

복지정책의 효율성 향상을 위한 이질적 정책효과분석 연구: 서울시 내 고령자 지하철 무임승차 정책을 중심으로

이현수* · 이용익** · 이동우***

Research on Heterogeneous Policy Effect Analysis to
Improve The Efficiency of Welfare Policies
- Focusing on the free subway ride policy for the elderly in Seoul -

Lee, Hyun-Soo (University of Seoul, Researcher)
Lee, Yong-Ik (University of Seoul, Researcher)
Lee, Dongwoo (University of Seoul, Assistant Professor)

I 서론

II 선행연구 고찰

- 고령자 복지정책
- 평균처리효과 및 개별처리효과

III 연구데이터

- 분석자료
- 분석자료 기초통계
- 변수설정 및 기술통계

IV 분석방법론

- 분석방법론

V 분석결과 및 시사점

- 개별처리효과 산출결과
- 지역·집단별 정책효과 비교분석
- 그룹별 특징분석

VI 결론 및 한계점

2024년 3월 9일 접수, 2024년 6월 6일 최종수정, 2024년 6월 17일 게재확정

* 서울시립대학교 스마트시티학과 연구원(주저자)

** 서울시립대학교 스마트시티학과 연구원

*** 서울시립대학교 스마트시티학과 조교수(교신저자)

Abstract

사람들이 추구하는 삶의 가치가 크게 변화되어 인구·사회적 변화가 불가피하다. 초고령화 및 저출산과 이로 인한 지방소멸 문제는 대부분의 선진국에서 지속 가능성을 저해하는 가장 큰 문제가 되고 있다. 초고령화 사회는 변화된 삶의 가치를 만족시키며, 세대 간 갈등을 최소화할 수 있는 정책적 대응이 필요하다. 예를 들면, 고령자 무임승차 정책은 단순히 고령자의 이동성 확보 외에도 경제활동의 증가, 도시 활력도 상승, 인구 분포의 다양성 확보 등에 큰 장점이 있다. 이러한 복지정책은 수혜 집단의 특성에 따라 효과가 고르게 나타나지 않는다. 본 연구는 장래 여건 변화에 대응할 수 있는 정책 효과 연구 방법론을 제시하는 것이 주된 목적이다. 기존에 활용되어 온 평균처리효과가 가지는 편향성을 최소화하고, 개인 혹은 계층별로 지니고 있는 다양한 특성을 세밀하게 분석하였다. 이를 위해 고령화 사회에서 이슈가 되고 있는 교통복지정책인 고령자 지하철 무임승차 정책의 이질적 정책 효과를 서울시 사례를 중심으로 분석하였다. 특히, 이질적 처치 효과 분석 시 정책 효과와 처치 과정에 영향을 미칠 수 있는 요인 간의 복잡한 관계를 추정하고자 머신러닝과 인과성이론을 결합한 인과 앙상블 모형을 활용하여 분석을 수행하였다. 분석 결과, 주거 비용이 높은 일부 원도심 지역의 경우, 고령자가 많음에도 불구하고 고령자 지하철 무임승차 정책의 혜택을 누리지 못하는 것으로 나타났다. 또한 대중교통 인프라 조건 외 삶의 만족도, 보행환경 만족도, 문화예술 예산의 여건이 정책 효과와 양(+)의 상관성이 존재하는 것을 확인하였다. 본 연구는 이질적 처치 효과를 산출하고, 개인 및 계층이 가진 특성 분석을 통해 포용적이고 도시 전체의 사회적 후생을 극대화할 수 있는 정책 로드맵 구축을 위한 정책 효과 분석 방안을 제시함에 있어 큰 의의가 있다.

■ 주제어: 고령화, 고령자 지하철 무임승차제도, 이질적 처치효과, 맞춤형 복지

The values that people pursue in life have significantly changed, making demographic and social transformations inevitable. The issues of super-aging, low birth rates, and the resulting regional depopulation are becoming major obstacles to sustainability in most developed countries. In a super-aging society, it is necessary to implement policy responses that satisfy the changed values of life and minimize intergenerational conflicts. For example, the free transportation policy for the elderly not only ensures mobility for senior citizens but also has significant advantages such as increasing economic activity, enhancing urban vitality, and securing diversity in population distribution. Such welfare policies do not exhibit uniform effectiveness due to the varying characteristics of the beneficiary groups. The main objective of this study is to propose a research methodology for policy effectiveness that can respond to future environmental changes. Minimizing the biases inherent in the traditionally used average treatment effects, this study conducted a detailed analysis of the diverse characteristics of individuals or different social strata. To this end, the study analyzed the heterogeneous policy effects of the elderly free subway ride policy, a transportation welfare policy that has become a significant issue in an aging society, focusing on the case of Seoul. In particular, to estimate the complex relationships between factors that can influence policy effects and the treatment process in the analysis of heterogeneous treatment effects, the study utilized a causal ensemble model combining machine learning and causal inference theory. The analysis revealed that in some old urban areas with a high residential rate, elderly individuals did not benefit from the free subway ride policy despite their large numbers. Additionally, it was confirmed that conditions such as life satisfaction, walking environment satisfaction, and cultural and arts budget, besides public transportation infrastructure, had a positive correlation with policy effects. This study is significant in that it calculates heterogeneous treatment effects and suggests a policy effectiveness analysis approach to build a policy roadmap that is inclusive and maximizes social welfare across the city by analyzing individual and class characteristics.

■ Keyword: Aging, Free Subway Rides for the Elderly, Heterogeneous Treatment Effect, Customized Welfare

I. 서론

우리나라는 도시화를 통해 급속한 경제발전을 이루었다. 이 과정에서 도시 인프라의 확충과 제조업 기반 공간의 확장은 도시의 스카이라인을 재정의하고 부족했던 인프라를 개선하여 국가의 경제 성장을 촉진하고 인구 밀집 문제 해결 및 생활 수준 향상에 기여했다(KDI, 2020). 그러나 현재는 제조업 기반 직업군이 줄어들고 데이터 사이언스, 바이오 생태학 등 고부가가치 직업군이 증가하면서 중산층 비중이 줄어들고 있다. 이는 보물의 병폐 현상, 즉 생산성이 낮은 부문에서 고용이 줄어들면서 전체 경제에 부정적 영향을 미치는 현상으로 설명할 수 있다(Baumol et al, 1966). 이러한 변화는 계층 간 이동성을 감소시키고 출산율을 낮추는 결과를 초래하였다(김현우·이두현, 2021).

통계청(2023)에 따르면, 이미 우리나라는 2018년에 고령자 인구 비율이 14.3%를 넘어 고령 사회로 접어들었다. 현 추세로는 2025년에 고령자 인구 비율이 20.6%를 달성해 초고령 사회로 진입할 것으로 전망하고 있다. 변화하는 사회여건 속 지속 가능한 현대의 도시는 과거처럼 경제 위주의 성장 및 도시인프라 확충이 아닌 복지정책에 대한 고려가 필요하다. 특별히 고령인구가 늘어가고 있는 추세에서, 고령자 복지정책이 시급하다.

정부와 지자체는 지속 가능한 도시를 목표로 시민들의 삶의 질 향상을 위해 막대한 예산과 노력을 쏟았다. 실제로 2024년 정부는 656.6조 원의 예산 중 122.3조 원(18%)을 복지 예산으로 편성하였으며, 서울시의 경우 2023년 47.1조 원의 예산 중 15.9조 원(38.4%)을 복지 예산으로 편성하였다. 이러한 투자에도 불구하고 한국행정연구원(2019)의 연구에 따르면, 여전히 국가정책이 국민 삶의 질 향상에 미친 효과는 미미하며, 보다 효율성 있는 복지정책의 수립이 필요하다는 지적이 있다.

사람들은 나이, 성별, 건강상태, 경제적 배경 등 다양한 특성을 가지고 있다. 사회적 격차 심화, 초

고령화·초저출산 등 변화하는 사회여건 속에서 사람들의 특성은 계속해서 변화하며, 개인·지역·집단에 따라 상이한 정책효과를 유발한다. 따라서 평균적인 정책효과만을 고려하여 정책을 수립하고 시행할 경우, 개인들의 특성을 고려하지 못하기에 정책에 소외된 계층이 존재하게 된다. 이는 사회적 격차를 해소하기 위한 정책의 효과를 저해할 뿐만 아니라 사회적 격차를 심화시킬 수도 있다.

정책효과와 최적 배분 효율성(파레토 효율)을 달성하기 위해서는 개인에 따라 상이한 정책효과를 확인하고 이를 계량화하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 비선형적 관계를 효과적으로 모델링하고 변수 간의 복잡한 상호작용을 충분히 반영할 수 있는 앙상블 기반 인과관계 추정법을 통하여, 고령자 무임승차 정책의 개인별로 상이한 정책효과를 계량화하였다. 분석결과 주거비율이 높은 일부 원도심 지역의 경우, 고령자가 많음에도 불구하고 고령자 지하철 무임승차 정책의 혜택을 누리지 못하는 것으로 나타났다. 이에 해당 지역들의 인구지표, 대중교통 인프라 지표, 정성적인 개인적 특성 등을 분석하여 고령자 지하철 무임승차 정책의 효율성 향상을 위한 방안을 제시하였다. 또한 이를 통해 포용적이고 도시 전체의 사회적 후생을 극대화 할 수 있는 정책 로드맵 구축을 위한 정책효과 분석 방안을 제시하고자 한다.

2장에서는 고령자 복지정책과 개별처치효과에 대한 선행연구를 고찰하였다. 3장에서는 연구데이터에 대해 다뤘다. 분석자료로 사용된 한국교통연구원의 개인통행실태조사에 대한 기초통계를 제시하였으며, 연령대에 따른 탐색적 데이터 분석(Exploratory Data Analysis)을 포함하였다. 4장에서는 고령자 무임승차 정책의 효과를 확인하기 위한 변수 선정과 각 변수별 기술통계를 제시하였다. 5장에서는 개별 처치효과 모형을 통한 개인별 정책효과를 확인하였다. 이를 시군구 단위로 집계하여 구별 정책효과와 편차를 저효과그룹, 평균효과그룹, 고효과그룹으로 구분지어 정책효과를 높이기 위한 시사점을 제시하

였다. 마지막 6장에서는 본 연구의 한계와 향후 개선방안을 논의하고 개별처치효과를 활용한 정책효과 분석의 중요성을 강조하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 고령자 복지정책

이윤경 외(2013)에 따르면, 고령화 사회로의 변화는 기초연금, 응급 안전 알림 서비스, 치매 관리 지원정책, 사회활동 지원정책 등 다양한 노인 복지정책의 확대 필요성을 강조하고 있다. 고령자에 대한 복지지출의 증가는 고령자의 사회참여를 증대시키며, 고령자의 사회적 고립을 방지할 수 있기 때문이다(김영범, 2007).

선진국들은 고령화 사회로 인해 발생할 수 있는 노인 고립 및 세대 간 갈등 문제를 최소화하고자 고령자의 사회참여를 높이는 정책을 시행하고 있다(Marie Baeriswyl·Michel Oris, 2021). 고령자의 사회참여 확대를 위해 이동성 확보를 중요한 정책과제로 삼고 있다. 대표적인 예로, 영국의 'Freedom Pass'와 일본의 '실버 패스'는 고령자들이 대중교통을 무료 혹은 저렴한 비용으로 이용할 수 있게 함으로써 이동의 자유를 크게 향상시켰다. 이러한 정책들은 단순히 이동 편의를 넘어서 고령자들의 사회참여를 증진시켰다.

우리나라는 1984년부터 고령자 이동성 확보를 위해 만 65세 이상의 시민들이 지하철을 무료로 이용할 수 있도록 하는 고령자 지하철 무임승차 정책을 실시했다. 이 정책은 노인복지법에 따라 경제적 부담 없이 지하철을 이용할 수 있게 함으로써, 고령자들의 사회활동 참여를 증진시키고, 독립적인 생활을 영위할 수 있도록 지원하는 것이 목적이다.

교통은 사회경제적 활동을 가능하게 하는 유발 수요(derived demand)라는 특징이 있기에, 고령자 지하철 무임승차 정책은 이동의 제약으로 인한 고

령자의 사회활동 소외를 방지한다. 고령자 지하철 무임승차 정책은 노인 여가활동 증가, 고령자 경제활동 증가, 노인 보건 의료비 절감, 노인 복지 지원 예산 절감, 관광 산업 활성화 등의 파급효과를 불러온다. 이를 화폐 가치화하면, 연간 3,361억 원 수준인 반면, 고령자 지하철 무임승차 정책에 의해 수령하지 못한 운임은 연간 2,679억 원 수준이며, 유료 전환 시 이용을 유지하려는 노인 승차차 비율은 43.5%에 불과하여 실질 비용은 1,165억 원 수준으로 평가하였다. 고령자 지하철 무임승차 정책의 비용 대비 편익은 1.84 수준으로 매우 높은 것으로 추정되었다(최진석, 2014). 일부 연구에서는 수도권에서 고령자 지하철 무임승차 정책의 편익이 약 2,700억원에 달한다는 점을 확인하였다(안현주, 2016).

그러나 일부 연구에서는 고령자 지하철 무임승차 정책으로 인한 재정적 이슈에 대한 우려도 제시하고 있다. 이창훈 외(2016)의 연구에 따르면 서울시 도시철도 운영기관의 무임승차로 인한 손실액은 2015년 기준 3,110억 원으로 무임승차제도 시행 이후 처음으로 3,000억 원을 초과하였고, 이는 전체 손실액의 60~70% 수준이라고 한다. 이처럼 정책에 대한 효과는 정책의 대상자가 되는 사람들의 다양한 특성에 의해 개인 혹은 계층별로 상이하게 적용될 수 있다.

2. 평균처치효과 및 개별처치효과

준실험설계 방법을 통한 평균처치효과는 사회과학 분야의 정책효과를 분석하는데 널리 활용되어 왔다(윤수재 외, 2019). 처치효과는 정책의 수혜를 받은 대상(실험군)과 받지 않은 대상(대조군) 간에 나타나는 정책이 목표로 한 지표들의 정책 수혜 전·후차이를 측정하여, 정책의 정량적 효과 측정에 활용되어 왔다. 이석민 외(2015)의 연구에서는 기초노령연금이 수급 가구의 소득과 소비에 미친 영향에 대해 회귀 불연속설계(RD) 방법을 이용하여

분석하였다. 송호신(2022)의 연구에서는 준모수적인 이중차분법과 성향점수 매칭 이중차분법을 이용하여 청탁금지법이 처치집단의 경조비 지출에 미친 효과를 분석하였다. 또한 강금봉(2017)의 연구에서는 평균처치효과 산출을 통해 근로계약서가입금에 미치는 영향을 분석하였다. 고영천(2021)의 연구에서는 이중차분법을 통하여 민간주택 분양가상한제 정책이 공공주택가격에 미치는 영향을 분석하였다.

그러나 준실험설계를 통해 산출한 평균처치효과는 대상 전체에 대한 처치효과이기 때문에 정책의 전반적인 효과를 파악하는 데 유용하지만, 개별 혹은 특정 하위 그룹에 대한 특성을 반영하지 못한다는 한계가 존재한다(Jeroen Hoogland 외, 2021). 한국조세정책연구원의 보고서(2018)에 따르면 조세정책의 경기 변동과 불평등도에 미치는 영향은 소득분위에 따라 다르게 나타난다고 밝혔다. 이는 조세정책이 소득계층별로 상이한 영향을 끼치며, 결과적으로 정책의 효과가 개인이나 집단별로 상이하게 나타날 수 있음을 의미한다. 정책에 대한 반응은 처치군이 받는 정책효과 차이에서 구분되며, 다양한 정책이 상이한 시선으로 평가받는 이유도 개인 및 지역별로 정책에 대한 효과성이 다르기 때문이다.

평균적인 결과를 넘어서, 각 개인 또는 하위집단의 정책효과 예측을 통해 실제 정책효과를 보다 정밀하게 파악하고자 할 때, 조건부 처치효과 분석 또는 개별처치효과 분석을 활용한다(Florie Bouvier 외, 2024; Anning Hu, 2023).

개별처치효과의 추정은 선형 회귀, 분산 분석, 이중차분법 등 전통적인 통계 기법들로 이루어져 왔다. 하지만 전통적인 통계 기법들은 비선형성을 포착하지 못하고, 변수 간의 복잡한 상호작용을 충분히 고려하지 못하는 등의 한계를 지니고 있다(Hema Sekhar Reddy Rajula et al, 2020; 김영웅 외, 2024).

따라서 본 연구에서는 앙상블 모형을 통하여 개

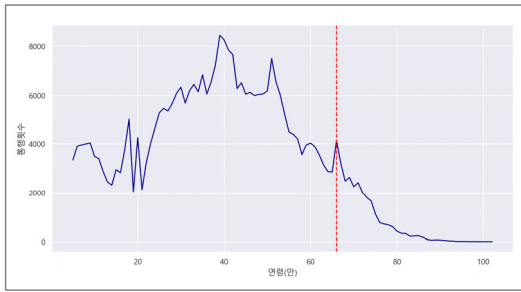
별처치효과를 추정하였다. 머신러닝 기반의 앙상블 모형은 비모수추정 및 로컬 모형 일반화 과정을 통해 비선형적 관계를 효과적으로 모델링할 수 있다(Hastie T., et al, 2008). 또한 변수 간의 복잡한 상관성을 규칙 기반 연산 방식을 통해 자동으로 포착하여 더 안정적인 처치 효과 추정을 가능하게 한다(Yan et al 2022; 김영웅 외, 2023).

본 연구는 고령자 지하철 무임승차 정책의 이질적인 효과, 즉 개인 및 지역 단위에서 상이하게 나타나는 정책효과를 정량화하였다. 초고령화 사회를 앞두고 우리나라의 도시는 고령자에게 친화적인 공간이어야 한다. 이를 위해 고령자의 이동 편의성을 증대시키는 것은 필수적이다. 이는 도시 내 고령화에 따른 이동 단절을 막고, 지속 가능한 초고령사회의 바람직한 도시 모델을 제시하기 때문이다. 본 연구는 장래 초고령화 사회에 대응할 수 있는 균형 잡힌 지역 맞춤형 교통복지 발전 방안을 모색할 수 있는 정량적 정책분석 방법을 개발했다는 점에 의의가 있다.

III. 연구데이터

1. 분석자료

본 연구에서는 본 연구를 수행하는 시점에서 고령자 통행에 대한 상세한 정보를 담은 국가승인통계인 개인통행실태조사(국토교통부, 2021) 데이터를 사용하여 개별처치효과를 추정하였다. 또한 서울특별시에서 근거기반 정책 수립을 위해 1년주기로 조사하여 배포하는 서울서베이 도시정책 지표조사 정보를 활용하였다. 추가적으로 개인 혹은 계층별 특성에 따라 정책효과가 어떻게 달라지는지 확인하고, 이에 맞춰 정책을 조정하거나 수립하는데 도움이 되고자, 통계청의 서울시 각 구별 데이터를 활용하여 계층에 따른 특성을 분석하였다.



〈그림 1〉 연령별 통행량

〈그림 1〉은 개별처리효과 추정에 사용된 개인통행실태조사(2021) 데이터를 연령에 따른 통행량으로 나타낸 그림이다. 만 65세를 기준으로 통행량이 급격하게 증가하는 모습을 확인할 수 있으며, 이는 고령자 지하철 무임승차 제도가 통행량 증가에 영향을 미친 결과로 추론된다.

2. 분석자료 기초통계

가. 조사 표본의 연령대별 분포

개인통행실태조사(2021) 응답자의 연령·성별 분포는 〈표 1〉과 같으며, 전체 인구 중 고령자의 분포는 21.3%로 상당히 높은 편임을 알 수 있다. 고령자의 통행이 상당수 이루어지고 있으며, 이에 맞는 지원 및 서비스가 요구된다.

〈표 1〉 2021년 연령대별 개인통행실태조사 표본의 연령대별 분포

구분	남성(명)	여성(명)	합계(명)	비율(%)
10세 미만	6,987	6,478	13,465	10.1
10~19세	2,431	2,178	4,609	3.5
20~29세	6,513	10,117	16,630	12.5
30~39세	9,861	12,432	22,293	16.7
40~49세	12,250	13,143	25,393	19.0
50~59세	11,260	11,338	22,598	16.9
60~69세	9,186	6,482	15,668	11.8
70~79세	5,180	4,057	9,237	6.9
80대 이상	1,035	2,398	3,433	2.6
합계	64,703	68,623	133,326	100

나. 연령대별 평균 통행 수 분포

연령대별 평균 통행 수는 〈표 2〉와 같다. 비고령자들의 통행은 고령자보다 평균적으로 0.5회 더 발생하는 것으로 나타났다. 경제활동이 가장 활발하게 이루어지는 40대까지 평균 통행 수가 계속해서 증가하다 50대가 되면서 평균 통행이 감소하는 모습을 보여주고 있다. 이는 고령자들의 이동성 감소, 경제활동 참여 감소 등으로 통행이 줄어드는 것으로 추론된다.

〈표 2〉 2020년 연령대별 평균 통행 수

구분	평균 통행 수(회)
10세 미만	3.2
10~19세	3.0
20~29세	3.7
30~39세	4.0
40~49세	4.0
50~59세	3.7
60~69세	3.4
70~79세	3.2
80대 이상	2.3
비고령자(65세 이하)	3.7
고령자(66세 이상)	3.2

다. 분석 대상의 통행수단별 통행량 분포

2021년의 통행수단별 통행량은 〈표 3〉과 같다. 고령자의 경우, 걸어서 혹은 대중교통 통해 이동하는 비율이 비교적 높은 것으로 나타났다. 특히 지하철을 이용한 통행의 경우 비고령자는 전체 통행수단 중 6.3%를 차지하였지만, 고령자는 전체 통행수단 중 7.4%를 차지하였다. 이는 고령자가 비고령자보다 지하철을 더 많이 이용한다는 것을 의미한다. 즉, 고령자 지하철 무임승차 정책이 고령자의 지하철 통행 증가에 유의미한 영향을 주고 있는 것을 의미한다.

〈표 3〉 2021년 통행수단별 통행량

(단위: 회, %)

구분	비고령자	고령자	전체 연령대
1. 걸어서/도보	154,960 (40.1)	18,087 (41.2)	173,047 (40.2)
2. 승용차/승합차	147,814 (38.3)	16,752 (38.2)	164,566 (38.3)
3. 시내/광역버스 (마을, 농어촌, 순환 포함)	32,326 (8.4)	2,777 (6.3)	35,103 (8.2)
4. 시외/고속버스	1,377 (0.4)	115 (0.3)	1,492 (0.3)
5. 기타버스 (학원/전세/관광 등)	7,947 (2.1)	257 (0.6)	8,204 (1.9)
6. 지하철/전철/경전철	24,249 (6.3)	3,227 (7.4)	27,476 (6.4)
7. 일반철도 (새마을호, ITX 등)	330 (0.1)	34 (0.1)	364 (0.1)
8. 고속철도 (KTX, SRT)	461 (0.1)	30 (0.1)	491 (0.1)
9. 택시	4,349 (1.1)	570 (1.3)	4,919 (1.1)
10. 화물차	4,966 (1.3)	982 (2.2)	5,948 (1.4)
11. 자전거	4,531 (1.2)	659 (1.5)	5,190 (1.2)
12. 오토바이	1,263 (0.3)	153 (0.3)	1,416 (0.3)
13. 전동킥보드/전동휠	655 (0.2)	17 (0.0)	672 (0.2)
14. 전동휠체어 및 노인 전동차	30 (0.0)	56 (0.1)	86 (0.0)
15. 항공	137 (0.0)	7 (0.0)	144 (0.0)
16. 선박	39 (0.0)	4 (0.0)	43 (0.0)
17. 기타	812 (0.2)	126 (0.3)	938 (0.2)

3. 변수설정 및 기술통계

본 연구는 만 65세 이상 고령자 지하철 무임승차 제도와 다른 영향요인들이 지하철 선택에 미치는 영향의 정도를 정량적으로 분석하였다.

본 연구에서 정책효과의 추정은 추정과정에서 편향된 추정이 일어날 수 있는 평균적 처치효과 대

신에 처치와 함께 변화하는 관측할 수 없는 이질적인 특성들을 반영하여 정책효과를 추정하는 이질적 처치효과(개별처치효과)를 추정하였다. 또한 고령자의 이질적인 통행특성을 분석하기 위해 고령자의 수단선택과 지하철 선택에 미치는 영향을 개인 혹은 계층별로 추정하였다. 종속변수는 통행수단으로써의 지하철 선택 여부로 설정하고, 개인통행실태조사(2021) 자료를 활용해 통행 시 이용한 수단이 지하철일 경우 1, 나머지 수단의 경우 0으로 변수를 구분하였다.

지하철 무임승차의 자격을 부여받는 65세를 임계점으로 설정하고 66세부터 처치를 받는다고 간주하였다. 따라서 모든 사람이 지하철 무임승차 대상자로 구성되는 66세 이상은 1, 그렇지 않은 경우를 0으로 변수를 구성하였다. 또한 고령자의 수단선택에 영향을 미치는 개인별 특성과 거주지역의 환경적 특성을 모두 고려하였다. 개인별 특성으로는 차량 소유 대수, 면허 보유 여부, 성별을 활용하였으며, 거주지역의 환경적 특성으로는 고령자가 거주하는 시군구의 인구밀도, 버스정류장개수, 대중교통의 시·공간적 접근성, 삶의 만족도 등을 포함하였다.

대중교통에 대한 시·공간적 접근성은 해당 대중교통에 대한 이용율과 직접적인 연관이 있을 것이라고 생각하였기 때문에, 대중교통의 시·공간적 접근성을 포함하여 분석을 진행하였다. 대중교통의 시·공간적 접근성은 한국교통안전공단의 2020년도 대중교통 현황조사자료를 활용하였다. 시간적 접근성의 경우 대중교통 이용자가 정류장을 기준으로 시간적 접근성을 체감하는 것을 고려하여 대상 지역 내 전체 정류장 수 대비 운행횟수 평가 기준을 산정하여 평가하였고, 공간적 접근성의 경우 대상 지역 내 전체 도로연장 대비, 대중교통 서비스 범위에 포함된 도로연장 비율을 산정하여 평가하였다. 본 연구에서는 고밀도 및 중밀도 더미 변수를 생성하고, 시간적 접근성이 A일 경우 1, 그렇지 않은 경우 0으로 설정하였으며, 공간적 접근성이 A,B,C,D

일 경우 1, 그렇지 않은 경우 0으로 설정하였다.

추가적으로 본 연구에서는 편안하고 쾌적한 경험을 주는 통행수단을 이용하는 것이 삶의 만족도를 높이는 요소가 될 수 있듯이, 개인의 주관적인 경험과 환경에 대한 인식, 경제적 상황과 관련 있는 삶의 만족도는 지하철 탑승 여부와 연관이 있을 것이라고 생각하여 삶의 만족도를 추가하여 분석을 수행하였다.

삶의 만족도는 국회 미래 연구원의 삶의 질 데이터센터에서 설문조사를 통해 수집, 배포한 구별 삶의 만족도로 구성하였다. 삶의 만족도는 자신의 삶(과거와 현재)에 만족하는 정도로 개인의 삶에 대한 주관적 평가(인지적 측면)와 감정상태(정서적 측면)으로 나누어 평가하였다. 본 연구의 변수에 대한 설명 및 기술통계는 다음과 같다.

〈표 4〉 변수별 기술통계

Variable	Definition	지하철 선택여부	
		Mean	Std. Dev.
TREATED	65 ≤ 0 65 > 1	-	-
Age	Age	63.15	5.68
Car	Number of cars	0.95	0.68
License	Possess a valid driver's license yes = 1, no = 0	0.89	0.3
Sex	Male = 0 Female = 1	0.46	0.49
P_density_0	High density	0.94	0.23
P_density_2	Low density	0.01	0.07
N_stat	Number of station in residence	81.88	61.35
L_sat	Life satisfaction	0.52	0.22
T_access	A = 1 BCDEF = 0	0.36	0.48
P_access	ABCD = 1, EF = 0	0.96	0.17

〈표 5〉 더미 변수 구성

Variable	Definition	지하철 선택여부	
		0(명)	1(명)
TREATED	65 ≤ 0 65 > 1	7,875	5,997
Age	Age	-	-
Car	Number of cars	-	-
License	Possess a valid driver's license yes = 1, no = 0	1,061	9,353
Sex	Male = 0 Female = 1	5,522	4,892
P_density_0	High density	9,820	594
P_density_2	Low density	10,407	7
N_stat	Number of station in residence	-	-
L_sat	Life satisfaction	-	-
T_access	A = 1 BCDEF = 0	6,585	3,829
P_access	ABCD = 1, EF = 0	335	10,079

IV. 분석방법론

1. 분석방법론

기존 정책효과 추정에 사용되는 평균처치효과(Average Treatment Effect, 이하 ATE)는 일반적으로 사용되는 A/B 테스트 분석방법으로 처치효과를 전체 집단의 범위에서 설명한다. 이에 ATE의 산출은 데이터 내의 개별 관측치에 대한 처치효과를 구한 후, 이를 평균하여 전체 데이터에 대한 평균적인 처치효과를 산출한다. 이 과정에서 데이터 내의 개별 관측치가 가진 개별 특성이나 잠재적인 그룹 차이를 고려하지 않고, 단순히 전체 데이터에 대한 평균 효과를 계산한다. 사람들은 나이, 성별, 건강 상태, 경제적 배경 등 다양한 특성을 가지고 있

며, 이러한 특성의 차이로 인해 각자의 행태가 매우 다양해진다. ATE는 이러한 개별 특성과 잠재 그룹 차이를 고려하지 않기 때문에, 사람들의 다양한 행태와 반응을 제대로 반영하지 못하는 한계가 존재한다. 이러한 평균처치효과의 편향된 해석을 최소화하기 위해 이질적 처치효과(Heterogeneous Treatment Effect, 이하 개별처치효과)는 데이터 내 개인 및 (잠재)그룹의 특성을 반영하여, 데이터를 계층화하고 각 계층에 따라 해당 계층이 가지고 있는 이질적인 특성을 반영하여 개별처치효과를 추정한다. 각 계층의 정책효과는 계층별 평균처치효과(ATE)로 제시된다. 이를 통해 계층 간 처치효과의 차이를 추정할 수 있다. 또한 계층별로 산출된 처치효과를 통해 각각의 계층을 대상으로 처치를 진행한다면, 처치가 필요하지 않은 사람들에게 처치가 주어지거나, 기대했던 방향과 반대의 방향으로 처치가 이루어지는 등의 자원 낭비 차원의 문제를 해결할 수 있다. 즉, 처치가 필요한 사람들에게 집중적으로 처치가 주어지며 처치효과를 더욱 극대화할 수 있게 된다.

개별처치효과의 추정은 선형 회귀, 분산 분석, 이중 차분법 등 전통적인 통계 기법들로 이루어져 왔다. 하지만 전통적인 통계 기법들은 비선형성을 포착하지 못하고, 변수 간의 복잡한 상호작용을 충분히 고려하지 못하는 등의 한계를 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 전통적 통계모형의 한계를 극복하기 위해 Random Forest를 기반으로 한 모형을 사용하였다. Random Forest는 데이터 내의 비선형적 관계를 효과적으로 모델링할 수 있으며, 변수 간의 복잡한 상호작용을 자동으로 포착할 수 있다. 또한 여러 개의 작은 모형을 결합하여 처치 효과를 추정하기 때문에, 단일 모형보다 더 높은 정확도를 제공하고, 과적합을 방지하여 더 안정적인 처치 효과 추정을 가능하게 한다. 기본식은 다음과 같다.

$$Y_i = \mu(X_i) + \tau(X_i) * T_i + \epsilon_i \quad (1)$$

Y_i : i번째 관측치의 결과변수

T_i : i번째 관측치의 처치변수

X_i : i번째 관측치의 외생변수

$\mu(X_i)$: 종속변수 Y_i 의 예측값을 나타내는 함수

$\tau(X_i)$: i번째 관측치에 대한 처치효과를 나타내는 함수

양상불 기반 인과관계 분석은 $\tau(X_i)$ 함수를 추정하여 처치변수 T_i 의 인과효과를 계산한다. $\tau(X_i)$ 는 각 특징 벡터 X_i 에 대한 인과효과를 제공하며 그 기본식은 다음과 같다.

$$\tau(X_i) = E[\epsilon_{-} Y \mid D=1, X_i] / P(D=1 \mid X_i) - E[\epsilon_{-} Y \mid D=0, X_i] / P(D=0, X_i) \quad (2)$$

$E[\epsilon_{-} Y \mid D=1, X_i]$: X_i 값이 주어졌을 때 처치변수 'D'가 1인 경우의 결과변수 'Y'의 예측 오차의 조건부 기댓값

$P(D=1 \mid X_i)$: X_i 값이 주어졌을 때 처치변수 'D'가 1인 조건부 확률

$E[\epsilon_{-} Y \mid D=0, X_i]$: X_i 값이 주어졌을 때 처치변수 'D'가 0인 경우의 결과변수 'Y'의 예측 오차의 조건부 기댓값

$P(D=0 \mid X_i)$: X_i 값이 주어졌을 때 처치변수 'D'가 0인 조건부 확률

본 연구에서는 고령자 지하철 무임승차 정책에 대한 정책효과를 머신러닝 기반 인과관계 분석을 통하여 개별처치효과를 추정하였다. 분석 시, 대중교통 네트워크의 공급 수준은 대중교통을 통행수단으로 고려하는데 있어 필수적인 요소라고 생각하였

다. 따라서 본 연구에서는 대중교통의 공급이 비교적 균형적으로 이루어진 서울의 사례를 선정하여, 대중교통을 선택함에 있어 영향을 미치는 개인 및 도시 공간의 특성을 보다 면밀하게 살펴보고자 하였다.

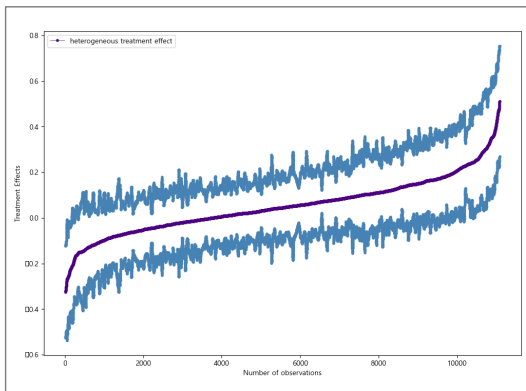
V. 분석결과 및 시사점

1. 개별처치효과 산출결과

지하철 선택 여부에 따른 개별처치효과를 산출하였을 때, 처치효과 분포는 <그림 2>, <표 6>과 같다. 분석결과 정책효과 편차는 개인별로 크게 존재하며, 정책효과 최댓값과 최솟값의 차이 또한 큰 것으로 나타났다. 이를 통해 고령자 지하철 무임승차 정책을 시행하더라도 개인별로 그 효과가 매우 상이하다는 것을 확인할 수 있었다.

<표 6> 지하철 선택 여부에 따른 개인별 처치효과 기술통계

Var	지하철 선택 여부에 따른 처치효과
mean	0.047607
std	0.107351
max	0.341994
min	-0.244539

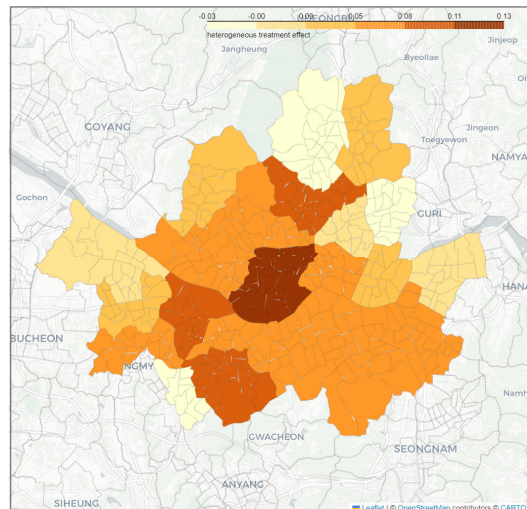


<그림 2> 지하철 선택 여부에 따른 개별처치효과

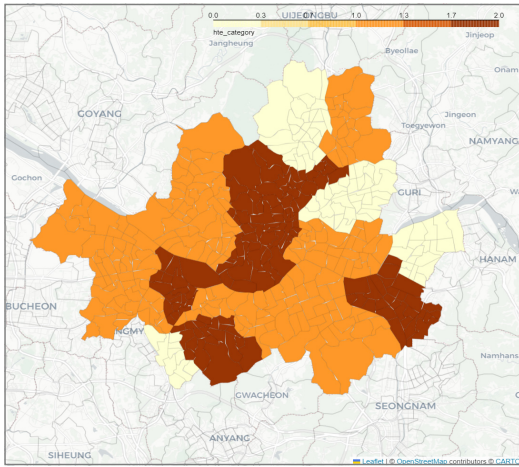
지하철 선택 여부에 따른 개별처치효과 분석 결과에서 알 수 있듯이 동일한 정책이 시행되었음에도, 개인 및 계층별로 정책효과가 상이하게 나타났다. 이러한 이질적인 정책효과가 발생하는 원인을 개인 및 계층이 지니고 있는 특성을 통해 알아보고, 이를 반영하여 정책효과를 향상시키기 위해 산출한 개별처치효과를 기준으로 하여 3개 그룹으로 구분하고 이들 각각이 가지고 있는 특성을 분석하였다.

2. 지역·집단별 정책효과 비교분석

산출한 개별처치효과를 바탕으로 정책을 조정하거나 결정할 때, 모든 개인의 특성을 반영하는 것은 현실적 한계가 존재한다. 따라서 정책을 조정하거나 결정할 때 보다 범용성 있게 접근할 수 있도록 서울시 시군구를 세 그룹으로 분류하여 각각의 그룹에 대하여 분석하였다. 또한, 정책효과분석 결과와 제시한 정책적 시사점의 범용성을 높이고 대상 지역을 확대하기 위해, 각 그룹별로 정책 효과에 영향을 미치는 요인들과 이에 상응하는 도시적, 경제적, 사회적 여건 및 환경적 특성을 추가적으로 분석하였다.



<그림 3> 서울시 구별 개별처치효과 분포



〈그림 4〉 서울시 구별 개별처치효과 기준 그룹화

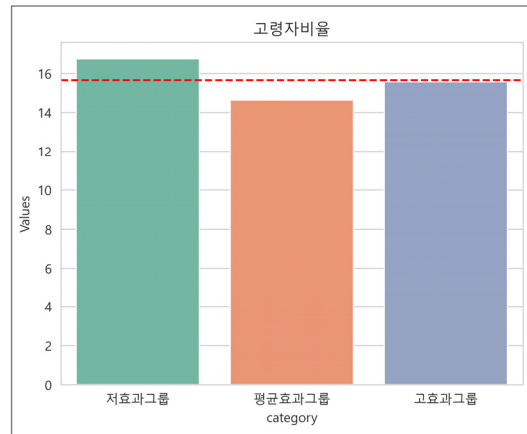
〈표 7〉 그룹별 서울시 구 분류

구분	구	개별 처치효과	평균개별처치 효과
저효과 그룹	강동구	0.019920	-0.0133
	강북구	-0.023887	
	금천구	-0.008784	
	도봉구	-0.029195	
	동대문구	0.021515	
평균효과 그룹	종량구	-0.026252	0.0350
	강남구	0.066576	
	강서구	0.023845	
	광진구	0.028965	
	구로구	0.056209	
	노원구	0.032370	
	동작구	0.055209	
	마포구	0.054166	
	서대문구	0.054678	
	서초구	0.070774	
	성동구	0.060991	
	양천구	0.044439	
	은평구	0.030184	
	고효과 그룹	관악구	
성북구		0.100580	
송파구		0.077504	
영등포구		0.083310	
용산구		0.133510	
종로구		0.071064	
중구	0.127847		

서울 시군구별 처치효과를 바탕으로 저효과그룹은 제 1사분위수 미만을 포함하며, 평균효과그룹은 제 1사분위수~제 3사분위수까지를, 제 3사분위수 이상을 고효과그룹으로 구분하였다. 저효과그룹의 개별처치효과의 평균은 -0.013로 종량구, 강동구, 강북구 등을 포함하고, 평균효과그룹은 0.035로 강남구, 강서구, 광진구 등을 포함하며, 고효과그룹은 0.088로 관악구, 성북구, 송파구 등을 포함하고 있다. (〈그림 4〉, 〈표 7〉 참고)

3. 그룹별 특징분석

먼저 그룹별 고령자 비율을 살펴보면 저효과그룹에서 16.74%로 고령자 비율이 가장 높은 것으로 나타났고, 평균효과그룹에서 14.64%로 고령자의 비율이 가장 낮게 나타났으며, 고효과그룹에서 15.56%로 서울시 25개 구 평균인 15.4%와 유사한 수치를 보이고 있다. 저효과그룹은 고령자 비율이 가장 높아 정책의 대상자를 제일 많이 보유하고 있음에도 불구하고, 고령자들이 정책의 혜택을 충분히 받지 못하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 저효과그룹에 포함되는 구들이 가진 지역적 특징과, 지역주민의 정서적, 인지적 특성, 지역 내 인프라 수준 등을 파악하여, 정책효과를 향상시킬 방



〈그림 5〉 그룹별 고령자 비율

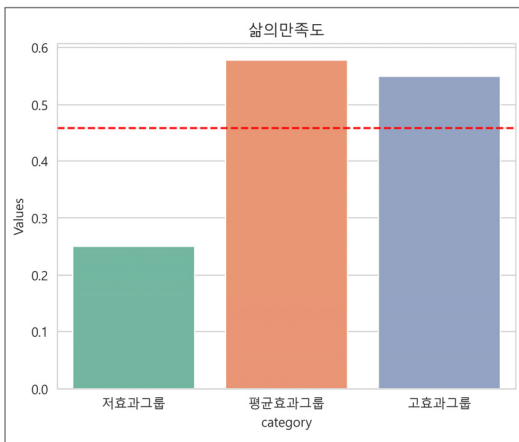
〈표 8〉 서울시 25개 구 및 그룹별 고령자 비율 분포

단위: %

고령자비율	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	13.19	19.38	15.4	1.59
저효과그룹	15.37	19.39	16.74	1.53
평균효과그룹	13.19	17.27	14.64	1.23
고효과그룹	13.36	17.88	15.56	1.56

안을 마련해야 한다. 이를 통해 고령자들이 실질적으로 혜택을 받을 수 있는 맞춤형 정책을 설계하고, 지역사회 내 고령자 지원 인프라를 강화함으로써 정책의 전반적인 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

그룹별 삶의 만족도를 살펴보면 평균효과그룹과 고효과그룹은 각각 0.57, 0.54로 평균 이상의 삶의 만족도를 나타내고 있다. 그러나 저효과그룹은 평균효과그룹과 고효과그룹에 비해 절반 수준인 0.25로 나타나 삶의 만족도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 서울시 25개 구 평균인 0.49의 절반에 그치고 있으며, 이에 고령자 지하철 무임승차 정책의 효과를 향상시키기 위해서는 저효과그룹의 삶의 만족도를 높이는 것이 최우선으로 진행되어야 한다고 생각된다.

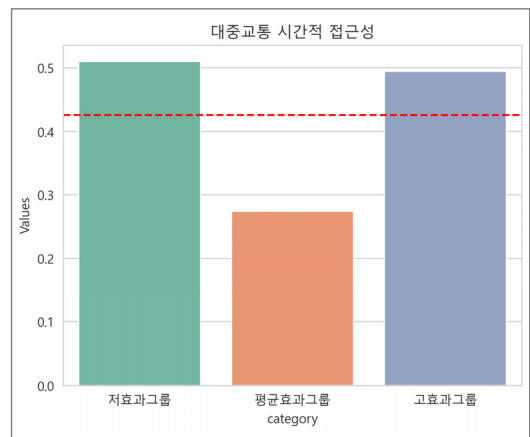


〈그림 6〉 그룹별 삶의 만족도

〈표 9〉 서울시 25개 구 및 그룹별 삶의 만족도 분포

삶의 만족도	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	0.046	0.925	0.49	0.224
저효과그룹	0.05	0.58	0.25	0.2
평균효과그룹	0.32	0.93	0.57	0.18
고효과그룹	0.23	0.76	0.54	0.18

그룹별 대중교통의 시간적 접근성을 살펴보자면 저효과그룹이 0.51로 가장 높은 수치를 보여주고 있다. 이러한 결과는 대중교통의 시간적 접근성이 지하철을 선택하는 결정에 크게 영향을 미치지 않거나, 다른 요인들에 비해 상대적으로 영향력이 적음을 시사한다. 이에 지하철을 선택을 유도하는 전략을 수립할 때, 대중교통의 시간적 접근성을 향상시키는 것은 차선택으로 고려되어도 될 것으로 생각된다.

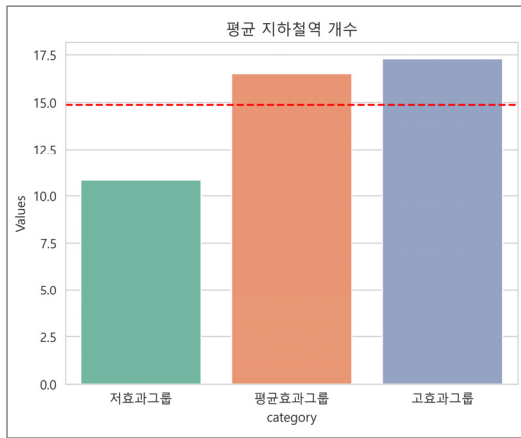


〈그림 7〉 그룹별 대중교통 시간적 접근성

〈표 10〉 서울시 25개 구 및 그룹별 대중교통 시간적 접근성 분포

대중교통 시간적 접근성	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	0.07	0.87	0.42	0.29
저효과그룹	0.2	1	0.51	0.44
평균효과그룹	0.1	0.51	0.27	0.19
고효과그룹	0.2	0.88	0.49	0.28

서울의 경우 각 구별로 최소 4개에서 최대 31개까지의 지하철역을 보유하고 있다. 그룹별 평균 지하철역 개수는 처치효과가 높을수록 지하철역 개수가 증가하는 경향을 보인다. 이러한 경향 속에서 저효과그룹의 평균 지하철역 개수는 10.83개로 서울 25개 구 평균인 15.36개보다 약 4개 더 적은 수의 지하철역을 가지고 있으며, 16.5개, 17.29개를 가지고 있는 다른 두 그룹에 비해 약 60% 수준으로 나타났다. 그러나 현실적으로 지하철역을 추가하는 것은 재정측면의 문제가 존재하며, 지하철역을 새로 건설했을 때 효과를 내기까지 시간이 걸리는 문제가 있다. 따라서 단기간 내에 실행 가능하며, 보다 저렴한 비용으로 큰 효과를 기대할 수 있는 공유자전거, DRT 등 기존 인프라와 연계되는 대체수단을 도입하고, 이들을 무료로 제공하는 등의 대책을 마련하는 것이 필요할 것으로 생각된다.



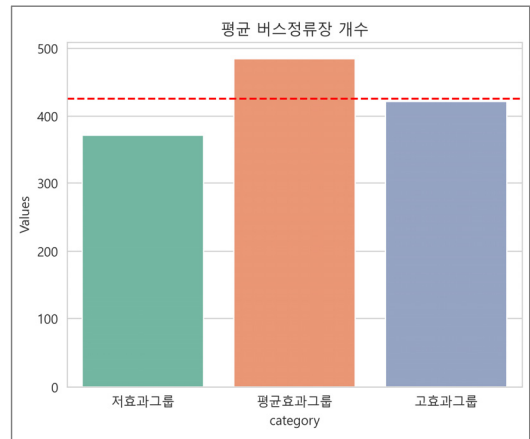
〈그림 8〉 그룹별 평균 지하철역 개수

〈표 11〉 서울시 25개 구 및 그룹별 평균 지하철역 개수 분포

단위: 개

지하철역 개수	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	4	31	15.36	6.56
저효과그룹	4	16	10.83	4.45
평균효과그룹	8	31	16.5	6.78
고효과그룹	7	26	17.29	6.68

서울시 25개 구는 각각 최소 207개에서 최대 620개의 버스정류장을 가지고 있다. 그룹별 평균 버스정류장 개수는 저효과그룹에서 371.5개로 484.25개, 432.57개를 갖고 있는 나머지 두 그룹보다 그 수가 가장 적은 것을 확인할 수 있다. 그러나 다른 그룹과 서울시 평균 대비 약 85% 수준의 버스정류장을 보유하고 있기 때문에 다른 그룹 대비 약 60% 수준으로 보유중인 지하철역 개수 비해 그 차이의 정도가 크지 않아 처치효과에 미치는 영향이 지하철보다는 미비할 것으로 생각된다.



〈그림 9〉 그룹별 평균 버스정류장 개수

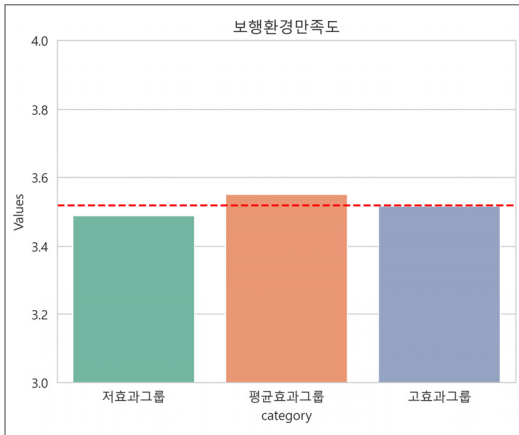
〈표 12〉 서울시 25개 구 및 그룹별 버스정류장 개수 분포

단위: 개

버스정류장 개수	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	207	620	439.64	105.55
저효과그룹	314	445	371.5	43.78
평균효과그룹	285	620	484.25	95.53
고효과그룹	207	614	421.57	131.27

그룹별 보행환경만족도를 확인해본 결과 저효과그룹에서 3.48로 3.54, 3.51인 나머지 그룹에 비해 가장 낮은 만족도를 나타내고 있고 이는 서울시 평균인 3.52보다 낮은 수치이다. 지하철을 타기 위해 필수적으로 발생하는 역까지의 이동에 있어서 주로 이용되

는 도보의 만족도가 통행 시 지하철 선택에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 이에 교통수단 자체에만 집중할 것이 아니라, 거리환경을 개선하는 등 사람들이 교통수단을 이용하기 위해 필수적으로 수행해야 하는 것들에 대해서도 고려되어야 할 것으로 생각된다.



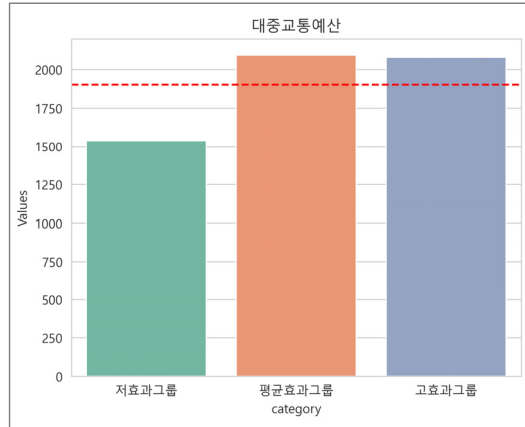
〈그림 10〉 그룹별 보행환경만족도

〈표 13〉 서울시 25개 구 및 그룹별 보행환경만족도 분포

보행환경 만족도	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	3.3	3.67	3.52	0.091
저효과그룹	3.36	3.61	3.49	0.09
평균효과그룹	3.44	3.67	3.55	0.08
고효과그룹	3.3	3.67	3.52	0.11

시군구별 고령자 지하철 무임승차 정책에 대한 개별처치효과를 기준으로 각 그룹의 사회·경제·환경·인프라의 특성들을 살펴본 결과, 인프라측면에서 저효과그룹이 시·공간적 접근성이 높음에도 불구하고 지하철역 개수, 버스정류장 개수, 보행환경만족도가 다른 그룹들보다 낮아 처치효과가 낮게 나타나는 것으로 생각된다. 이는 지하철역 개수, 버스 정류장 개수 등 직접적인 인프라가 고령자의 지하철 이용에 큰 영향을 미치며 지하철역 신설, 버스정류장 신설 등의 조치를 취하거나, 가로정비사업, 강남구가 시행한 '걷고 싶은 거리' 조성 등 보행환경만족도를 향상

시킬 수 있는 대안이 정책효과 또한 향상시킬 수 있을 것이라고 생각된다. 그러나 새로운 인프라를 구축하거나 정비하는 것은 예산 문제나 구도심인 서울의 공간 문제와 같은 현실적인 제약이 있을 수 있다.

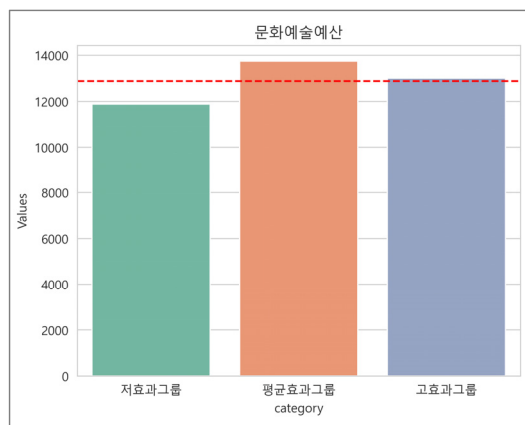


〈그림 11〉 그룹별 대중교통예산

〈표 14〉 서울시 25개 구 및 그룹별 대중교통예산 분포

단위: 억 원

대중교통예산	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	5.2	48.96	19.55	12.35
저효과그룹	6.74	34.41	15.38	10.38
평균효과그룹	6.14	45.09	20.92	11.56
고효과그룹	5.20	48.96	20.79	15.88



〈그림 12〉 그룹별 문화예술 예산

〈표 15〉 서울시 25개 구 및 그룹별 문화예술예산 기술통계

단위: 억 원

문화예술예산	최솟값	최댓값	평균	표준 편차
서울시전체	4.71	314.86	130.83	81.57
저효과그룹	97.83	159.71	118.79	27.67
평균효과그룹	4.71	314.86	137.36	98.89
고효과그룹	27.78	27.512	12.996	88.40

이에 알뜰교통카드, 청년대중교통비 지원사업, 기 후동행카드, 대중교통여건개선 등에 사용되는 대중 교통예산을 그룹별로 살펴보면 저효과그룹에서 15.38억으로 편성되어 다른 20.92억, 20.79억인 두 그룹보다 약 70% 수준의 낮은 예산을 편성하고 있으며, 서울시 25개 구의 평균인 19.55억보다 약 4억 가량 낮은 수치이다. 문화예술예산 또한 저효과그룹에서 118.79억으로 편성되어 137.36억, 129.97 억원인 다른 두 그룹에 비해 약 86% 수준의 가장

〈표 16〉 그룹별 특성

구분	저효과 그룹	평균효과 그룹	고효과 그룹	평균
처치효과	-0.013	0.035	0.088	0.036
고령자 비율 (%)	16.74	14.64	15.56	15.65
삶의 만족도	0.25058	0.57736	0.54893	0.45896
시간적 접근성	0.51	0.27	0.49	0.43
공간적 접근성	1	0.93	0.99	0.97
지하철역 수 (개)	10.83	16.5	17.29	14.87
버스정류장 수 (개)	371.5	484.25	421.57	425.77
보행환경 만족도	3.48823	3.54985	3.516	3.518
대중교통예산 ¹⁾ (억)	15.38	20.92	20.79	19.03
문화예술예산 ¹⁾ (억)	118.79	137.36	129.97	128.71

1) 연간 소비 예산

낮은 수치로 편성되어 있으며, 서울시 25개 구 평균보다 약 12억 가량 낮은 수치를 보여주고 있다.

그러나 인프라의 추가는 현실적인 한계가 존재하기 때문에, 기존 인프라 상황 속에서 지자체의 대중교통에 대한 적극적인 관심과 지원이 고령자의 지하철 이용율을 높일 수 있다. 또한, 이러한 지자체의 관심과 지원이 교통 분야를 넘어 문화, 예술, 여가활동 등과 같은 분야까지 확대될 경우, 서로 상호작용하여 보다 더 큰 시너지 효과를 창출할 수 있을 것이라고 생각된다.

VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 장래 인구·사회 구조 변화에 대응할 수 있는 정책효과 연구방법론을 개발하였다. 특히, 고령자 지하철 무임승차 정책으로 인한 지하철 이용이 개인 및 지역별로 상이한 것을 양상불 기반 인과관계 추정법으로 분석하였다. 도출된 결과에 대한 계층적 분석을 실시하여 향후 고령자 지하철 무임승차 정책 및 교통복지정책의 방향성을 제시하였다. 이를 위해 서울시의 고령자 지하철 무임승차 제도에 대해 개인별 처치효과를 산출하였고, 산출한 개별처치효과를 기준으로 저효과그룹, 평균효과 그룹, 고효과그룹으로 구분하고 각 그룹이 가지고 있는 특성을 분석하였다. 또한 각 그룹에 속한 시군구의 고령자 특성을 반영하기 위한 인구지표(고령자 비율, 인구밀도 등), 대중교통 접근성 파악을 위한 대중교통 인프라 지표(지하철 역 개수, 버스 정거장 개수 등), 정성적인 개인의 특성을 파악하기 위한 서울서베이(삶의 만족도, 보행환경 만족도), 지자체의 교통복지에 관심을 대변하는 시군구별 예산(대중교통 예산 및 문화예술 예산) 변수 등을 활용하여 시군구별 처치효과와의 인과성을 분석하였다.

분석결과 저효과그룹이 고효과그룹보다 평균연령이 높아 정책의 대상자가 많았음에도 불구하고 정책의 효과를 크게 보지 못했다. 이를 해결하기

위해, 지역적 특징과 개인의 특성을 고려한 맞춤형 정책이 필요할 것으로 판단된다. 삶의 만족도, 교통 인프라, 보행환경 만족도 등이 높을수록 정책효과도 함께 높아진다는 결과가 나타났으며, 대중교통에 사용되는 예산뿐만 아니라 문화예술 예산 또한 그 수치가 많을수록 정책효과가 높아지는 것으로 확인되었다. 따라서 정책효과를 극대화하기 위해서는 시민들의 삶의 만족도 개선, 대중교통 인프라 확충, 보행환경 개선을 위한 노력이 필요하다. 그러나 대중교통 인프라 확충에는 예산 문제나, 구도심인 서울의 공간 문제와 같은 현실적인 한계가 존재하므로, 단기적으로는 공유자전거, DRT 등의 대체 수단 도입이 필요하다. 이와 함께 문화생활에 대한 지원 또한 병행되어야 한다. 즉, 지자체의 대중교통에 대한 관심과 지원이 지속되어야 하며, 교통 분야뿐만 아니라 문화예술 분야까지 복합적인 정책 지원이 병행된다면, 정책효과 향상에 큰 도움이 될 것이다.

본 논문은 인과성 이론과 머신러닝 방법론을 결합하여 개인·집단별 정책효과 산출 방법을 개발했다는 점에서 큰 의의가 있다. 이질적 정책효과 분석을 통한 정책 수립은 사회의 배분 효율성(파레토 효율)을 극대화할 수 있다. 본 논문에서는 고령자의 지하철 무임승차 정책의 효과를 계량화하는 예시로 활용되었지만, 다양한 사회과학 분야의 정책 수립 연구 및 인과성 분석에 활용도가 매우 높다는 점에서도 의의가 있다.

본 논문은 대중교통 인프라 및 서비스의 공급 수준이 고령자 지하철 무임승차 정책의 전제조건이라 판단하여, 서울을 한정 지어 분석하였다. 따라서 향후 연구범위를 수도권으로 확대하여 수도권 지역 내 인프라 불균형 정도에 따른 정책효과도 분석을 수행할 예정이다. 또한, 고령자의 이동성 확대를 위한 다양한 대중교통 정책 시나리오 분석이 추가된다면 보다 현실적인 교통복지정책 로드맵을 제시할 수 있을 것이라 판단된다.

■ 감사의 글

이 연구는 대한민국 정부(MSIT)로부터 지원받은 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었습니다 (지원번호: NRF-2022R1F1A1074860).

■ 참고문헌

1. 강금봉, “근로계약서의 평균처리효과(ATE) 실증분석”, 『산업관계연구』, 27(3), 2017, pp. 61-84.
2. 고영천, “민간주택분양가 상한제 정책효과분석”, 『도시행정학보』, 34(2), 2021, pp. 57-76.
3. 김경환, 『경제발전과 도시화』, KDI 연구보고서, 2020.
4. 김영범, “인구 고령화와 복지지출 변동: 선진 국가의 경험을 중심으로”, 『한국사회보장학회』, 23(2), 2007, pp. 115.
5. 김영필, “일본의 고령화와 ‘복지사회’로의 이행”, 『일본문화연구』, 2008, pp. 321-341.
6. 김현우·이두현, “지역 간 인구이동과 지역경제성장의 동태적 특징에 관한 실증 분석”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 2021, pp. 310-321.
7. 서울기록원, 기록으로 살펴보는 서울도시기본계획, 서울시 공식 아카이브, n.d. (<https://archives.seoul.go.kr/contents/city/>), [2023. 12. 10].
8. 송호신, “처치집단에 대한 평균 처치 효과의 준모수적 추정: 청탁금지법 효과 분석”, 『Journal of The Korean Data Analysis Society』, 24(3), 2022, pp. 1071-1081.
9. 신성일·이진학·이하식, “노인무임승차 침두시 요금부과에 따른 수입금 변화: 수도권 스마트카드자료를 이용하여”, 『한국 ITS 학회논문지』, 22(2), 2023, pp. 1-14.
10. 안현주, “수도권 노인 지하철 무임승차 제도가 노인 통행수단 선택 및 사회적 편익에 미치는 효과 분석”, 『중앙대학교 석사학위 논문』, 2016.
11. 양재진, “한국의 인구고령화와 복지정치 전망”, 『사회과학논집』, 36, 2005, pp. 97-120.
12. 윤수재 외, 『정부 정책효과 측정에 대한 개선방안 연구』, 한국행정연구원, 2019.
13. 이석민·장효진, “기초노령연금이 수급가구의 소득과 소비에 미친 영향:회귀불연속설계 접근”, 『국정관리연구』, 10(2), 2015, pp. 117-142.
14. 이윤경·염주희·이선희, 『고령화 대응 노인복지서비스 수요전망과 공급체계 개편』, 한국보건사회연구원, 2013.

15. 이창훈·김시곤·윤경철, “수도권 교통카드자료를 활용한 무임승차제도의 탄력적 운영방안”, 『대한토목학회논문집』, 36(6), 2016, pp. 1069-1073.
16. 최진석, 『교통부문 복지정책 효과분석: 지하철 경로무임승차를 중심으로』, 한국교통연구원, 2014.
17. 한중석·우진희·홍재화, 『소득재분배 정책의 거시경제적 효과: 이질적 경제주체 모형분석』, 한국조세재정연구원, 2018.
18. Baeriswyl, M., & Oris, M., “Social participation and life satisfaction among older adults: diversity of practices and social inequality in Switzerland”, 『Ageing and Society』, 43(6), 2021, pp. 1259-1283.
19. Baumol, W. J., & Bowen, Performing Arts, W. G., “The Economic Dilemma”, *A Study of Problems Common to Theater, Opera, Music, and Dance*, New York, Twentieth Century Fund, 1966.
20. Bouvier, F., Chaimani, A., Peyrot, E., Gueyffier, F., Grenet, G., & Porcher, R., “Estimating individualized treatment effects using an individual participant data meta-analysis”, *BMC Medical Research Methodology*, 24, Article 74, 2024.
21. Brossoie, Nancy and Burns, Derek, “What Makes a City a Good Place to Live and Grow Old?”, *Journal of Applied Gerontology*, 40(12), 2020.
22. Chakraborty, Pranamesh and Sharma, Anuj, “Public Opinion Analysis of the Transportation Policy Using Social Media Data: A Case Study on the Delhi Odd-Even Policy”, *Transportation in Developing Economies: A Journal of the Transportation Research Group of India*, 5(1), 2019.
23. Goldin, I., & Lee-Devlin, T., 『Age of the City: Why Our Future will be Won or Lost Together』, Bloomsbury, 2023.
24. Hoogland, J., IntHout, J., Belias, M., Rovers, M. M., Riley, R. D., Harrell, F. E. Jr., Moons, K. G. M., Debray, T. P. A., & Reitsma, J. B., “A tutorial on individualized treatment effect prediction from randomized trials with a binary endpoint”, *Statistical Medicine*, 40(26), 2021, pp. 5961-5981.
25. Hu, A., “Heterogeneous treatment effects analysis for social scientists: A review”, *Social Science Research*, 109, 2023.
26. Rajula, H. S. R., Verlato, G., Manchia, M., Antonucci, N., & Fanos, V., “Comparison of Conventional Statistical Methods with Machine Learning in Medicine: Diagnosis, Drug Development, and Treatment”, *Medicina*, 56(9), 2020, p. 455.
27. Salditt, M., Eckes, T., & Nestler, S., “A tutorial introduction to heterogeneous treatment effect estimation with meta-learners”, *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, 51, 2023. pp. 650-673.