 <Table 5>와 같다. 수단코드 201과 203은 서울교통공사로 같은 운영기관이다. 총요금은 기본요금과 별도요금이 합쳐진 금액이며, 본 연구에서는 기본요금을 대상으로 한다. 공항철도의 독립요금이 운영되는 구간은 청라국제도시~인천공항제2청사이다. 본 연구는 도시철도의 독립요금구간과 별도요금을 제외한 기본요금과 추가요금만을 대상으로 반영한다.

<Table 6>은 수도권에서 운행되는 버스의 수단코드에 해당하는 기본요금이다. 청소년과 어린이는 성인의 80%, 50%의 기본요금과 추가요금이 각각 부과된다. 현재 경기도 버스는 기본요금에서 별도요금을 분리하여 경기버스 운송기관의 수입금으로 자체 배정된다.

<Table 5> Fare Data of Thirteen Urban Railroad Operation Agencies

(unit: won)

Mode Code	Operation Agencies	Total Fare	Basis Fare	Extra Fare	Independent Fare
201	Seoul Metro	1,250	1,250	0	-
202	KORAIL	1,250	1,250	0	-
203	Seoul Metro	1,250	1,250	0	-
204	Incheon Transport	1,250	1,250	0	-
205	Seoul Metro Line 9	1,250	1,250	0	-
206	Airport Railroad	1,250	1,250	0	900-2,900
208	Shinbundang Line	2,250	1,250	1,000	-
209	Gyeonggi Railroad	2,250	1,250	1,000	
210	New Seoul Railroad	1,750	1,250	500	
231	Yongin Light Rail	1,450	1,250	200	-
232	Uijeongbu Light Rail	1,350	1,250	100	-
235	UI Light Rail	1,250	1,250	0	-
236	Kimpo Gold Line	1,250	1,250	0	-
237	Sillim Light LRail	1,250	1,250	0	-

<Table 6> Fare Data of Bus Operation Agencies in Seoul Metropolitan Area

Mode Code	Amount of Fare (won)			Mode Name	Mode Type
	Adult	Teenager	Child		
105	900	480	300	Seoul Town Bus(105)	Town Bus
115	1,200	720	450	Seoul Arterial Bus	City bus
120	1,200	720	450	Seoul Feeder Bus(120)	City bus
121	1,200	720	450	Seoul Feeder Bus(121)	City bus
131	2,150	1,360	1,200	Seoul Night Bus(131)	City bus
130	2,300	1,360	1,200	Seoul Metropolitan Bus(130)	Metropolitan Bus
140	1,100	560	350	Seoul Yellow Bus	City bus
582	1,050	840	530	Gyeonggi Town-Bus	Town Bus
583	1,150	920	580	Gyeonggi Town-Bus	Town Bus
584	1,100	880	550	Gyeonggi Town Bus(Basic Fare)	Town Bus
500	1,250	870	630	Gyeonggi Bus(Distance Based Fare)	City bus

Mode Code	Amount of Fare (won)			Mode Name	Mode Type
	Adult	Teenager	Child		
511	1,250	870	630	Gyeonggi Bus(Basic Fare)	City bus
550	2,600	1,820	1,530	Gyeonggi Circular Bus(Distance Fare)	City bus
530	2,050	1,520	1,230	Gyeonggi Express City(530)	Metropolitan Bus
533	2,400	1,680	1,400	Gyeonggi Express City(533)	Metropolitan Bus
570	2,400	1,900	1,600	National Red Bus(570)-Distance Fare-M Bus	Metropolitan Bus
470	1,250	870	500	Incheon Town Bus	Town Bus
475	1,250	870	500	Incheon Arterial Bus	City bus
476	1,250	870	500	Incheon Rapid Arterial Bus	City bus
480	950	600	350	Incheon Express City Bus	City bus
481	950	600	350	Incheon Feeder Bus	City bus
472	950	600	350	Incheon Town Bus	City bus
483	1,650	1,200	700	Airport Express City Bus(483)-Distance Fare	Metropolitan Bus
485	2,650	1,500	1,100	Incheon Bus-2017(New)	Metropolitan Bus
487	2,200	1,200	1,000	Incheon Old Metropolitan Bus	City bus
488	2,200	1,200	1,000	Incheon Metropolitan Bus	City bus
491	1,300	900	530	Incheon Express City Bus(491)-Distance Fare	Metropolitan Bus
496	2,600	1,550	1,300	National Red Bus(496)-Distance Fare-M Bus	Metropolitan Bus

4. 결과 분석

<Table 4>의 도시철도(S)가 포함된 8,270,305건의 연계통행에 대해 <Fig. 6>에서 나타난 경계역을 반영하여 도시철도 운송기관의 수입금 배분을 적용한 결과는 <Table 7>과 같다. 또한 경계역을 적용하지 않은 결과는 <Table 8>과 같다.

<Table 7> Agencies' Revenue Allocation with applying the Boundary Stations (2022.5.31., Tuesday, $\beta = 0.1$)

Agencies	Revenue Allocation of Agencies (won)			Total (won)	Ratio (%)
	TagIn	First Ride	Person-Km		
Seoul Metro	423,893,496	3,575,962,842	384,495,840	4,384,352,178	53.88
KORAIL	180,120,395	1,659,411,819	429,646,914	2,269,179,129	27.79
Incheon Transport	36,269,093	332,905,491	37,142,383	406,316,967	4.98
Seoul Metro Line 9	27,971,464	343,727,906	68,797,494	440,496,865	5.40
Airport Railroad	10,980,415	113,472,798	56,893,571	181,346,785	2.22
Shinbundang Line	8,585,188	83,771,669	42,259,161	134,616,019	1.79
Gyeonggi Railroad	5,619,405	65,720,491	8,747,196	80,087,092	1.13
New Seoul Railroad	1,656,956	46,243,551	5,966,686	53,867,193	0.68
Yongin Light Rail	2,137,011	19,008,600	1,861,854	23,007,464	0.29
Uijeongbu Light Rail	2,614,791	23,524,917	666,731	26,806,440	0.34
UI Light Rail	3,443,644	33,398,529	1,764,112	38,606,285	0.47
Kimpo Gold Line	4,315,714	39,825,141	9,020,311	53,161,165	0.65
Sillim Light LRail	2,647,232	27,932,652	734,466	31,314,351	0.38
Total	710,254,805	6,364,906,407	1,047,996,720	8,123,157,932	100.00

<Table 8> Agencies' Revenue Allocation without applying the Boundary Stations (2022.5.31., Tuesday, $\beta = 0.1$)

Agencies	Revenue Allocation of Agencies (won)			Total (won)	Ratio (%)
	TagIn	First Ride	Person-Km		
Seoul Metro	423,893,496	3,556,583,799	380,401,783	4,360,879,078	53.51
KORAIL	180,120,395	1,678,790,862	433,740,970	2,292,652,228	28.13
Incheon Transport	36,269,093	332,905,491	37,142,383	406,316,967	4.99
Seoul Metro Line 9	27,971,464	343,727,906	68,797,494	440,496,865	5.41
Airport Railroad	10,980,415	113,472,798	56,893,571	181,346,785	2.22
Shinbundang Line	8,585,188	83,771,669	42,259,161	134,616,019	1.8
Gyeonggi Railroad	5,619,405	65,720,491	8,747,196	80,087,092	1.14
New Seoul Railroad	1,656,956	46,243,551	5,966,686	53,867,193	0.68
Yongin Light Rail	2,137,011	19,008,600	1,861,854	23,007,464	0.29
Uijeongbu Light Rail	2,614,791	23,524,917	666,731	26,806,440	0.34
UI Light Rail	3,443,644	33,398,529	1,764,112	38,606,285	0.47
Kimpo Gold Line	4,315,714	39,825,141	9,020,311	53,161,165	0.65
Sillim Light LRail	2,647,232	27,932,652	734,466	31,314,351	0.38
Total	710,254,805	6,364,906,407	1,047,996,720	8123,157,932	100.00

<Table 9>에서는 경계역을 반영한 운송기관 배분 결과인 <Table 7>에서 경계역을 반영하지 않은 운송기관 배분 결과인 <Table 8>을 감산한 것이다. <Table 9>의 최종 변화를 중심으로 분석하면, 경계역을 중심으로 서울교통공사의 유지관리 선로가 적용되면 초승수입은 19.4(백만원), 인-Km 수입은 4.1(백만원)으로 총 23.6(백만원)이 증가한다. 이를 1년으로 환산하면 서울교통공사는 85.7(억원)에 해당한다. 한편 서울교통공사의 수입은 정확하게 KORAIL의 손실로 잡히며 1년에 약 85.7(억원)의 수입이 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 본 연구에서 적용한 2022.5.31일 자료는 COVID19 팬데믹 이후 수도권 대중교통수요가 20~25%가 감소되었음을 감안하면 107~114(억원) 수준으로 나타난다.

<Table 9> Difference between with and without applying the Boundary Stations (2022.5.31., Tuesday, $\beta = 0.1$)

Agencies	Revenue Allocation of Agencies (won)			Total (won)
	TagIn	First Ride	Person-Km	
Seoul Metro	0	19,379,043	4,094,057	23,473,100
KORAIL	0	-19,379,043	-4,094,056	-23,473,099
Incheon Transport	0	0	0	0
Seoul Metro Line 9	0	0	0	0
Airport Railroad	0	0	0	0
Shinbundang Line	0	0	0	0
Gyeonggi Railroad	0	0	0	0
New Seoul Railroad	0	0	0	0
Yongin Light Rail	0	0	0	0
Uijeongbu Light Rail	0	0	0	0
UI Light Rail	0	0	0	0
Kimpo Gold Line	0	0	0	0
Sillim Light LRail	0	0	0	0
Total	0	0	0	0

V. 결 론

수도권 도시철도 연락운임정산에서 운송기관 기여도는 최초 승차 단말기 운영, 최초 열차승차, 승객의 노선이동 거리를 통해 지금까지 평가되었다. 경계역은 연락운임정산에서 논란이 되어 왔으나 반영되지 못한 지표이다. 경계역은 같은 노선을 공유하는 두 운송기관의 경계 지점에 있는 역사로서 인접 운영기관이 역사를 운영하고 노선을 유지 및 관리할 필요성이 나타나는 지점이다. 경계역은 선로를 운영하는 방식에 따라 영업관리 및 유지관리로 구분된다. 지금까지의 연락운임정산에서 경계역은 영업관리의 관점으로 평가되었다. 한편 수도권 도시철도의 확장으로 경계역의 역할에 있어 유지관리의 관점이 점차 주목받고 있다.

본 연구는 연락운임정산에서 유지관리 방식이 도입되는 상황을 가정하여 운송기관의 수입금 배분에 대한 정량적인 분석을 시행하였다. 이를 위해 교통카드자료를 대상으로 연락운임에 적용되는 수입금 배분모형을 구축하여, 영업관리 및 유지관리의 두 가지 시나리오를 대상으로 수입금 배분 차이를 평가하였다. 이를 위해 서울교통공사와 KORAIL의 경계역 구간인 ① 서울역~남영(1호선), ② 청량리~회기(1호선), ③ 지축~삼송(3호선), ④ 남태령~선바위(4호선)을 대상으로 COVID19 팬데믹의 영향이 있던 2022년 5월 31일 화요일에 대하여 분석을 시행하였다. 분석 결과는 1일 약 23.5(백만원)의 수입이 서울교통공사로 증가로 KORAIL에서는 동일한 손실의 영향이 나타났다. 이를 1년으로 환산하면 약 85.7(억원), COVID19의 수요감소가 20%~25%의 영향을 반영하면 약 107~114(억원) 수준으로 평가되었다.

본 연구는 수도권 통합요금체계가 외연적으로 확장되고 민자 운송기관의 진입으로 도시철도의 연락운임에 대한 평가적 관점의 변화를 반영하기 위하여 시행되었다. 현재 경계역의 인접 노선에 대한 교차적 영향은 민자 운송기관의 진입, 도시철도의 외연적 확장, 지자체의 이해관계자 포함이라는 상황에 직면하고 있다. 본 연구에서 제시하는 수입금 배분 및 평가 기준이 수도권 통합대중교통 요금체계 분쟁 해결을 위한 접근 방법으로 검토될 필요가 있다.

REFERENCES

- Lee, M.(2004), *Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibitions for Intersection Movement*, Doctoral Dissertation, University of Wisconsin at Madison.
- Lee, M., Baek, N., Moon, B. and Kang, W.(2005), "Finding the K Least Fare Routes In the Distance-Based Fare Policy", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no. 1, pp.103-114.
- Lee, M., Baek, N., Nam, D. and Shin, S.(2004), "Finding a Minimum Fare Route in the Distance-Based Fare System", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 6, pp.101-108.
- Shin, H.(2022), *Estimating Revenues of Integrated Fare System for Seoul Metropolitan Public Transportation using Smartcard Data*, Doctoral Dissertation, Seoul National University.
- Shin, S., Lee, C. and Cheon, S.(2019), "Analyzing Changes in Revenue of Subway Organization According to Bus Fare Increase in Seoul Metropolitan Area", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 37, no. 6, pp.486-498.