

노인무임승차 첨두시 요금부과에 따른 수입금 변화 : 수도권 스마트카드자료를 이용하여

Revenue Change by Peak Hour Fare Imposition for Senior Free Ride : Using Seoul Metropolitan Subway Smart Card Data

신 성 일* · 이 진 학** · 이 하 식***

* 주저자 : 서울연구원 공간교통연구실 연구위원

** 공저자 : 서울연구원 공간교통연구실 연구위원

*** 교신저자 : 서울연구원 공간교통연구실 연구위원

Seongil Shin* · Jinhak Lee* · Hasik Lee*

* Dept. of Transportation Systems Research, The Seoul Institute

† Corresponding author : Hasik Lee, hasiklee@si.re.kr

Vol. 22 No.2(2023)
April, 2023
pp.01~14

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.2.1>

Received 3 February 2023
Revised 26 February 2023
Accepted 25 April 2023

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

요 약

본 연구는 수도권 지하철의 노인무임승차에 대하여 오전 및 오후 첨두시간대에 요금을 부과하는 상황을 전제로 지하철 운송기관의 수입금 변화를 추정한다. 스마트카드자료는 노인무임통행에 대하여 요금관 관련된 자료를 생산하지 않고 있다. 따라서 스마트카드자료를 이용해서 노인승객의 요금을 추정하고 운송기관에 수입금으로 배분하는 별도의 방법론에 대한 검토가 요구된다. 본 연구는 노인통행은 출발시간을 기점으로 최소시간경로를 선택하는 가정을 반영하는 동시적 동적통행배정모형을 구축하여 통행경로를 선정하고 이를 기반으로 노인에게 부과되는 거리비례요금과 민자기관의 별도 및 독립요금을 추정하고 운영기관의 수입금으로 배분하는 모형과 방법론을 구축하고 시연한다. 2019년 및 2020년 COVID-19 전후를 대상으로 사례연구를 시행한 결과 서울교통공사의 무임손실을 연간 3600억원에서 오전첨두(07:00-08:59)에는 6~8% 수준, 오후첨두(18:00-19:59)에는 13~16% 까지 절감될 것으로 분석된다.

핵심어 : 노인무임승차, 첨두요금부과, 스마트카드자료, 동시적 동적통행배정모형, 연락운임

ABSTRACT

This study derives quantitative data on how much the fiscal deficit of subway operation agencies can be reduced in the process of charging free rides for the elderly in metropolitan subways during peak periods. In smart card data, every trip of elderly is recorded except fares. Therefore, it is required to establish a methodology for estimating the fares of elderly passengers and distributing them to subway operation agencies as income. This study builds a simultaneous dynamic traffic allocation model that reflects the assumption that elderly selects a minimum time route based on the departure time. The travel route of the elderly is estimated, and the distance-proportional fare charged to the elderly is calculated based on this, and the fare is distributed by reflecting the connected railway revenue allocation principle of the metropolitan subway operating agencies. As a result of conducting a case study for before and after COVID-19 in 2019 and 2020, it is analyzed that Seoul Metro's annual free loss of 360 billion won could be reduced 6~8% at the morning peak (07:00-08:59), and 13~16% at the morning and afternoon peak (18:00-19:59).

Key words : Free ride of senior citizens, Peak Fare Charge, Smart Card Data, Simultaneous dynamic traffic assignment model, Connected railway revenue allocation

I. 서론

수도권 지하철은 노인복지법(1984) 규정으로 65세 이상에 대하여 노인무임승차제도(이하 무임승차)를 시행하고 있으나 운영기관의 무임승차에 의한 요금손실이 급격하게 증가하는 문제에 직면하고 있다. 서울교통공사의 사례(Seoul Metro, 2019)로 한정하여 살펴보면, 당기순손실액은 약 5,800억원으로, 이중 무임승차(경로, 장애인, 국가유공자 등)로 인해 발생하는 비용은 60%인 약 3,700억원으로 조사되었다. 서울교통공사 재무제표(Seoul Metro, 2019)에서 노인무임은 전체 무임승차자의 80%로 약 3,000억 원으로 추정된다. 한편 통계청(KOSTAT, 2019)의 장래인구추계에 의하면 노인인구는 '21년 16%의 고령사회에서 '47년 37%의 초고령사회로 진입하는 것을 보여주고 있다. 이는 별다른 대응 없이는 무임승차와 관련된 적자 문제는 더욱 확대되는 전망을 보여주는 것이다. 이러한 운영기관의 적자에 대한 심각성으로 인하여 보편적 복지를 지향하는 무임승차에 대해 비판적인 견해가 나타나는 실정이다.

한편 무임승차의 사회적 만족도는 타 복지제도에 비하여 높기 때문에 무임승차제도를 긍정적으로 바라보는 견해가 우세하다. 서울시 보도자료('18.7.19)는 노인의 대중교통 이용 패턴이 주로 '여가 및 경제활동'이며, 노인건강을 고려할 때 정부가 무임승차를 적극적으로 활용하고 있음을 보여주고 있다. 무임승차에 대한 사회·경제적 파급효과(B/C)는 1.63-1.84로 추정되어(Choi, 2014) 노인에 대한 보편적 복지측면에서 매우 긍정적 결실을 얻고 있다. 무임승차는 노인의 여가활동, 경제활동, 노인복지 예산감소, 노인복지 관광활성화, 지역경제 활성화, 노인보건의료 향상 등 다양한 활동을 간접적으로 지원한다. 서울교통공사 여론조사('20.11.4)에서도 80%가 무임수송 유지를 찬성하는 것으로 나타났다.

언급한 적자문제와 복지 만족도의 견해를 종합하면, 무임승차를 유지하면서 노인에게 일정 부분의 요금을 부담시키는 방안이 어느 정도 설득력이 있다고 볼 수 있다. 침두시간대에 노인에게 요금을 부과하는 방안은 이러한 정책에 일부 부합하는 것으로, 정부의 노인무임지원 마우처 제도와 같은 정부의 복지지원 정책(N News, 2022)으로 운영이 가능할 것으로 검토된 바 있다. 이 정책은 혼잡이 심한 침두시간대에 노인통행에 대한 요금을 패널티로 부과하고 이를 적자 해소를 위한 재원으로 활용하는 방법이다. 한편 노인통행에 대한 요금부과가 재정적자 해소에 어느 정도로 기여하는지 정량적으로 평가한 연구는 미미하다.

현재 지하철 운송기관의 요금수입금 산정을 위한 스마트카드자료는 요금부과 및 정산과정에 대한 분석자료에서 무임승차를 제외하고 있다. 노인통행에 대한 교통카드자료는 단말기의 최초 TagIn 및 최종 TagOut에 대한 정보를 포함하고 있기 때문에 노인이 지불해야하는 거리비례요금, 민자기관의 별도요금 및 독립요금에 대한 내용은 노인의 지하철 이동에 대한 경로선택모형을 구축하여 반영하는 과정이 요구된다. 최종적으로 노인에게 부과되는 요금과 운송기관의 수입금으로 전환되는 산정방법론이 통행경로의 선택모형과 함께 구축되는 과정이 요구된다.

본 연구는 침두시간대 무임승차를 유임으로 전환하는 모형을 구축하기 위하여 스마트카드자료를 활용하여 노인통행에 기반하여 통행요금을 추정하고, 추정된 요금을 지하철 수입금 배분원칙에 따르는 연락운임정산 방안으로 산정한다. 이를 위해 노인통행자료의 TagIn/TagOut 단말기ID자료와 Tag시간대를 활용하여 설정된 대안에 개별노인의 이용경로를 추정하고, 경로에 기반하여 요금을 산정하여, 산정된 요금을 수입금을 배분하는 세 가지 분석기반을 마련한다. 이를 위해 노인은 TagIn시간을 기점으로 정의된 최소통행시간경로를 선택하는 동시적 동적통행배정원리를 구축하고, 선택된 경로에서 존재하는 요금부과기준을 적용하여 기본, 추가, 별도, 독립요금을 산정한다. 또한, 경로에서 나타나는 운영기관의 기여도를 분석하여 지하철 연락운임정산에 기반한 운송기관의 수입금을 산정한다.

II. 선행 연구 및 자료분석

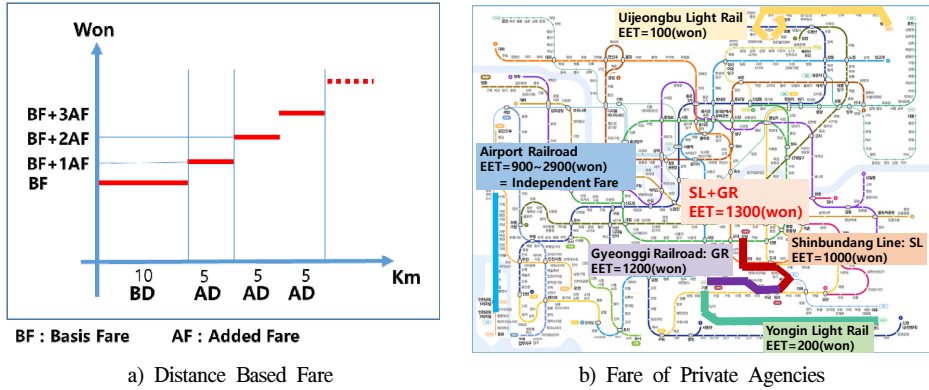
1. 노인무임 연구 검토

1984년 노인복지법으로 제정되어 시행되고 있는 노인무임승차제도에 대한 연구는 한정되어 있다. Kim (2016)은 노인무임승차의 연구를 KRILA(2015), McKinsey and Samil pwc(2013), Ministry of Health and Welfare (2013), Cho(2016), Shon(2015), Cho(2010) 연구로 요약하고 있다. 우선 KRILA(2015)는 대구도시철도공사와 광주도시철도공사를 대상으로 노인인구 증가와 비례하여 손실액이 크게 증가할 것으로 예측하였다. 특히 자치단체 재정현황, 경영환경, 결손금액 간의 상관관계분석을 통하여 2015년부터 2020년의 추정자료를 이용한 상세한 분석자료를 제시하였다. McKinsey and Samil pwc(2013)은 서울메트로와 서울도시철도공사의 재무구조 개선을 중심으로 분석하여 인위적인 운임상승 없이 수익 증가가 어려운 운수 위주의 매출구조를 지적했으며 운임상승에도 노인의 증가로 인한 수익구조 개선은 한계가 있음을 검토하였다. Ministry of Health and Welfare(2013)은 노인 지하철 무임승차에 대한 종합 개선안으로 무임승차 적용 연령을 연차적으로 상향하는 방안을 제시하여 노인복지 주관 부서에서도 노인무임승차의 문제점을 개선하려는 노력이 진행되고 있음을 보여주었다. Cho(2016)는 도시철도 운영기관의 재정부담을 완화하기 위하여 노인무임승차 연령기준을 재정립하고, 국가 재정으로 KORAIL의 수도권 전철에 대한 재정적자를 보전하는 방안을 지방철도에도 적용하여 형평성 있는 장기적 운영방안을 검토하였다. Shon(2015)는 무임수승은 법령에 의해 규정된 국가정책임을 전제로 국가 및 지자체가 일정비율로 분담하는 방식이 요구됨을 검토하였으며, KORAIL에 대한 정부지원과 같은 법령 기준을 지자체 철도운영기관에도 적용하는 방안의 필요성을 언급하였다. Cho(2010)은 지방의 도시철도 운영손실의 급격한 증가를 예측하면서 KORAIL에 대한 국철의 손실액은 상당부분 정부로부터 지원받는 형평성 문제를 제기하고 정부와 지자체의 합리적인 방안 모색에 대한 필요성을 강조하였다.

2. 수도권 지하철 요금부과

'20년 11개 운송기관이 운영하는 수도권 지하철을 이용하는 통행에 대하여 요금은 4가지로서 기본요금, 추가요금, 별도요금, 독립요금이다. 기본요금(Basis Fare: BF)과 추가요금(Additional Fare: AF)은 지하철을 이용하는 승객에게 거리비례요금제 방식에 의하여 산정된다. 거리비례요금은 지하철 출발역사 단말기를 TagIn 하는 과정에서 기본요금이 부과되고 기본거리(Basid Distance: BD)를 초과하여 매 추가거리(Added Distance: AD)에 대하여 추가요금이 부과된다. 현재 일반기준으로 각각 기본요금 1250(원), 기본거리 10(Km), 추가거리 5(Km), 추가요금 100(원)이다. 한편 시계의 구간은 추가거리 8Km당 100원을 부과하고 있는데 이는 경춘선의 가평-춘천 구간과 1호선의 평택-신창 구간에 해당한다.

<Fig. 1-a>는 최초 기본요금과 추가요금이 계단형(Step-Wise)으로 증가하는 거리비례요금구조를 나타내고 있다. 또한 민자기관을 경영하는 승객은 거리비례요금과 함께 별도요금(Extra Fare: EF)와 독립요금(Independent Fare: IF)을 지불한다. 별도요금은 신분당선, 경기철도, 의정부경전철, 용인경전철에서 운영하고 있으며, 독립요금은 공항철도 일부구간에서 적용되고 있다(Shin et al.,2019). <Table 1>은 11개 운송기관의 기본요금·별도요금·독립요금의 일반기준의 요금을 나타내고 있다. 어린이와 청소년은 성인의 80% 및 50% 요금이 적용되고 있다. <Fig. 1-b>는 지하철이 일반적으로 Lee(2023)이 검토한 진입-진출요금(Entry-Exit Toll: EET)과 동일한 요금체계를 나타내고 있는 것을 암시하고 있다.



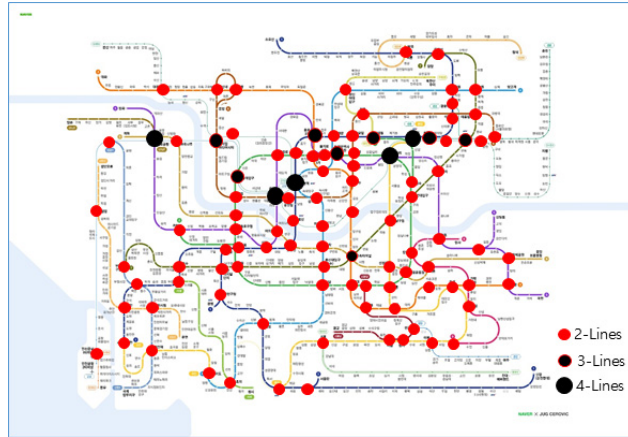
<Fig. 1> Fare Separate Fare of Private Agencies

<Table 1> Fare Data for General of Eleven Subway Operation Agencies (unit: won)

Mode Code	Operation Agencies	Total Fare	Basis Fare	Extra Fare	Independent Fare
201	Seoul Metro	1250	1250	0	-
202	KORAIL	1250	1250	0	-
203	Seoul Metro	1250	1250	0	-
204	Incheon Transport	1250	1250	0	-
205	Seoul Metro Line 9	1250	1250	0	-
206	Airport Railroad	1250	1250	0	900-2900
208	Shinbundang Line	2250	1250	1000	-
209	Gyeonggi Railroad	2450	1250	1200	
231	Yongin Light Rail	1450	1250	200	-
232	Uijeongbu Light Rail	1350	1250	100	-
235	UI-Sinseol Light Rail	1250	1250	0	-
236	Kimpo Gold Line	1250	1250	0	-

3. 수도권 지하철 연락운임정산

'21년 12월 기준 11개 운영기관으로 구성된 수도권 지하철은 615개 역사 및 103개 환승역으로 구성되어 있으며 민자기관은 승객의 환승을 위한 단말기가 설치되어 있으나 공사기관은 환승단말기가 설치되어 있지 않다. 따라서 수도권 지하철은 환승역으로 인해 승객이 어떤 경로를 통해 이동했는가에 대한 정보가 교통카드자료에 기록되지 못한다. 승객이 어떤 경로를 선택했는가에 대한 정확한 정보가 없기 때문에 수도권 지하철에서 승객의 거리비례요금은 승객의 최소이동거리를 가정하여 계산된다. 따라서 승객에게 부과되는 요금과 승객의 실제 이동한 경로에 대한 추정이 정확하지 못하다. 이러한 경로의 불확실성으로 인해 수도권 운송기관은 승객의 경로를 추정하여 수입금을 배분하는 연락운임정산을 수행한다. 연락운임정산은 매일 승객의 요금을 배분하는 수단정산과 달리 승객에게 부과되는 요금을 TagIn기관에서 우선 보유하고 있다. 연락운임정산은 보통 3-5년에 걸쳐 시행되며 기관 간의 분쟁을 포함하는 이슈이다. 수도권 지하철 연락운임은 1988년 최초로 시행되었으며, 1996년, 2008년, 2013년, 2019년에 각각 시행되었다. 현재는 대도시권광역교통위원회에서 연락운임정산에 대하여 기관 간의 합의를 조정하고 있다. <Fig. 2>는 수도권 지하철의 103개 환승역을 나타낸다.



<Fig. 2> Transfer Stations in Seoul Metropolitan Subway Network

4. 수도권 교통카드 승객유형

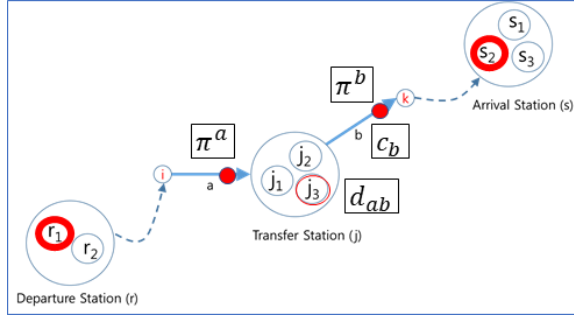
요금산정에 필요한 교통카드자료의 사용자코드는 <Table 2>와 같이 약 10가지로 구분되며 다음과 같다. 요금이 부과되어 분석에 적용되는 코드는 “01”, “02”, “03”, “04”, “05”이며, 일반, 청소년, 유아요금의 3단계로 세분된다. 무임통행은 “06” 노인, “07” 장애, “08” 국가유공자가 포함된다.

<Table 2> User Types

User Code	User Type	Check if Fare Charged	User Code	User Type	Check if Fare Charged
01	Adult	O	06	Senior(citizen)	X
02	Children	O	07	Disabled Person	X
03	Middle & High School Student	O	08	Men of national merit	X
04	Youth/Teenager	O	09	Public charge	X
05	University Student	O	10	Welfare card	X

5. 지하철 단말기ID 기반 지하철 네트워크 경로선택모형

수도권 교통카드는 지하철 승객의 개별이동을 역사 단말기ID로 표현한다. 일반역은 단일 단말기ID로 운영되나 환승역은 복수의 단말기ID가 존재한다. Lee(2017)는 단말기ID를 역명으로 전환하는 빅노드 매핑기법을 적용하여 효과적인 네트워크 구축기법을 제안하였다. Shin(2022)은 빅노드로 구축된 수도권 지하철 네트워크에 대하여 경로탐색기법을 적용하여 요금을 산정하고 수입금을 배분하는 모형을 제안하였다. <Fig. 3>은 빅노드로 구축된 수도권 지하철 네트워크에서 경로선택에 나타나는 출발역, 환승역, 도착역 단말기ID, 출발역 TagIn시간(t_{in}), 도착역 TagOut시간(t_{out})이 각각 포함되면서 역명으로 맵핑되는 사례를 보여준다.



<Fig. 3> Departure, Transfer, Arrival Stations in Passenger's Route Choice

수도권 지하철 역사를 출발역 및 도착역으로 구분하고 운영되는 단말기ID를 각각 r, s 로 정의하면, 교통카드에서 나타나는 통행의 최초 TagIn은 r 로 최종 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.

$$\min \sum_a \sum_b \left(W_{ab} + \frac{H_b}{2} + c_b \right) \cdot v_{ab} \dots\dots\dots (식1)$$

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

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

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

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

Ⅲ. 모형구축

1. 동시적 동적 지하철 통행배정모형

지하철 역사를 구성하는 집합을 출발역 R , 도착역 S 로 하면 출발역 및 도착역의 단말기ID는 각각 r, s 로 정의한다. 노인통행은 TagIn과정에서 t 시간에 r 를 TagOut에서 s 가 교통카드기록에서 나타나면, 노인은 r 과 s 를 연결하는 경로에서 동시적 최소시간경로를 선택하는 가정은 Shin(2022)를 응용한 식(2)의 선형목적식(Linear Programming)과 같다. 경로를 선택하는 요소는 노선링크 a 와 노선링크 b 로 이동하는 과정에서 회전통행량(명) $v_{ab}(t)$ 는 환승보행시간 $W_{ab}(t)$ (분), 배차간격 $H_b(t)$ (분), 차내시간 $c_b(t)$ (분)을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정한다. 이때 $q^{rs}(t)$ 는 r - s 간 t 시점에 수요(명), $f_k^{rs}(t)$ 는 r - s 간 t 시점에 경로 k 의 통행량(명)을

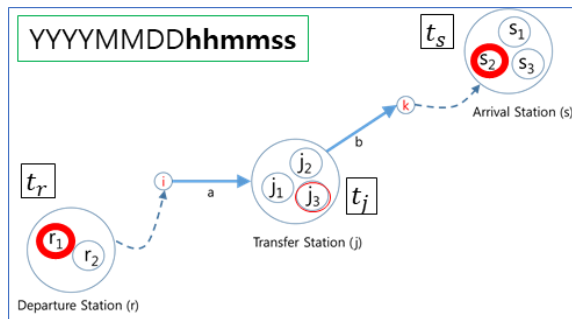
의미한다. 이때 노선링크 a의 t시점 통행량(명)은 $x_a(t)$, 노선링크a에서 b로의 t시점 회전통행량(명)은 $v_{ab}(t)$, $\delta_{k,a}^{rs}$ 는 경로k의 a의 통과여부(0,1), $\delta_{k,ab}^{rs}$ 는 경로k의 ab의 통과여부(0,1)로 표현한다.

$$\begin{aligned} \min \int_0^T \sum_a \sum_b \left(W_{ab}(t) + \frac{H_b(t)}{2} + c_b(t) \right) \cdot v_{ab}(t) \dots\dots\dots (식2) \\ \text{s.t. } q^{rs}(t) &= \sum_k f_k^{rs}(t) \quad \forall r \in R, s \in S \\ f_k^{rs}(t) &\geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \\ x_a(t) &= \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs}(t) \cdot \delta_{k,a}^{rs} = \sum_b v_{ab}(t) \quad \forall a \\ v_{ab}(t) &= \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs}(t) \cdot \delta_{k,ab}^{rs} \quad \forall ab \end{aligned}$$

2. 동적 최적경로선택 알고리즘

동적 최적경로선택은 시간 흐름에 따라 변화하는 네트워크의 속성을 반영해서 최적의 경로를 선택한다. 혼잡 또는 사고발생으로 인해 링크 및 환승에 대한 통행시간의 변화가 나타나기 때문에 이를 반영하는 방안이 필요하다. 지하철의 혼잡 또는 배차간격의 변화에 시간속성을 반영하여 적용하는 방안이 적정하게 활용된다. Ran and Boyce(1998)은 동적경로선택을 동시적 기법(Instantaneous Method)과 이상적 기법(Ideal Method)으로 구분하였다. 동시적 기법은 최초 출발역 TagIn시간(t_r)을 기준으로 혼잡이 변하지 않는다는 가정으로 경로를 선택한다. 이때 $t_r = t$ 이면 동시적 경로탐색은 식(3)와 같다.

$$\pi^{rb}(t) = \min \left(\pi^{ra}(t) + W_{ab}(t) + \frac{H_b}{2} + c_b(t), \pi^{rb}(t) \mid \forall b \in \Gamma_a^+ \right) \dots\dots\dots (식3)$$



<Fig. 4> Departure, Transfer, Arrival Stations in Passenger's Route Choice

3. 지하철 요금부과

노선링크b의 길이(Km)를 L_b 로 정의하면 수도권 지하철의 r-s를 연결하는 최단거리 D^{rs} 를 구하는 과정에서 링크표지기반 최적의 식은 아래와 같다(식4). 이때 D^{rb} 는 r에서 노선링크b의 도착지점까지의 거리(Km)로

정의된다. 이때 D^{rs} 는 식(5)과 같이 도착지점이 s인 링크집합 Γ_s^- 을 고려해서 최소값을 결정한다.

$$D^{rb} = \min (D^{ra} + A_b, D^{rb} \mid \forall b \in \Gamma_a^+) \dots\dots\dots (식4)$$

$$D^{rs} = \min (D^{rb} \mid \forall b \in \Gamma_s^-) \dots\dots\dots (식5)$$

식(5)에 의해서 수도권 지하철 최소통행거리(ϑ^{rs})가 결정되면 r-s간 거리비례요금(원)을 추정하는 식(6)이 결정된다. 이때 D_{BD} 는 기본요금이 적용되는 기본거리(Km), D_{AD} 는 기본거리 이후 단위당 추가거리(Km)마다 AF가 적용된다. ϵ 는 요금이 적용되는 경계역을 구분하기 위한 값으로 0.0001정도의 작은 값의 상수이다(Lee, 2004; Lee et al., 2005).

$$\vartheta^{rs} = BF + AF * (int) \left[\frac{\max(D^{rs} - D_{BD}, 0)}{D_{AD}} + 1 - \epsilon \right] \dots\dots\dots (식6)$$

수도권 지하철에서 r-s간 부과되는 총요금(TF^{rs})은 거리비례요금과 함께 r-s간 경유하는 민자운영기관 노선(l)의 별도요금(EF_l^{rs})과 공항철도에 한정된 독립요금(IF^{rs})의 합으로 정의되므로 식(7)으로 정의된다.

$$TF^{rs} = \vartheta^{rs} + \sum_l EF_l^{rs} + IF^{rs} \dots\dots\dots (식7)$$

4. 민자 지하철 별도요금 및 독립요금 추정

스마트카드자료는 지하철의 노인의 통행이동을 출발 단말기ID와 도착 단말기ID 만을 포함한다. 승객에게 부과되는 요금은 정산요금, 별도요금, 독립요금의 세가지로 구성되어 있기 때문에 단말기ID 정보는 정산요금에 대한 계산만 가능하다. 민자기관을 통과하는 별도요금과 독립요금은 자체정산을 수행하는 민자기관의 개별자료로서 기록되며 통합정산과정에는 누락된다. 따라서 노인이 실제 부담해야 하는 요금은 노인의 경로 선택모형을 통해서 추정하는 방안이 요구된다. '22년 현재 독립요금은 공항철도, 별도요금은 신분당선, 경기철도, 의정부경전철, 용인경전철에서 적용된다. 또한 신분당선과 경기철도는 두 기관을 함께 이용하면 요금이 할인되는 제휴요금에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 이들 요금을 반영하기 위해서는 추정된 경로 상에서 나타나는 민자기관을 고려해서 모든 요금을 합산하여 계산하는 과정이 요구된다.

5. 지하철 수입금 배분방안

식(8)에 의하면 승객에게 부과된 총요금은 수입금으로 배분되는 과정이 요구된다. 수도권 지하철은 현재 103개의 환승역으로 인해 개별승객의 이동경로를 정확하게 추정하지 못한다. 따라서 지하철 운송기관의 연락운임정산을 통하여 요금을 수입금으로 배분하는 과정이 추가적으로 요구된다. Park(2021)은 현재까지 수행된 연락운임정산은 국토연구원(Eun, 1987), 한국교통연구원(Lee and Kim, 1995), 서울연구원(Shin, 2008; Shin, 2013), 한국ITS학회(Park, 2019)에서 수행되었음을 검토하였다. 한편 이들 연락운임정산에서 노인무임승차는 정산에 대한 요구가 존재하지 않기 때문에 전처리과정에서 제외되었다. 본 연구에서는 노인무임승차에 대한 총요금을 식(8)에 의해서 산정하였으므로 연락운임정산의 요건에 부합되도록 구축하였다. 또한 민자운영기

관에서 관리하는 별도요금과 독립요금은 자체 정산에 의해서 수입으로 산입되기 때문에 정산이 요구되지 않는다. 따라서 거리비례에 의해서 생성된 요금에 대하여 연락운임정산이 요구된다. Shin(2022)은 최소시간경로에 기반한 연락운임정산을 통하여 운영기관에 배분하는 방안을 수식으로 표현하였다. 본 연구는 노인통행 경로에 포함되는 운송기관(m)의 TagIn기관, 초승기관, Person-Km기여도를 Shin(2022)의 정의와 동일하게 적용한다. r-s간 부과된 거리비례요금에서 기본운임(EF)은 TagIn기관에 $\beta(\%)$ 및 나머지는 처음 탑승하는 초승기관에 배분하며, r-s간 추가운임(AF^{rs})은 경로에 포함된 Person-Km비율로 배분하는 원칙을 적용하였다. Shin(2022)은 $\beta=10\%$ 로 사용하였는데 이는 기존 연락운임정산에 적용되던 수치이다. Shin(2022)의 수도권 연락운임정산과 관련된 식은 아래와 같다. 여기서 Δ_m 은 기관m의 수입(원), Δ_m^{TI} 는 기관m의 TagIn(TI) 수입(원), Δ_m^{FR} 는 기관m의 초승(Frist Ride: FR) 수입(원), Δ_m^{AF} 는 기관m의 추가운임(AF) 수입(원)을 나타낸다. r-s간 t시점 경로k에 포함되는 기관m에 대한 TagIn인식변수는 $\delta_{k,m,t,TI}^{rs}(0,1)$ 이, FR인식변수는 $\delta_{k,m,t,FR}^{rs}(0,1)$ 이 각각 포함된다.

$$\Delta_m = \Delta_m^{TI} + \Delta_m^{FR} + \Delta_m^{AF} \dots\dots\dots (식8)$$

$$\Delta_m^{TI} = \int_0^T \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,TI}^{rs} \cdot \beta \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식8-1)$$

$$\Delta_m^{FR} = \int_0^T \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,FR}^{rs} \cdot (1-\beta) \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식8-2)$$

$$\Delta_m^{AF} = \int_0^T \sum_r \sum_s \sum_k \left(\frac{\sum_a A_a \cdot \delta_{k,a,m,t}^{rs} \cdot f_k^{rs}(t)}{D_k^{rs}} \right) \cdot AF^{rs} \dots\dots\dots (식8-3)$$

$$\Delta_{mAM} = \Delta_{mAM}^{TI} + \Delta_{mAM}^{FR} + \Delta_{mAM}^{AF} \dots\dots\dots (식9)$$

$$\Delta_{mAM}^{TI} = \int_{[07:00]^{[08:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,TI}^{rs} \cdot \beta \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식9-1)$$

$$\Delta_{mAM}^{FR} = \int_{[07:00]^{[08:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,FR}^{rs} \cdot (1-\beta) \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식9-2)$$

$$\Delta_{mAM}^{AF} = \int_{[07:00]^{[08:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k \left(\frac{\sum_a A_a \cdot \delta_{k,a,m,t}^{rs} \cdot f_k^{rs}(t)}{D_k^{rs}} \right) \cdot AF^{rs} \dots\dots\dots (식9-3)$$

$$\Delta_{mPM} = \Delta_{mPM}^{TI} + \Delta_{mPM}^{FR} + \Delta_{mPM}^{AF} \dots\dots\dots (식10)$$

$$\Delta_{mPM}^{TI} = \int_{[18:00]^{[19:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,TI}^{rs} \cdot \beta \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식10-1)$$

$$\Delta_{mPM}^{FR} = \int_{[18:00]^{[19:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k BF^{rs} \cdot \delta_{k,m,t,FR}^{rs} \cdot (1-\beta) \cdot f_k^{rs}(t) \dots\dots\dots (식10-2)$$

$$\Delta_{mPM}^{AF} = \int_{[18:00]^{[19:59]}} \sum_r \sum_s \sum_k \left(\frac{\sum_a A_a \cdot \delta_{k,a,m,t}^{rs} \cdot f_k^{rs}(t)}{D_k^{rs}} \right) \cdot AF^{rs} \dots\dots\dots (식10-3)$$

IV. 사례연구

사례연구는 COVID-19 전후를 대표하는 일일 날짜에 해당되는 교통카드자료를 '19년 5월 10일(금)과 '20년 5월 8일(금)을 적용하여 분석하였다. '19년 및 '20년 수도권 지하철 통행은 각각 9,722,367(건)과 7,299,354(건)으로 24.9(%)가 감소하였다. 이중 노인무임통행은 각각 884,632(건)과 658,113(건)으로 25.5(%)가 감소한 것으로 나타났다. <Table 3>과 같이 운송기관은 '19년에 10개(3공사, 7민자)에서 '20년 (주)김포골드라인('19년 9월 28일)이 개통되어 11개(3공사, 8민자) 기관이 참여하고 있다.

<Table 3> Operator Agencies in Seoul Metropolitan Subway in '19 & '20 Years

'19 Year Operator Agencies	'20 Year Operator Agencies	Public or Private
Seoul Metro	Seoul Metro	Public
KORAIL	KORAIL	Public
Incheon Transit Cooperation	Incheon Transit Cooperation	Public
Seoul Metro Line 9	Seoul Metro Line 9	Private
Airport Railroad	Airport Railroad	Private
Shinbundang Line	Shinbundang Line	Private
Gyeonggi Railroad Cooperation	Gyeonggi Railroad Cooperation	Private
Yongin Light Rail	Yongin Light Rail	Private
Uijeongbu Light Rail	Uijeongbu Light Rail	Private
Ui-Sinseol Light Rail	Ui-Sinseol Light Rail	Private
-	Gimpo Gold Line	Private

수입금 배분에 의한 결과는 <Table 4>와 같다. 2019년 5월 10일 금요일 기준으로 총 약 1억 6천만원의 수도권 지하철의 기여도가 추정되었다. 2020년 5월 8일 금요일은 총 약 1억 2천만원으로 추정되었으며 이는 COVID-19에 의한 영향으로 분석된다. 한편 수단코드 201과 203은 합병되기 전에 1-4호선을 운영하고 있던 서울지하철공사와 5-8호선의 서울도시철도공사를 나타낸다.

<Table 4> Fare Data for Peak Hour Fare Imposition

(unit: won)

Mode Code	Operation Agencies	Allocated Revenue			
		AM Peak		AM & PM Peak	
		2019	2020	2019	2020
201	Seoul Metro	37,892,426	28,449,153	85,090,853	70,268,187
202	KORAIL	54,545,466	41,218,425	88,760,084	69,373,276
203	Seoul Metro	39,374,141	30,164,478	68,044,772	56,148,366
204	Incheon Transport	7,612,375	5,669,451	12,299,338	9,330,404
205	Seoul Metro Line 9	5,683,732	4,298,582	11,937,789	10,506,802
206	Airport Railroad	2,180,829	1,434,400	4,929,623	3,464,572
208	Shinbundang Line	7,510,561	5,143,850	13,459,722	10,819,398
209	Gyeonggi Railroad	402,368	284,439	907,219	779,653
231	Yongin Light Rail	1,071,124	744,167	1,456,838	1,036,639

Mode Code	Operation Agencies	Allocated Revenue			
		AM Peak		AM & PM Peak	
		2019	2020	2019	2020
232	Uijeongbu Light Rail	1,824,948	1,103,322	2,451,598	1,629,005
235	UI-Sinseol Light Rail	1,889,913	1,496,963	2,609,598	1,987,869
236	Kimpo Gold Line	0	966,090	0	1,339,640
	Sum	159,987,882	120,973,321	291,947,432	236,683,811

<Table 4>의 일일 노인무임승차에 대한 기여배분금액을 연단위로 환산하고 코드 201와 203을 서울교통공사로 통합한 결과는 <Table 5>와 같다. 2019년 기준 총 584억원, 2020년은 442억원으로 추정되었다. 요금에 대한 분담기여도가 가장 큰 기관은 서울교통공사로서 오전 및 오후 침두시를 기준으로 약 53%를 담당하고 있으며 다음으로 KORAIL이 30% 정도로 나타났다.

<Table 5> Revenue Allocation of Operator Agencies in Seoul Metropolitan Subway in '19 & '20 Years
(unit: 100,000,000 (won))

Operator Agencies	Allocated Revenue				
	AM Peak		AM & PM Peak		
	'19 Year	'20 Year	'19 Year	'20 Year	%(AR/Sum)
Seoul Metro	282.0	213.9	558.9	461.4	52.45
KORAIL	199.1	150.4	324.0	253.2	30.41
Incheon Transit Cooperation	27.8	20.7	44.9	34.1	4.21
Seoul Metro Line 9	20.7	15.7	43.6	38.3	4.09
Airport Railroad	8.0	5.2	18.0	12.6	1.69
Shinbundang Line	27.4	18.8	49.1	39.5	4.61
Gyeonggi Railroad Cooperation	1.5	1.0	3.3	2.8	0.31
Yongin Light Rail	3.9	2.7	5.3	3.8	0.50
Uijeongbu Light Rail	6.7	4.0	8.9	5.9	0.84
Ui-Sinseol Light Rail	6.9	5.5	9.5	7.3	0.89
Gimpo Gold Line	0.0	3.5	0.0	4.9	0.00
Sum	584.0	441.6	1,065.6	863.9	100.00

V. 결 론

1984년에 도입된 노인복지법은 수도권 지하철에서 65세 이상에 대하여 노인무임승차를 규정하고 있으나 운영기관은 오히려 요금손실이 급격하게 증가되는 상황에 직면하고 있다. 향후 전개되는 고령 및 초고령화 사회로의 진행으로 노인무임승차에 대한 적절한 정부의 정책적 지원이 없이는 지하철 운영의 지속가능성에 대한 심각한 우려가 예상되어 논의가 필요한 시점이다. 물론 노인무임승차제에 대한 긍정적 효과를 유지하기 위한 방안도 함께 검토되어야 하는 상황이다. 따라서 노인무임정책을 유지하면서 재정적으로 도움이 될 만한 대안을 선정하는 방안에 대한 검토가 우선 필요하며 이를 위해서는 정량적으로 수입금을 증진하는 효

과에 대한 명확한 사전평가가 요구된다.

본 연구는 노인무임승차에 대하여 침두시 요금을 부과하는 상황을 가정하여 출발하였다. 연구는 스마트카드 자료를 기반으로 노인무임승차에 대하여 요금이 부과되고 수입금 배분될 때 재정적자의 감축 규모를 산정하였다. 스마트카드자료는 노인통행에 대한 자료를 기록하고 있으나 운송기관의 수입금으로 배분되는 자료는 존재하지 않는다. 따라서 노인의 통행을 추정하고 이를 요금 및 수입금으로 배분하는 과정이 추가적으로 요구된다.

본 연구는 개별 노인이 출발역을 TagIn하는 시점에서 최종 TagOut하는 과정을 동시적 동적통행배정모형으로 구축하여 노인의 통행경로를 추정하였다. 통행배정모형에서 노인통행은 최소통행시간을 선택하는 합리적 가정을 기반으로 구축되었다. 추정된 경로는 노인의 통행경로상에 존재하는 운영기관의 별도요금, 독립요금을 반영하여 수도권 지하철 거리비례요금을 산정하는 방안으로 활용되었다. 또한 지하철 운영기관의 수입금배분원칙에 기반하여 요금을 배분하는 연락운임원칙을 적용하였다.

사례연구는 오전침두(07:00-08:59) 및 오후침두(18:00-19:59)에 대하여 2019년 및 2020년 (COVID-19 팬데믹 전후)인 5월을 기준으로 분석하였다. 서울교통공사가 연간 3,600억원의 노인무임손실을 가정한다고 하면 오전침두시 요금을 부과할 경우 무임손실금의 6~8%가 감소, 오전 및 오후 침두시 요금을 부과하는 경우는 13~16%의 적자의 개선효과가 나타날 것으로 분석되었다. 따라서 침두시간대에 무임승차에 요금을 부과하는 정책의 시행 효과는 그다지 크지 않을 것으로 평가되었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 연구는 서울연구원에서 수행하는 정책과제 과제번호 2022-CR-01의 지원으로 추진되었음.

REFERENCES

- Cho, I.(2010), “A Study on Government Support for Urban Railroad Free-Ride Loss”, *Journal of the Korean Association for Local Public Enterprises*, vol. 6, no. 1, pp.1-19.
- Cho, S.(2016), *A Study on the Improvement of the Urban Railway Free Ride Program*, Master's Thesis, Dept. of Railroad System Engineering, The Graduate School of Engineering, Hanyang University.
- Choi, J.(2014), *Analysis of Transport Policy Welfare Effects: Focused on Free Ride for the Elderly*, Korea Transport Institute.
- Eum, S.(1987), *A Research on Revenue Allocation of Urban Railroad in Seoul Metropolitan Area*, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Kim, S.(2016), *A Study on the Improvement of the Free-Ride Policy*, Master's Thesis, Graduate School of Public Administration, Yonsei University.
- KOSIS(KOrean Statistical Information Service), *Business Operation Status of Urban Railway Corporations*. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=110&tblId=DT_11020_E04&conn_path=I3
- KOSTAT(Statistics Korea)(2019), *Future Population Estimation(2019)*. <https://kostat.go.kr>
- KRILA(Korea Research Institute for Local Administration)(2015), *Rationalization of Management for*

Daegu and Kwangju Metropolitan Cities.

- Lee, J. and Kim, C.(1995), *A Research on Improvement of Seoul Metropolitan Subway Fare Policy and Revenue Allocation Methodology*, Korea Transport Institute.
- 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.(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.(2022), “Generalized K Path Searching in Seoul Metropolitan Railway Network Considering Entry-Exit Toll”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 6, pp.1-20.
- 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.
- McKensy and Samil PWC(2014), *Consulting Reports on Major Fields of Seoul Government: Urban Railroad*.
- Ministry of Health and Welfare(2013), *A Study on Improvement of Fare Policy for Seniors’ Transportation Usage: Focused on Free-Ride Policy*.
- N News, *Elderly Welfare Card*. <https://n.news.naver.com/mnews/article/421/0005878368?sid=101>, 2022.02.02.
- Park, D.(2019), *A Research on Connected Fare Allocation of Urban Railroad System in Seoul Metropolitan Area*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems.
- Park, J.(2021), *Study for Improving Allocation System of Integrated Transfer Fare Policy*, Korea Transport Institute.
- Ran, B. and Boyce, D. E.(1996), *Modeling Dynamic Transportation Networks-An Intelligent Transportation System Oriented Approach*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Seoul Metro(2019), *Financial Statements(2019)*. <http://www.seoulmetro.co.kr>
- Shin, H.(2022), *Estimating Revenues of Integrated Fare System for Seoul Metropolitan Public Transportation using Smartcard Data*, Doctoral Dissertation, Graduated School of Engineering, Seoul National University Civil & Environmental Engineering Major.
- Shin, S. and Lee, J.(2021), “Subway Free Ride Policy, Necessity of Government Support · Operation Standards Change for Securing Sustainability”, *Issue Paper*, The Seoul Institute.
- Shin, S.(2008), *A Research on Connected Fare Allocation and Daily Revenue Allocation in Seoul Metropolitan Railroad*, The Seoul Institute.
- Shin, S.(2013), *A Research on Connected Fare Allocation and Daily Revenue Allocation in Seoul Metropolitan Railroad*, The Seoul Institute.
- 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.

Shon, K.(2015), *Problems of the Free-Ride Policy and Users' Perception-Focusing on Countermeasures against Financial losses Due to Free Ride-*, Master's Thesis, Dept. of Public Administration, Graduate School of Urban Sciences, University of Seoul.