

# 격자 단위 학령인구 추계 기반 통학구역 조정이 교육 접근성과 학교 운영 효율성에 미치는 효과\*

## The Effects of School Districts Adjustments on Educational Accessibility and Operational Efficiency Based on Projected Grid-Level School-Age Population

김지호\*\* · 이보경\*\*\* · 허동숙\*\*\*\* · 권규상\*\*\*\*\*

Kim, Jiho · Lee, Bo Kyeong · Huh, Dongsuk · Kwon, Kyusang

### Abstract

As the school-age population declines and schools are merged or closed, students increasingly face longer commutes. This situation necessitates re-examining school district configurations to ensure both accessibility and educational equity. Focusing on the rural areas of Muju-gun, Jinan-gun, and Jangsu-gun in Jeollabuk-do, this study projects the future elementary school-age population at a detailed spatial scale and proposes school district configurations that improve efficiency and equity relative to current arrangements. Using the cohort-component method, the study estimates future elementary school-age populations within 500-meter grids for the year 2030. Accessibility is evaluated through the shortest travel times by walking and public transport. The analysis also incorporates the Inverted Two-Step Floating Catchment Area model to assess school operational efficiency. Three scenarios are compared: maintaining current school districts, merging districts within each county, and fully integrating districts across all three counties. The results reveal that expanding school district boundaries increased the proportion of students who could reach school within 30 minutes, improved the distribution of student enrolment across schools, and reduced the number of schools at risk of closure, thereby enhancing overall operational efficiency. This study contributes both academically and practically by demonstrating the effectiveness of adjusting school district boundaries through detailed spatial analysis grounded in demographic projections. Its findings offer actionable insights for improving educational accessibility and sustaining small schools in rural settings.

**주제어** 통학구역, 인구추계, 교육접근성, 운영효율성

**Keywords** School Districts, Population Projection, Educational Accessibility, Operational Efficiency

## 1. 서론

최근 학령인구 감소와 대도시로의 인구 집중 현상이 심화됨에 따라, 농산어촌 지역의 교육환경은 큰 위기를 맞이하고 있다. 특히 초등학교를 중심으로 농촌지역 학교들은 학령인구의 절대적

감소로 인해 통폐합이 가속화되고 있으며, 이에 따른 통학구역 조정 문제는 교육행정 차원에서 핵심 과제로 대두되고 있다. 현재 우리나라의 통학구역은 초·중등교육법 시행령 제16조에 따라 해당 지역의 교육장이 행정구역 경계, 주거단지, 통학편의성 등을 고려하여 학교별 배정 권역을 지정하는 방식으로 운영되고 있

\* 이 논문은 2023년 대한민국 교육부와 한국연구재단(NRF-2023S1A5A8078509)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\* Master's Student, Department of Urban Engineering, Chungbuk National University (First Author: jiho207@chungbuk.ac.kr)

\*\*\* Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements (bklee@krihs.re.kr)

\*\*\*\* Assistant Professor, Department of Social Studies Education, Gongju National University of Education (dshuh@gjue.ac.kr)

\*\*\*\*\* Assistant Professor, Department of Urban Engineering, Chungbuk National University (Corresponding Author: kyusang.kwon@chungbuk.ac.kr)

다. 도시지역에서는 어느 정도 학교 간 수요 분산과 운영 효율성을 제고하는 효과를 기대할 수 있으나, 농촌지역에서는 오히려 낮은 인구밀도와 지리적 분산으로 인해 장거리 통학 문제를 심화시키고 있다. 실제로 일부 농산어촌 지역에서 통폐합된 학교로 통학하는데 30분 이상 소요되는 사례가 다수 발생하고 있어, 교육 접근성 저하로 인한 인구 유출 현상이 발생하고 있다(박경철 외, 2018). 이와 같은 문제는 단순히 통학의 불편에 그치지 않고, 농촌의 인구 유출과 지역소멸을 가속화하는 연쇄 효과를 유발할 수 있다는 점에서 보다 정밀한 통학구역 분석 및 조정이 필요하다.

통학구역 설정과 관련한 다양한 연구들은 주로 행정구역 단위에서 학교 배치 기준, 적정 학급 규모, 통학거리 등을 중심으로 통학구역 효율성과 형평성을 평가해왔다(이정선, 2000; 윤용기·최기석, 2021). 또한 소규모 학교의 통합 필요성이나 교육 접근성 개선방안을 다룬 연구들도 다수 존재한다(박종탁, 2011; 이회룡·동재욱, 2011). 그러나 대부분의 연구는 현재 시점에서의 학생 수나 학교 위치만을 고려한 정태적 분석을 수행하여, 장래인구구조 변화를 반영한 중장기적 분석과 선제적 대응방안 마련에 한계가 있다. 향후 몇 년간 학령인구가 더욱 빠르게 감소할 것으로 예상되는 농산어촌 지역의 경우, 미래의 학생 분포를 고려한 통학구역 조정이 필수적임에도 이에 대한 구체적인 검토는 매우 적다. 뿐만 아니라 많은 연구들이 시·군 단위 행정 경계를 분석 단위로 삼고 있어, 실제 학생들이 거주하는 지역과 학교 간의 거리, 교통 여건 등을 세부적으로 반영하기 어려운 한계를 보인다. 이러한 점에서 미래 인구구조 변화와 실제 통학 환경을 함께 고려한 정밀한 분석이 필요하다.

따라서 본 연구는 농산어촌 지역의 지속가능한 교육환경 조성을 위한 통학구역 조정 의사결정을 지원하는 방법론을 제안한다. 이를 위해 하나의 생활권을 형성하고 있는 농촌지역 중 하나인 전라북도 무주군, 진안군, 장수군을 대상으로 코호트 요인법을 적용하여 500m 격자 단위 장래 학령인구와 이들의 분포를 추정하고, 통학구역 조정 시나리오에 따른 교육 접근성과 학교 운영 안정성 및 교육 서비스 형평성을 동시에 평가할 수 있는 기준을 마련하였다. 교육 접근성은 격자 중심에서 학교까지 최단시간을 통해 판단하고, 학교 운영 안정성과 교육 서비스 형평성은 이동시간과 인근 수요를 동시에 고려할 수 있는 Inverted Two-Step Floating Catchment Area(2SFCA) 방법을 활용하여 학교별 학생 수를 추정함으로써 평가하였다. 본 연구는 장래인구의 변화를 반영함과 동시에 세밀한 공간 단위인 격자 단위를 기반으로 교육 접근성과 운영 효율성을 동시에 평가하고 있다는 점에서 기존 연구의 한계를 보완할 뿐만 아니라 실질적인 정책 수립에 기여할 수 있는 실증자료를 제공한다는 의의가 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 학령인구 감소에 따른 교육환경 변화 및 통학구역 조정 관련 선행연구를 검토하고, 제3장에서는 연구 대상지의 특성과 인구추계 및 접근성 분석

에 활용된 자료와 방법론을 설명한다. 제4장에서는 각 시나리오별 통학구역 조정에 따른 교육 접근성과 운영 효율성의 변화를 정량적으로 분석하고, 제5장에서 그 의미를 체계적으로 논의한다. 마지막 6장에서는 본 연구의 시사점과 함께 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 인구감소와 교육환경의 변화

전국적으로 학령인구가 급격히 감소하면서 지역 교육환경에 구조적인 변화가 요구되고 있다. 조대현(2021)은 78개 도시를 분석한 결과, 인구감소 도시에서는 청년층 유출, 특히 젊은 여성의 순전출과 출산율 저하가 두드러지며, 주택 및 3차 산업의 증가도 둔화되는 경향을 보인다고 지적하였다. 이러한 인구구조 변화는 유소년 인구의 급감으로 이어지고 있으며, 이는 장기적으로 생산연령층 감소와 더불어 지역사회의 활력 저하로 연결된다. 실제로 허동숙(2022)은 2021년 유소년 인구가 1995년의 60% 수준에 불과하다고 밝히며, 학령인구 감소로 인한 교육 기반 약화가 이미 중소도시와 읍면지역에서 심각한 수준이며, 대도시로까지 확대되는 양상을 보이고 있다고 분석했다.

그간 학생 수 감소에 따른 교육환경 변화는 학교 설립 정책의 변화, 학교 통폐합 현황 및 예측, 소규모 학교 활성화 방안 등의 측면에서 논의되어 왔다(류방란 외, 2018; 윤용기·최기석, 2021; 최기석, 2021). 특히 유휴 교실과 소규모 학교 증가는 학교 운영 전반에 구조적인 변화를 요구한다. 소규모 학교 증가는 통학 환경뿐만 아니라 학생들의 학습 환경에도 부정적인 영향을 미친다. 연구에 따르면 학급당 학생 수가 적정 수준일 때 학업 성취도가 가장 높아지는 경향이 있으며, 특히 학급당 12~18명, 많아도 20명 이하의 규모가 학습 효율과 성취도 측면에서 최적인 것으로 나타난다(Koc and Celik, 2015; 이재림·양형모, 2015). 그러나 이보다 학생 수가 지나치게 적은 소규모 학교에서는 과목별 교사 배치나 다양한 교육 프로그램 운영이 어려워지고, 이로 인해 학습 기회가 제한되며 교육의 질이 저하될 위험이 크다(민부자·홍후조, 2011). 소규모 학교의 증가가 학습 환경과 학교 운영에 부정적인 영향을 미칠 수 있음에도 학교 통폐합은 매우 어려운 문제이다. 소규모 학교가 폐교되면 기존 학생들은 다른 학교로 전학을 가야 하며 이 과정에서 통학거리와 시간이 필연적으로 증가하기 때문이다(김지연·심현기, 2022). 특히 이런 현상은 비수도권 및 농어촌 지역에서 더욱 심각하게 나타나고 있으며, 지역 교육환경의 안정성과 지속 가능성을 위협하는 주요 요인이 되고 있다(허동숙, 2022; 홍은광, 2018). 즉 학령인구 감소에 따른 학교의 통폐합은 단순히 학교 수 감소를 초래하는 것이 아닌, 교육 프로그램 운영의 제약과 학습 환경 악화를 불러오며, 학생들의 통학거리

증가로 학생들에게 추가적인 부담을 가중한다.

인구밀도가 낮고 거주지가 넓게 분산된 농산어촌 지역의 학생들에게 양질의 교육 서비스를 제공하려면, 우수한 교육과정 마련 뿐만 아니라 지리적 접근성을 고려한 통학 여건 개선이 필수적이다. 현재 통학구역은 각 교육청이 지정한 행정구역 경계나 아파트 단지 등을 기준으로 학교 운영의 효율성, 학급 편성, 통학 편의성 등을 고려하여 설정되고 있으며, 이에 따라 학생들은 지정된 학교에 의무 배정된다(이화룡·동재욱, 2011). 그러나 이러한 행정 중심의 설정은 실제 통학거리나 시간과는 일치하지 않는 경우가 많고, 그로 인해 일부 학생들은 가까운 학교가 있음에도 불구하고 원거리 통학을 해야 하는 불합리한 상황이 발생한다. 이는 학부모의 민원으로 이어지며, 더 나은 교육환경을 찾아 가족이 이주를 결정하게 되는 요인이 되기도 한다(박경철 외, 2018; 윤용기·최기석, 2021; 구동균 외, 2023). 결과적으로 통학 불편은 학령인구 감소를 더욱 심화시키는 악순환을 낳고 있다. 따라서 통학의 불편을 해소하여 교육 접근성을 높이는 것은 인구감소 지역에서 추가적인 인구 유출을 막고, 보다 효율적인 교육환경을 조성하기 위한 중요한 과제이다.

## 2. 통학구역 조정 관련 연구 동향

통학구역 조정과 관련된 기존 논의는 크게 두 가지 입장으로 나뉜다. 첫 번째 입장은 통학구역의 유지 또는 축소를 통해 소규모 학교를 존속시키고, 교육의 질을 제고해야 한다는 관점이다. Greene and Winters(2005)는 통학구역을 축소함으로써 학교 규모를 작게 유지할 수 있으며, 이는 학생들의 성취도를 높이는 데 긍정적인 영향을 미친다고 분석하였다. Swanson(1988) 또한 대형 학군과 대형 학교가 반드시 교육의 질을 보장하는 것은 아니며, 오히려 사회경제적 요인을 고려할 때 소규모 학교가 취약 계층 학생들에게 더 유리한 환경을 제공할 수 있다고 보았다. 국내 연구에서도 이와 유사한 결과가 나타났다. 학교 통폐합으로 인한 통학거리 증가는 학생과 학부모에게 부담이 되며, 이는 오히려 상대적으로 통학거리가 가까운 대도시로의 이주를 촉진하여 도시지역의 새로운 초등학교 신설, 농산어촌의 소규모 학교 폐교를 강제한다(이정선, 2000). 따라서 이 관점에서는 통학구역 조정을 단순한 경제적 논리가 아닌 교육적 관점에서 접근해야 하며, 마을교육 공동체 등의 방안을 통해 소규모 학교를 활성화해야 한다고 주장한다(홍은광, 2018). 또한 소규모 학교의 통폐합이 교육을 경제적 논리로만 접근하는 근시안적인 정책이기에 교육적 가치를 고려하여 작은 학교를 존속시킬 것을 요구한다(김용기, 2019).

둘째, 통학구역 확대를 주장하는 연구들은 규모의 경제 효과를 강조하며, 작은 학교의 운영 비효율성과 높은 비용 문제를 해결하기 위해 통합이 필요하다고 주장한다. 작은 통학구역의 통합은 행정비용과 운영비 등의 절감으로 상당한 비용 절감 효과를 보인

다(Duncombe et al., 1995; Duncombe and Yinger, 2001). 물론, 단기적으로는 학교 신축이나 통학비용 증가 등으로 인해 비용이 발생할 수 있으나, 장기적으로는 작은 학군의 통폐합이 재정적 효율성을 높일 수 있다는 점을 강조하였다. 또한, 소규모 학교의 운영 비용이 상대적으로 높아 행정적으로 비효율적이고, 교육비 투자 효율성이 낮기 때문에, 교육환경 개선을 위해 대규모 학교로의 통합이 불가피하다고 분석하였다(박종택, 2011). 관련하여 이화룡·동재욱(2011)은 개발지 내 학교 배치의 유연성을 확보하기 위해 적정 통학거리를 기존 1.0km에서 1.5km로, 통학구역 반경을 0.5km에서 0.75km로 확장할 것을 제안하였다. 그러나 이러한 이분법적 접근은 각각의 장단점만을 부각시키고 있으며, 통학여건과 학교 운영의 효율성을 동시에 고려하지 못할 뿐만 아니라 학생들의 실제 통학 환경과 지역의 공간적 특성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다(류방란 외, 2018; 윤용기·최기석, 2021).

일부 연구들은 이러한 이분법적 접근을 넘어 학생수요를 고려한 적절한 통학구역 조정을 제안한다. 대표적으로 박경철 외(2018)는 학생 수요 예측의 부정확성이 통학구역 설정과 학교 배정 과정에서 과밀 또는 과소 문제를 유발하며 이로 인해 원거리 통학이 불가피하게 발생한다고 주장한다. 이에 따라 통학구역 설정 시 학생들의 통학 편의를 최우선으로 고려하며, 학생 수요 예측 시 여유 용량을 반영한 설비 예비비의 도입, 도보 통학로를 기준으로 한 통학구역 조정, 저학년 학생을 위한 근거리 우선 배정 등의 정책이 필요함을 강조하였다. 통학구역 조정이 어려운 지역에서는 스쿨버스 도입과 같은 대안이 필요하며, 이는 단순한 행정적 조정을 넘어 학습권 보장과 지역 교육의 지속가능성을 위한 필수 과제라 할 수 있다(박경철 외, 2018). 하지만 대부분의 연구는 현재 인구 기반 분석에 국한되어 있어, 향후 학령인구의 지속적인 감소를 반영한 장기적 대응이 어렵다는 점도 지적된다(최기석, 2021; 홍은광, 2018). 더불어 국가 전체를 대상으로 한 시군 단위 분석이거나, 시군 내에서도 지역 내 교육 수요와 공급의 불균형을 미시적인 공간 단위에서 파악하지 못한다는 공간적 해상도의 한계도 존재한다(조대현, 2021; 이영 외, 2013).

결과적으로, 통학구역 축소는 학생 개개인의 학습 효과와 교육적 가치를 강화하는 방향에서 논의되며, 통학구역 확대는 비용 절감과 교육행정의 효율을 높이는 데 초점을 둔다. 그러나 단순한 비용 절감을 목적으로 한 통폐합은 오히려 비효율성을 초래할 가능성이 있으며, 학생들의 학습 환경과 지역 특성을 고려한 맞춤형 접근이 필요하다. 따라서, 통학구역 조정에 있어서는 두 입장 모두 균형 있게 검토되어야 하며, 단순한 경제적 논리를 넘어 교육적 효과와 지역 사회의 지속 가능성을 함께 고려하는 방향으로 정책이 수립될 필요가 있다.

### 3. 연구의 차별성

본 연구는 기존 통학구역 설정 및 교육 접근성을 평가한 연구와는 몇 가지 차별점을 갖는다. 첫째, 학교 운영 안정성과 교육 서비스 형평성을 동시에 고려하여 적절한 통학구역 조정 시나리오를 평가한다. 기존 연구들에서는 주로 교육 접근성(황의현, 2024; Lin et al., 2014) 혹은 학교 운영 효율성(학교별 학생 수 추정)(윤용기, 2016) 중 하나에만 집중한 경우가 많았다. 특히 기존 통학구역의 축소·유지 혹은 확장을 다룬 연구는 대부분 학령인구 감소에 따른 학교 운영의 어려움을 제시하면서 경제적 요인에 집중하지만, 본 연구는 학생들의 통학환경에 보다 주목하여 실제 학생들이 겪는 시간 기반의 접근성과 운영 효율성을 고려한 분석을 진행하였다. 따라서 본 연구는 위 두 기준을 적용하여 학생들의 통학 여건을 개선하고, 학교 간 학생 분포의 불균형을 최소화하는 기초자료를 마련한다.

둘째, 본 연구는 기존 연구와 달리 장래인구 변화를 반영한 평가를 도입하였다. 기존 연구는 주로 현재 인구 기반의 분석을 바탕으로 교육 정책의 시사점을 도출하였다. 하지만 국가 전체, 특히 농촌지역에서는 학령인구의 급격한 감소가 예측되기에, 이러한 변화를 반영하지 않으면 단기적인 문제 해결을 넘어 장기적인 교육환경을 위한 정책적 대응이 불가하다. 따라서 장래인구 변화를 고려한 통학구역 조정은 향후 다가올 위기를 보다 선제적으로 대처할 수 있다.

셋째, 세밀한 공간 단위 분석을 통해 지역 내 교육환경의 불균형을 보다 정확히 반영한다. 기존 연구들은 보통 시·군단위 혹은 국가 전체를 대상으로 분석을 진행했으나, 대체로 광범위한 행정구역 단위에서만 평가에 그쳐, 지역 내 교육 수요와 공급의 불균형을 미시적 공간 단위에서 분석하지 못하였다. 따라서, 본 연구는 500m 격자를 활용하여 통학구역의 개선이 실제 학생들의 교육 접근성에 미치는 영향을 보다 정밀하게 평가하였다.

넷째, 도시지역이 아닌 농촌지역을 대상으로 통학구역 조정을 위한 평가체계를 제시한다. 기존 통학구역 조정 문제를 제시한 연구들은 대부분 도시지역을 연구 대상으로 삼고, 농촌지역은 학교 통폐합의 분석 대상으로만 간주하는 경향이 있다. 하지만 본 연구에서는 농촌지역을 사례지역을 제시함으로써 생활권을 공유하는 농촌지역에서 현재보다 더 효율적인 통학구역 조정방안이 가능함을 제시함으로써 농촌지역의 교육환경을 보다 효과적으로 개선할 수 있는 정책적 기초자료를 제시한다.

## III. 연구 방법론

### 1. 연구지역

본 연구는 전북특별자치도 무주군, 진안군, 장수군을 대상으로

하였다. 이 세 지역을 연구 대상으로 선정한 이유는 두 가지이다. 첫째, 이들 지역은 전라북도 동부 산악지대에 위치한 독립된 기초지방자치단체로, 지리적으로 인접해 있을 뿐만 아니라 교통망, 지역경제, 인구구조 등 다양한 측면에서 상호 밀접하게 연결되어 하나의 생활권으로 기능하고 있다. 인구감소에 따른 지역 활력 저하 문제는 개별 지자체 차원을 넘어, 「인구감소지역지원특별법」에서 제시하는 생활권 단위의 대응이 요구된다는 점에서, 이 지역은 충분한 정책적 시사점을 제공할 수 있는 사례로 판단된다. 둘째, 해당 지역은 장래인구를 안정적으로 예측하기에 적절한 조건을 갖추고 있다. 인구 유입 요인이 거의 없고, 출산율은 낮으며 고령화지수는 높은 수준을 유지하고 있어, 외부 변수에 따른 인구 변화의 불확실성이 상대적으로 낮다. 이러한 특성은 장래인구 시나리오 분석의 신뢰성을 높이는 데 유리하며, 본 연구의 타당성을 확보하는 데에도 기여한다.

### 2. 분석방법

본 연구의 구체적인 흐름은 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다. 첫 번째 단계에서는 코호트 요인법을 통해 장래 격자별 학령인구를 예측하였다. 두 번째 단계에서는 각 격자 중심점으로부터 배정 가능한 모든 학교까지의 도보 및 대중교통 시간거리를 측정 한 후, 더 빠르게 학교에 도달 가능한 수단을 선택하는 것을 가정하였다. 세 번째 단계에서는 본 연구에서 검토할 세 가지 시나리오를 설정하였고, 네 번째 단계에서는 최단시간법을 활용하여 교육 접근성을 분석하였다. 마지막 다섯 번째 단계에서는 I2SFCA 방법론을 통해 각 초등학교별 배정된 학생 수를 예측한 후 지니계수와 폐교 기준 여부를 통해 운영 효율성을 평가하였다.

#### 1) 통학구역 조정 시나리오 설정

본 연구에서는 통학구역 설정에 세 가지 시나리오를 제시하여 격자별 학교 접근성과 학교별 전교생 수를 분석하였다. 각 시나리오는 1) 현재 통학구역의 유지, 2) 개별기초지자체 단위 통학구역 통합, 3) 사례대상지(동일 생활권) 3곳의 통학구역 통합이라는 세 가지 시나리오를 대조하여 그 영향을 평가하였다. 각 시나리오의 특징과 의미는 <표 1>에 제시하였으며, 각 시나리오별 통학구역은 <그림 2>와 같다.

시나리오 1은 각 지역 교육청이 제시한 32개의 통학구역과 2개의 공동통학구역을 그대로 적용하는 것이다. 해당 시나리오는 현행 체계에 따른 현재 통학구역의 효과성과 실효성을 파악할 뿐만 아니라, 시나리오 변화에 따른 효과를 평가하는 기준으로 활용한다. 시나리오 2는 무주군, 진안군, 장수군 각 군별로 독립적인 통학구역을 설정하여 총 3개의 통학구역으로 변화한 시나리오이다. 이는 군 단위에서 자율적인 통학을 보장하였을 때의 접근성과 학생 수를 분석한다. 해당 시나리오는 기초지자체 행정 경계를 넘

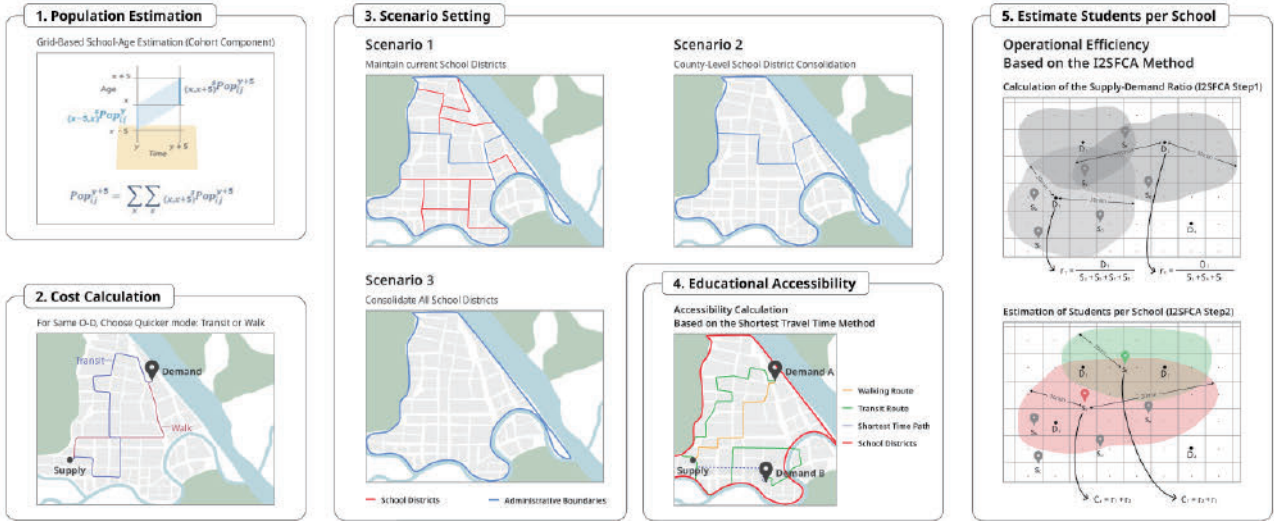


Figure 1. Research flow

Table 1. Characteristics and significance by scenario

Scenario	School district	Features	Significance
Scenario 1	Status quo	32 Districts · 2 Shared districts	Comparison with other scenarios
Scenario 2	Integration by county	3 Districts (Muju, Jinan, Jangsu)	Effects of integration at the administrative unit level
Scenario 3	Complete integration	1 District	Integration effects with the living area

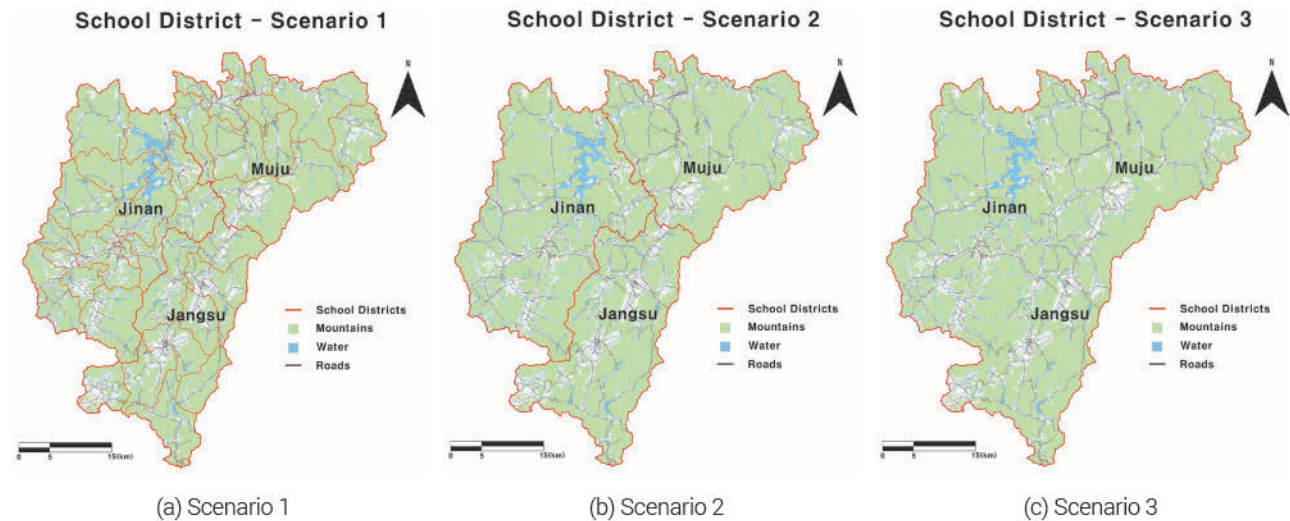


Figure 2. School district for each scenario

지 않으면서 가급적 통학에 최단시간이 소요되는 학교에 배정될 확률을 높인 경우이다. 시나리오 3은 32개의 통학구역과 2개의 공통통학구역을 모두 통합하여 하나의 통학구역으로 설정한 시나리오이다. 이는 통학구역의 통합이 접근성과 학교 간 학생의 배분에 미치는 영향을 분석한다. 시나리오 1과 시나리오 2와 달리, 기존의 통학구역 경계, 행정구역 경계를 넘어 배정될 수 있다고 가정한다.

각 시나리오는 설정된 통학구역 수와 범위에서 뚜렷한 차이를

보인다. 시나리오 1은 현행 체제를 유지하여 현재 통학구역과 다른 시나리오 비교를 할 수 있는 결과를 제공하고, 시나리오 2는 군 단위 운영의 장단점을 탐색하며, 시나리오 3은 통합 운영의 사례를 검증한다.

2) 코호트 요인법에 기반한 격자 단위 학령인구 추정

코호트 요인법은 인구를 연령과 성별로 구분하여 출생, 사망, 이동과 같은 인구변화요소를 적용하여 장래의 인구규모 및 구조

를 추계하는 방법이다(Preston et al., 2001). 이 방법은 인구의 동태적 변화를 명확하게 반영할 수 있어 많은 국가와 기관에서 공식적인 장래인구추계에 채택하고 있다. 우리나라 통계청도 이러한 코호트 요인법을 활용하여 전국 및 광역 시도 단위의 장래인구 추계를 정기적으로 공표하고 있다. 또한 광역지자체는 통계청이 배포한 관련 프로그램과 지침을 바탕으로 시군구단위 장래인구 추계를 실시하고 있다.

그러나 통계청과 광역지자체가 공개하는 장래인구추계의 공간 단위는 시도 및 시군구이다. 따라서 행정구역 내 장래인구 분포를 고려하여 정책 의사결정을 하는 데 한계가 존재해왔다. 이와 같은 배경에서, 최근 기존의 시도 및 시군구단위 장래인구추계를 500m 또는 1km와 같은 보다 미세한 공간 단위로 배분하는 방법론에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(이보경, 2019; 이보경 외, 2022; 임은선 외, 2024). 격자 단위의 장래인구추계는 생활인프라 폐점 및 공간구조 효과 모니터링 등 증거기반 의사결정 지원도구의 기초자료로 활용될 수 있다. 예를 들어 이보경 외(2020)는 500m 격자 단위 장래인구추계를 활용하여 2040년까지 전국 도서관과 어린이집의 배후수요를 추정하고 폐점 위험 시설을 탐색하였다. 그리고 임은선 외(2024)는 콤팩트-네트워크 정책의 효과를 모니터링하기 위해 거주유도구역을 격자 단위로 설정하고 해당 지역의 인구 변화를 고려하여 지역의 공간구조 변화를 시뮬레이션하였다. 우리나라에서는 미시적 공간 단위 장래인구 추계가 아직 연구 수준에 머물러 있지만, 일본의 경우 국토교통성 국토형성계획에 격자 단위 장래인구를 도입하여 입지적정화 계획 등에 근거자료로 활용하고 있다.

이 연구에서는 이보경(2019)과 임은선 외(2024)에서 제시한 지자체단위의 장래인구추계를 격자 단위로 배분하는 코호트 요인법 기반의 방법론을 적용하여 500m 격자 단위의 무주군, 진안군, 장수군의 초등학교 장래인구를 추계하였다. 2020년 격자 단위로 기준인구를 설정하고, 5년 단위의 코호트 요인법을 적용하여 2030년까지 성·연령별로 장래인구를 예측하였다(식 (1) 참조). 이때 연령 집단별 생존률을 적용하였는데, 통계청에서 시도단위 장래인구추계에 활용한 전라북도의 사망률을 활용하였다. 그리고 0~4세 인구는 식 (2)에 따라 시도별 출산율과 0세 생존률을 반영하였다. 이를 통해 각 격자의 출생아 수를 추정하였고, 남녀 성비는 0.5로 가정하였다. 그러나 이와 같이 산출된 격자 단위 추계 인구는 전라북도에서 추계 한 시군구단위 장래인구 총량과 차이가 발생한다. 따라서 격자 단위 예측값을 기준으로 시군구단위 장래인구추계를 격자에 할당하였다. 이는 격자의 상대적 비중을 반영하여 시군 수준 총량과 일치하도록 조정하는 방식으로 일반적인 비례할당법을 활용한 것이다(식 (3) 참조). 다만, 본 연구에서는 할당 시점마다 격자별 인구 비중의 시계열적 변화 추세를 고려하지 않았다는 한계가 있다. 본 연구의 추계 대상 시점이 2030년으로 상대적으로 단기 예측에 해당하기 때문에 이러한 한계가

결과에 미치는 영향은 제한적일 수 있으나, 향후 보다 장기적인 인구추계를 수행할 경우에는 격자 간 인구 분포 변화 추세를 반영하는 보정 절차가 필요할 것이다.

해당 방법론을 통해 추정된 2030년 무주군, 진안군, 장수군의 5세 단위 인구로, 7~12세 인구 즉, 초등학교 연령인구를 재차 산출해야 한다. 이는 기존 추계된 5~9세 인구와 10~14세 인구의 각각 60%로, 각 코호트별 60% 값을 반올림한 후 두 코호트 내 인구의 합을 전체 격자에 할당하였다.

$$POP_{i,j,sd,year+5}^{g,(a,a+5)} = POP_{i,j,sd,year}^{g,(a-5,a)} \times (1 - q_{(a-5,a),sd,year}^g) \quad (1)$$

$$POP_{i,j,sd,year+5}^{g,(0,5)} = \left( \sum_{a=15}^{45} \frac{POP_{i,j,sd,year}^{F,(a,a+5)} + POP_{i,j,sd,year+5}^{F,(a,a+5)}}{2} \cdot f_{a,sd,year} \right) \cdot 5 \cdot 0.5 \cdot (1 - q_{(0,5),sd,year}^g) \quad (2)$$

$$ProjPOP_{i,j,sd,year+5}^{g,(a,a+5)} = SGGPOP_{j,sd,year+5}^{g,(a,a+5)} \times \frac{POP_{i,j,sd,year+5}^{g,(a,a+5)}}{\sum_i POP_{i,j,sd,year+5}^{g,(a,a+5)}} \quad (3)$$

- $g$  : 성별 (남 M, 여 F)
- $a$  : 연령대하한값 (5세대 단위)
- $(a,a+5)$  : 5세 단위 연령 구간
- $i$  : 격자 단위 인덱스
- $j$  : 시군구단위 인덱스
- $sd$  : 시도단위 인덱스
- $year$  : 기준연도
- $POP_{i,j,sd,year}^{g,(a,a+5)}$  : 연도  $year$ , 성별  $g$ , 격자  $i$ , 시군  $j$ , 시도  $sd$ 의  $a + 5$ 세 인구
- $f_{a,sd,year}$  : 기준연도,  $year$ , 시도  $sd$ 에서  $a$ 세 여성의 출산율
- $q_{(a,a+5),sd,year}^g$  : 시도  $sd$ , 연도  $year$  기준  $a + 5$ 세 성별  $g$ 인구의 5년간 ( $year, year+5$ ) 평균 사망률
- $ProjPOP_{i,j,sd,year}^{g,(a,a+5)}$  : 시군구 장래인구 추계를 바탕으로 할당된 격자 단위 추계인구
- $SGGPOP_{j,sd,year}^{g,(a,a+5)}$  :  $j$ 시군구 장래인구추계

### 3) 교육 접근성 및 운영 효율성 평가

본 연구는 통학구역 조정 시나리오의 적절성을 평가하기 위해 교육 접근성과 운영 효율성을 함께 고려한다. 여기서 운영 효율성은 단순한 재정적 효율성(비용 절감)과는 구별되는 개념으로, 학교 운영 안정성(각 학교의 지속가능한 교육 서비스 제공 능력)과 교육 서비스 형평성(학교 간 학생 분포의 균형성)을 종합적으로 고려한 교육적·사회적 관점에서의 효율성을 의미한다.

우선 교육 접근성은 실제 도로 네트워크를 기반으로 각 격자 중심점에서 가장 가까운 학교까지 측정된 이동시간<sup>1)</sup>이 기준 이내에 포함되는지 여부를 통해 판단하였다. 구체적으로 통학구역 조정 시나리오를 설정하여 각 격자 단위에서 접근성의 효율화 여부를 평가하고 시나리오별 조정 이후에도 30분 이내에 학교에 도달할 수 없는 격자가 존재하는지 여부를 기준으로, 통학구역 개편이 오히려 교육 접근성을 저해하는 결과를 초래하는지를 분석하였다. 접근 가능여부를 판단하는 기준은 30분으로 설정하였다. 기존 국토교통부에서 제공한 기초생활인프라 국가적 최저기준에서의 학교는 도보 15분으로 설정되어 있으나, 해당 수치를 농산어촌 지역에 일괄적으로 적용하기 매우 어려운 기준이다. 실제 각 시도교육청의 교육환경영향평가에서는 도보 기준 30분으로 학교 배치의 적절성을 평가한다. 뿐만 아니라 이화룡·동재욱(2011)에서도 비도보 통학에 20분 이동 + 10분 대기 포함 30분을 적절한 기준으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 실제 현장에서의 평가기준과 선행연구 및 농촌지역의 특수성을 고려하여 도보 혹은 대중교통 기준 30분 이내 접근 가능 여부를 평가하는 기준으로 설정하였다. 이동 시간 산정은 도보와 대중교통을 함께 고려하여 동일 경로에서 두 교통수단 중 더 빠르게 목적지에 도달할 수 있는 수단을 선택하는 방식을 활용하였다. 이를 통해 통학거리가 도시지역에 비해 긴 농산어촌 지역에서 도보만으로는 교육시설 접근이 어려운 현실을 반영하고자 하였다.

다음으로 운영 효율성은 I2SFCA 방법을 통해 예측한 학교별 학생 수를 활용하여, 학교별 학생 수의 불균등 수준과 기준 이하로의 학생 수 감소 여부를 통해 평가하였다. 운영효율성의 평가는 산정된 학교별 학생 수를 활용하여 두 가지 방식으로 수행되었다. 첫째, 2008년부터 2024년까지 전국 특별시 및 광역시 내 초등학교와 전국의 분교장<sup>2)</sup>을 제외한 초등학교를 대상으로, 폐교 직전 연도의 학생 수 평균을 폐교 기준으로 설정하고, 학교별 전교생 수가 기준 이하로 감소하는지를 통해 소규모 학교 통합 가능성을 검토하였다. 본 연구에서는 2008년~2024년 사이 폐교한 전국 초등학교의 폐교 직전 연도의 학생 수가 15.74명이었다는 점을 고려해 이 기준 이하일 경우 폐교 가능성이 매우 높다고 가정하였다.<sup>3)</sup> 둘째, 지니계수(Gini Coefficient)를 통해 학교별 학생 수 분포의 불균형을 측정하여 학생 수의 분산 효과를 평가하였다. 만약 특정 시나리오에서 현재 기준보다 폐교 가능성이 높은 학교가 증가하지 않고 지니계수는 감소할 경우 해당 시나리오가 운영

효율성 측면에서 보다 나은 대안임을 의미한다.

각 학교별 배정된 학생 수는 I2SFCA를 통해 예측하였다. I2SFCA는 Luo and Wang(2003)이 제안한 2SFCA 모형을 확장한 방법론으로, 2SFCA의 계산과정을 역으로 적용한다(Wang, 2018). 해당모형은 허프(Huff) 모형처럼 시설까지의 거리조락효과와 시설의 매력도를 고려하여 시설 방문확률을 산정하고 이를 통해 격자별 수요를 각 시설에 할당한다. I2SFCA를 통해 학생 수를 추정할 경우 통학구역 내 학교 규모를 고려한 근거리 배정원칙을 위배하지 않으면서도, 2SFCA 모형의 특징인 공급자의 서비스 가능 권역을 제한하여 지리적으로 너무 먼 수요자를 할당하지 못하게 함으로써 교육 접근성을 최대한 보장하면서 보다 직관적인 해석이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 현재의 통학구역을 유지하는 시나리오 1과 통학구역을 개편하는 시나리오 2와 시나리오 3을 설정하여 격자 단위로 예측된 학령인구를 학교에 배분하고, 그 결과를 비교하였다. 시나리오 1에서는 기존 통학구역 내 격자별 학령인구는 근거리 기반 확률에 따라 해당 학교에 배정하였으며, 공통 통학구역에 속한 학생들은 2020년 실제 초등학생 인구 비율과 코호트 요인법을 기준으로 인구를 비례적으로 할당하였다. 예를 들어, 2020년 실제 학생이 100명인 A초등학교와 200명인 B초등학교의 개별 통학구역 내 격자에서 추정된 2020년 초등학생이 각각 80명, 150명이고, 공통 통학구역 격자 내 추정 학생이 80명이라고 가정해보면, 2020년 실제 A초등학교와 B초등학교에 통학하는 학생의 합은 300명이지만, 2020년 추계된 학생 수의 합은 310명(80+150+80)으로, 실제 학생 수보다 1.03배 많은 결과를 보인다. 따라서 보정비율 1.03을 적용하여 각 학교의 최종 예측치를 실제 학생 수에 맞추면, A초등학교는 103.33명이 된다. A초등학교의 개별 통학구역에서 80명이 배정되었으므로, 공통 통학구역에서는 추가로 23.33명이 배분된다. 마찬가지로 B초등학교는 실제 200명에 보정비율을 적용한 206.67명 중 개별 통학구역의 150명을 제외한 56.67명이 공통 통학구역에서 통학할 것으로 예상된다. 이와 같이 공통 통학구역에서 각 학교로 통학 예정인 비율을 2030년의 시나리오 1에 적용하였다. 시나리오 2와 3에서는 I2SFCA를 활용하여 격자별 인구를 공급지(학교)의 혼잡도와 거리 가중치에 따라 확률적으로 배분하였다.

$$r_i = \frac{D_i}{\sum_{j \in \Omega(i)} (S_j f(t_{ij}))} \tag{4}$$

$$C_j = \sum_{i=1}^m [r_i f(t_{ij})] \tag{5}$$

$$f(t_{ij}) = e^{-\frac{(t_{ij})^2}{\beta}} \quad (6)$$

$$\Omega(i) = \{j | district(j) = district(i)\}$$

$$\Omega(j) = \{i | district(i) = district(j)\}$$

식 (4)와 식 (5)는 각각 I2SFCA의 Step 1과 Step 2를 나타낸다. 식 (6)은 거리 조락 함수(distance decay function)로, 커널 함수인 수정된 가우시안 함수(Modified Gaussian Function)를 사용하였다.  $\Omega(i)$ 와  $\Omega(j)$ 는 각각 수요지  $i$ 가 이용 가능한 공급지  $j$ (학교)의 집합, 공급지  $j$ 가 서비스를 공급할 수 있는 수요지  $i$ 를 나타낸다. 다시 말해,  $\Omega(i)$ 와  $\Omega(j)$ 는 동일 통학구역 조건을 만족하는 수요-공급 쌍을 의미한다. 먼저,  $i$ 는 수요지의 위치를 나타내며, 본 연구에서는 각 격자의 위치를 의미한다.  $j$ 는 공급지의 위치를 나타내며, 학교의 위치를 의미한다. 또한,  $D_i$ 는 2030년 격자별 초등학생 인구,  $S_j$ 는 일반적으로 공급지의 매력도를 나타낸다. 일반적으로, 각 공급지별로 각기 다른 매력도를 부여하여 시설에 방문할 확률을 조정하지만, 본 연구에서는 모든 학교가 동일한 매력도를 갖는다고 가정하여 모두 동일한 1의 값을 투입하였다. 마지막으로,  $C_j$ 는 I2SFCA를 통해 계산된 초등학교별 전교생 수를 의미한다. 임계 시간은 앞서 교육 접근성 평가에 설정한 30분으로 지정하였으며, 이에 식 (6)의  $\beta$ 는 임계 시간에서 수정된 가우시안 함수의 값이 0.001을 만족하는 값인 130.29로 설정하였다.

### 3. 분석 자료

위에서 제시한 분석을 수행하기 위해 사용한 자료는 구체적으로 다음과 같다. 우선 학령인구 분포는 코호트 요인법을 통해 추정된 2030년 무주군, 진안군, 장수군의 500m 격자 단위 7~12세 인구 데이터를 활용하였다. 사례지역의 장래 학령인구 분포를 추계하기 위해 앞 장에서 제안한 방법에 전북특별자치도에서 공개한 시군단위 연령별 장래인구추계와 국토지리정보원 국토정보플랫폼의 500m 격자 단위 성별 연령별 인구를 적용하였다. 500m 격자 단위를 사용한 이유는 대상 지역이 도심지에 비해 인구 분포가 넓고 밀도가 낮은 특성을 지니고 있어, 격자 단위를 일정 수준 이상으로 설정함으로써 공간적 연속성과 통계적 해석력을 동시에 확보하기 위함이다.

둘째, 공급 데이터는 한국교육개발원이 제공하는 학교/학과별 데이터를 활용하였다. 해당 자료에서 무주, 진안, 장수군 32개 학교의 주소정보를 파악하고 이를 지오코딩하여 분석에 활용하였다. 각 학교의 공간적 분포는 <그림 3>과 같다.

셋째, 통학에 대한 이동 비용은 자가용 운전이 불가능한 초등

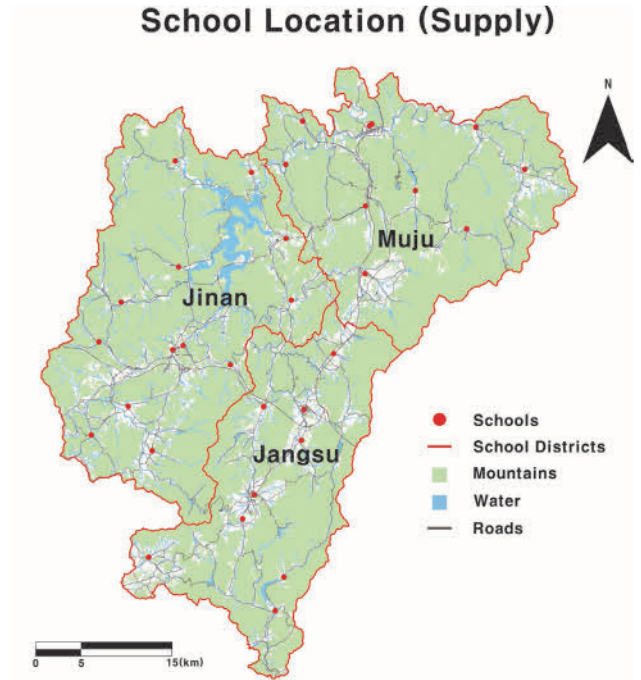


Figure 3. Location of the schools

학생의 통학 행태를 고려하여 산출할 필요가 있다. 이를 반영하기 위해 초등학생이 이용 가능한 교통 수단 중 대중교통을 활용한 통학과 도보 기반의 통학에 대한 이동비용을 각각 산출한다. 먼저, 대중교통을 통한 이동 비용은 2024년 12월 4일 평일 오전 8시 기준 T-map 대중교통 API를 활용하여 각 격자 중심점으로부터 각 학교까지의 시간 비용을 측정하였다. 도보를 통한 통학은 OpenStreetMap 기반의 실제 도로 네트워크로 최적경로를 탐색하는 Open Source Routing Machine(OSRM)을 활용하여 각 격자 중심점으로부터 각 학교까지 소요되는 시간으로 측정하였다. OSRM은 기본적으로 성인의 보행 속도 5km/h를 기준으로 도로 유형 등의 보행 환경에 따라 속도 가중치를 부여한다. 그러나 초등학생은 성인에 비해 보행 속도가 느리므로, 이를 반영하여 보다 현실적인 분석을 시행할 필요가 있다. 기존 연구에서 분석한 초등학생의 실제 보행 속도는 3.2~5.4 km/h로 연구의 방법이나 측정 대상 및 방법에 따라 차이가 있어, 편차가 크게 나타났다(Bohannon, 1997; David and Sullivan, 2005; Chang et al., 2018). 따라서, 본 연구에서는 한국소비자원(2017)의 「어린이보호구역 안전실태조사」에서 어린이를 포함한 교통약자의 안전 확보를 위한 최소 보행 속도, 보행자용 신호등의 녹색신호시간 산정 시 적용된 기준값인 0.8m/sec, 약 3km/h의 수치를 모든 초등학생을 대상으로 적용하였다. 최종적으로 두 이동 수단 간의 시간 비용을 비교하여 각 격자 중심점에서 학교까지의 시간 비용이 더 적은 수단을 선택하여 이동비용을 산정하였다.

## IV. 연구 결과

### 1. 코호트 요인법에 기반한 격자 단위 학령인구 예측

코호트 요인법을 활용하여 2030년 무주군, 진안군, 장수군의 초등학교 인구를 격자 단위로 예측한 결과는 <그림 4>와 같다. <표 2>는 해당 결과의 기초 통계량을 제시한 것이다. 통계청에 따르면, 2025년 3월 세 지역의 초등학교 학생 수는 2,019명이었으나, 분석 결과 2030년 1,437명으로 5년간 약 28.8% 감소할 것으로 예측되었다. 특히 장수군은 2025년 기준 무주군(746명)에 이어 두 번째로 학령인구가 많은 지역이었으나, 기존 659명에서 2030년 567명으로 13.96% 감소하며 세 지역 중 초등학교 수가 가장 적은 지역으로 바뀌었다. 학령인구 감소는 단순히 학생 수의 감소에 그치지 않고, 학생이 거주하는 격자의 수 자체에도 영향을 미쳤다. 특히 장수군에서는 전체 격자의 42.61%(124개)에서 초등학교가

더 이상 거주하지 않는 것으로 나타나, 격자 기반 공간 분포에서도 뚜렷한 변화가 확인되었다.

전체 연구 대상지 기준으로, 격자당 학생 수는 2030년 2.45명으로 분석되었다. 무주군은 격자당 평균 학생 수가 가장 높았지만, 이는 인구가 집중된 일부 격자가 전체 평균을 끌어올린 결과로, 이로 인해 표준편차 역시 다른 지역보다 크게 나타난 것으로 분석된다.

초등학교 인구가 존재하는 격자별 최소 학령인구수는 전 지역 모두 2030년 1명으로 동일하게 나타났으며, 중앙값 또한 모든 지역에서 1명으로 나타났다. 특히 무주군의 경우, 전체 158개 격자 중 108개 격자에 단 1명의 학생만 거주하고 있는 것으로 분석되었다. 최댓값에서도 인구감소의 영향을 확인할 수 있다. 가장 많은 학생이 거주하던 한 격자는 72명이었으며, 진안군의 경우 최댓값이 49명으로 나타났다.

### 2. 시나리오별 교육 접근성 평가

최단시간을 활용하여 시나리오별로 연구 대상지 내 각 지역의 교육 접근성을 평가한 결과는 다음과 같다. 격자별 교육 접근성 평가 결과는 <표 3>, 시나리오별 접근성의 공간적 분포를 시각화한 결과는 <그림 5>에 제시하였다.

먼저 무주군의 경우 30분을 초과하는 격자는 시나리오 1에서 2개(1.27%), 2명(0.39%)이 있었으나, 시나리오 2와 3에서는 해당 격자가 사라져 통학구역을 넓힐수록 학생들의 교육 접근성이 향상되는 것으로 나타났다. 구체적으로, 무주군에서 10분 이내 통학 가능한 격자 수는 시나리오 1에서 113개(71.52%)였고, 이 격자에 거주하는 학생 수는 432명(84.54%)이었다. 시나리오 2에서는 120개 격자(75.95%), 439명(85.91%)으로 증가하였으며, 시나리오 3에서도 동일한 수치를 보였다. 10분 초과 20분 이하 격자 수는 시나리오 1에서 30개(18.99%), 62명(12.13%)이었으며, 시나리오 2에서는 32개(20.25%), 64명(12.52%), 시나리오 3에서는 33개(20.89%), 65명(12.72%)으로 소폭 증가하였다. 결과적으로, 20분 이내 통학 가능한 격자 수와 학생 수는 시나리오 1에서 143개(90.51%), 494명(96.67%)이었으며, 시나리오 2에서는 152개(96.20%), 503명(98.43%), 시나리오 3에서는 153개(96.84%), 504명(98.63%)으로 나타나, 통학구역 확장이 접근성 개선에 긍정적인 영향을 미친 것으로 확인되었다.

진안군과 장수군 역시 유사한 경향을 보였으나 약간의 차이가 존재하였다. 진안군에서는 시나리오 1에서 2로 변경 시 10분 이하에 도달 가능한 격자가 8개, 학생 수는 9명 증가했으며, 시나리오 1에서 3으로 전환 시에는 16개 격자, 23명의 접근성이 개선되어 세 지역 중 가장 큰 변화 폭을 보였다. 다만, 접근성이 30분을 초과하는 격자 3개(3명)는 여전히 개선되지 않았다. 이는 진안군 북서부에 위치한 지역으로, 통학구역 변경만으로는 해결이 어렵

Number of Students per Grid(2030)

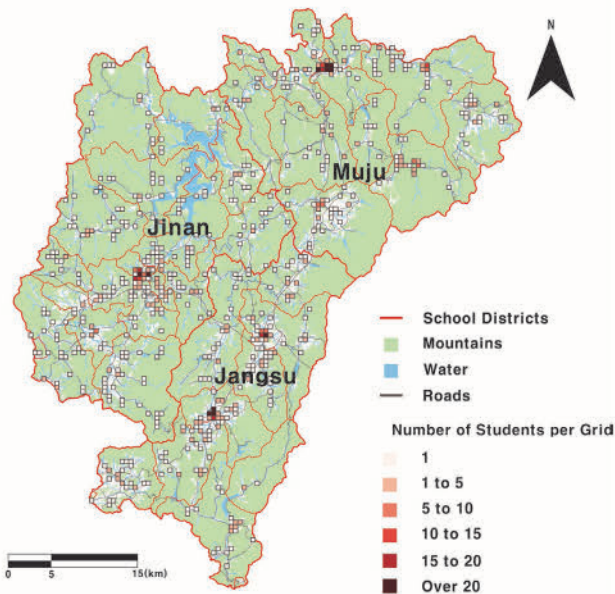


Figure 4. Result of the cohort component method (Estimated 2030 population)

Table 2. Projected population in 2030 by the cohort component method

County	Total	Muju	Jinan	Jangsu
Total students	1,437	511	482	444
Total grids	587	158	262	167
Avg. students per grid	2.45	3.24	1.84	2.66
Std. students per grid	5.72	7.92	3.91	5.55
Median students per grid	1	1	1	1
Min. students per grid	1	1	1	1
Max. students per grid	72	72	49	55

Table 3. Educational accessibility assessment by scenarios

Scenario	County	Type	Total	Less than 10 min	10~20 min	20~30 min	Above 30 min	
Scenario 1	Total	Grid	587 (100%)	435 (74.11%)	115 (19.59%)	29 (4.94%)	8 (1.36%)	
		Population	1,437 (100%)	1,229 (85.53%)	168 (11.69%)	32 (2.23%)	8 (0.56%)	
	Muju	Grid	158 (100%)	113 (71.52%)	30 (18.99%)	13 (8.23%)	2 (1.27%)	
		Population	511 (100%)	432 (84.54%)	62 (12.13%)	15 (2.94%)	2 (0.39%)	
	Jinan	Grid	262 (100%)	184 (70.23%)	62 (23.66%)	13 (4.96%)	3 (1.15%)	
		Population	482 (100%)	393 (81.54%)	73 (15.15%)	13 (2.70%)	3 (0.62%)	
	Jangsu	Grid	167 (100%)	138 (82.63%)	23 (13.77%)	3 (1.80%)	3 (1.80%)	
		Population	444 (100%)	404 (90.99%)	33 (7.43%)	4 (0.90%)	3 (0.68%)	
	Scenario 2	Total	Grid	587 (100%)	455 (77.51%)	111 (18.91%)	18 (3.07%)	3 (0.51%)
			Population	1,437 (100%)	1,253 (87.20%)	157 (10.93%)	24 (1.67%)	3 (0.21%)
		Muju	Grid	158 (100%)	120 (75.95%)	32 (20.25%)	6 (3.80%)	0 (0.00%)
			Population	511 (100%)	439 (85.91%)	64 (12.52%)	8 (1.57%)	0 (0.00%)
Jinan		Grid	262 (100%)	192 (73.28%)	60 (22.90%)	7 (2.67%)	3 (1.15%)	
		Population	482 (100%)	402 (83.40%)	67 (13.90%)	10 (2.07%)	3 (0.62%)	
Jangsu		Grid	167 (100%)	143 (85.63%)	19 (11.38%)	5 (2.99%)	0 (0.00%)	
		Population	444 (100%)	412 (92.79%)	26 (5.86%)	6 (1.35%)	0 (0.00%)	
Scenario 3		Total	Grid	587 (100%)	467 (79.56%)	105 (17.89%)	12 (2.04%)	3 (0.51%)
			Population	1,437 (100%)	1,269 (88.31%)	151 (10.51%)	14 (0.97%)	3 (0.21%)
		Muju	Grid	158 (100%)	120 (75.95%)	33 (20.89%)	5 (3.16%)	0 (0.00%)
			Population	511 (100%)	439 (85.91%)	65 (12.72%)	7 (1.37%)	0 (0.00%)
	Jinan	Grid	262 (100%)	200 (76.34%)	56 (21.37%)	3 (1.15%)	3 (1.15%)	
		Population	482 (100%)	416 (86.31%)	60 (12.45%)	3 (0.62%)	3 (0.62%)	
	Jangsu	Grid	167 (100%)	147 (88.02%)	16 (9.58%)	4 (2.40%)	0 (0.00%)	
		Population	444 (100%)	414 (93.24%)	26 (5.86%)	4 (0.90%)	0 (0.00%)	

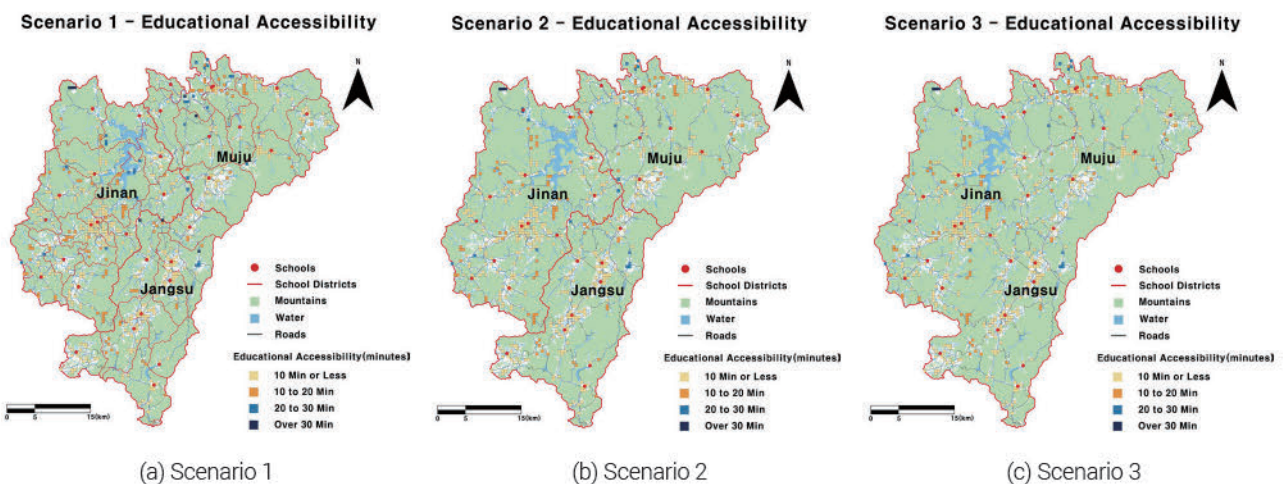


Figure 5. Spatial distribution of educational accessibility by scenarios

고, 학교 위치 조정이나 대중교통 개선 등의 추가 조치가 필요함을 시사한다.

장수군에서는 시나리오 1에서 3으로 전환하면서 10분 이내 통

학 가능한 격자가 9개, 학생 수는 10명 증가해 가장 큰 개선 폭을 보였다. 또한, 이전에 30분 초과 통학이 필요했던 3개 격자(3명)의 접근성이 모두 향상되어, 시나리오 3에서는 모든 학생이 30분

이내 통학이 가능한 것으로 나타났다.

종합하면 시나리오 1에서 시나리오 2로 전환할 때, 10분 이내 통학가능한 격자는 20개, 학생 수는 24명 증가하였다. 반면, 30분 이내 어느 학교에도 통학할 수 없는 격자는 5개, 5명 감소하여, 시나리오 2에서는 전체 지역 중 단 3개 격자에서 3명의 학생만이 여전히 30분 초과 통학이 필요한 것으로 나타났다. 이어 시나리오 2에서 시나리오 3으로 전환 시, 10분 이내 통학 가능한 격자는 추가로 12개, 학생 수는 16명 증가하여, 접근성 개선 효과가 더욱 확대되었다. 결과적으로, 10분 이내, 30분 초과 범주뿐만 아니라 전반적인 분포에서도, 통학구역 범위가 커질수록(시나리오 3 > 시나리오 2 > 시나리오 1) 접근성이 점진적으로 향상되는 경향을 보였으며, 접근성이 악화된 격자는 단 한 곳도 없었다. 이는 농촌 지역에서 통학구역 조정 및 확장이 격자 단위 교육 접근성을 전반적으로 개선하는 데 적어도 부정적인 영향을 미치지 않으며 오히려 긍정적인 효과를 가져올 수 있음을 시사한다.

### 3. 시나리오별 학교 운영 효율성 평가

I2SFCA 모델을 활용하여 시나리오별로 무주군, 진안군, 장수군 내 초등학교의 2030년 운영 효율성을 추정한 결과는 <표 4>와 같다. 전체 분석 대상지에서 학생 수 평균은 세 시나리오 모두 약 44.7명으로 유사하였으나, 표준편차와 지니계수에서는 뚜렷한 개선 효과가 나타났다. 시나리오 1 대비 시나리오 2와 3에서 표준편차는 약 28%, 지니계수는 약 19% 감소하여, 통학구역 확장이 학교 간 학생 수 불균형을 완화하는 데 효과적임을 보여준다. 또한, 15.74명을 폐교 여부를 결정하는 기준으로 잡았을 때, 시나리오 1에서는 7개교, 시나리오 2와 3에서는 4개교가 폐교가 예정된 것으로 나타나, 시나리오 2, 3이 상대적으로 학교를 보다 더 효율적으로 운영하기 위한 시나리오인 것으로 나타났다. 최대 학생 수는 시나리오 1에서 192.4명, 시나리오 2와 3에서 각각 109.7명, 139.2명으로 감소하였으나, 최소 학생 수는 시나리오 1의 3명에

서 시나리오 2와 3에서 각각 6.6명, 11명으로 증가하여 학교 규모의 편차가 크게 줄어들었다. 중앙값도 28명에서 34.2명과 35.4명으로 상승하여 학교별 학생 분포의 균등성이 확보되었다. 다시 말해, 시나리오 2와 3에서는 학교 간 학생 수 분포가 보다 균등해지고 소규모 학교 수가 감소하여, 교육 서비스 형평성과 학교 운영 안정성이 개선되었다. 다만 이는 재정적 효율성 관점에서는 다르게 해석될 수 있다. 재정적 관점에서는 폐교를 통한 고정비 절감이 효율적일 수 있으나, 본 연구는 농촌지역의 교육 접근성 보장과 지역사회 지속가능성을 우선 고려한 관점에서 접근하였다.

지역별로 살펴보면, 무주군은 세 지역 중 가장 높은 학생 수 불균형을 보였으나, 시나리오 2에서 학교별 학생 수 평균 51.11명, 표준편차와 지니계수가 각각 39.92, 0.395로 가장 큰 개선 폭을 보였다. 폐교 대상 학교 수도 3개교에서 1개교로 줄었으며, 학생 수 최솟값과 최댓값의 격차도 크게 완화되었다. 진안군은 전반적으로 낮은 평균 학생 수(약 36명)를 보였으며, 초기 지니계수와 표준편차가 높았으나 시나리오 3에서 각각 0.408, 32.77로 개선되었다. 폐교 기준 미달 학교는 3개교에서 2개교로 감소했으며, 특히 최대 학생 수는 192.4명에서 110명 수준으로 줄어들어 학교 규모 편차가 크게 줄어든 것이 특징이다. 장수군은 시나리오 1에서 평균 학생 수 약 49명, 지니계수 0.409, 표준편차 42.05로 다른 지역에 비해 상대적으로 불균등 정도가 낮았으나, 시나리오 2와 3에서는 지니계수가 0.308, 0.306으로 추가 개선되었으며, 표준편차도 26명대로 안정화되었다.

세 시나리오 간 학생 수 평균은 큰 차이가 없지만, 통학구역을 확장한 시나리오 2와 3에서는 학교 간 학생 분포의 균형성과 규모 편차가 확연히 개선되었다. 특히 소규모 학교 수가 감소하고, 최대·최소 학생 수 간 격차가 줄어든 점은 통학구역 조정이 운영 효율성을 높이는 효과적인 수단임을 시사한다. 이는 통학구역 개편이 교육 접근성뿐만 아니라, 학교의 지속가능성과 자원 배분의 효율성 확보에도 긍정적인 영향을 미침을 보여준다.

<표 5>는 연구 대상지 내 각 학교의 시나리오별 전교생 수 추정

Table 4. Operational efficiency assessment by scenarios

County	Total			Muju			Jinan			Jangsu		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Avg. students	44.67	44.81	44.81	51.04	51.11	50.6	36.54	36.85	37.15	49.33	49.32	49.43
Std. students	47.44	34.22	34.01	50.37	39.92	40.01	47.99	33.20	32.77	42.05	26.55	26.41
Min. students	3	6.7	6.6	6	10.9	11	9	6.7	6.6	3	9.6	9.6
Max. students	192.4	139.3	139.2	178.1	139.3	139.2	192.4	110.4	109.7	158	97.9	97.7
Median students	28	34.2	35.4	37.5	40.9	38.85	21	25.4	25.4	30	41.6	42.5
School below the closure criteria	7	4	4	3	1	1	3	2	2	1	1	1
Gini coefficient	0.484	0.395	0.392	0.488	0.395	0.398	0.482	0.417	0.408	0.409	0.308	0.306
Total schools	32			10			13			9		

Table 5. Number of students per school

County	School	Number of students by school for each scenario					
		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		Students	Closure status	Students	Closure criteria	Students	Closure criteria
Muju	MuA	13.3	Closed	24.5	Not closed	24.4	Not closed
	MuB	51	Not closed	50.5	Not closed	50.5	Not closed
	MuC	178.1	Not closed	113.4	Not closed	113.4	Not closed
	MuD	103	Not closed	139.3	Not closed	139.2	Not closed
	MuE	26	Not closed	29.1	Not closed	29.1	Not closed
	MuF	11	Closed	10.9	Closed	11.0	Closed
	MuG	6	Closed	16.5	Not closed	16.5	Not closed
	MuH	51	Not closed	44.2	Not closed	44.2	Not closed
	MuI	49	Not closed	45.1	Not closed	41.4	Not closed
	MuJ	22	Not closed	37.6	Not closed	36.3	Not closed
	Jinan	JiA	17	Not closed	16.7	Not closed	19.7
JiB		21	Not closed	36.0	Not closed	36.0	Not closed
JiC		37	Not closed	36.8	Not closed	36.8	Not closed
JiD		31	Not closed	27.6	Not closed	27.6	Not closed
JiE		9	Closed	6.7	Closed	6.6	Closed
JiF		14	Closed	20.3	Not closed	21.0	Not closed
JiG		29.6	Not closed	33.1	Not closed	34.8	Not closed
JiH		28	Not closed	25.4	Not closed	25.4	Not closed
JiI		13	Closed	19.6	Not closed	19.6	Not closed
JiJ		21	Not closed	25.0	Not closed	25.0	Not closed
JiK		16	Not closed	13.7	Closed	13.7	Closed
JiL	46	Not closed	107.7	Not closed	107.0	Not closed	
JiM	192.4	Not closed	110.4	Not closed	109.7	Not closed	
Jangsu	JaA	33	Not closed	62.7	Not closed	62.2	Not closed
	JaB	28	Not closed	41.6	Not closed	42.5	Not closed
	JaC	28	Not closed	21.7	Not closed	21.7	Not closed
	JaD	3	Closed	9.6	Closed	9.6	Closed
	JaE	30	Not closed	30.7	Not closed	30.7	Not closed
	JaF	50	Not closed	86.0	Not closed	85.9	Not closed
	JaG	88	Not closed	58.4	Not closed	58.4	Not closed
	JaH	158	Not closed	97.9	Not closed	97.7	Not closed
	JaI	26	Not closed	35.3	Not closed	36.2	Not closed

치를 보여주며, 이를 시각화한 결과는 <그림 6>에 제시하였다. 시나리오 1에서 시나리오 2로 통학구역이 확장되면서, 학교별 학생 수에 다양한 변화가 나타났다. 가장 큰 감소를 보인 학교는 진안군의 'JiM초등학교'로, 82명의 학생 수가 감소하였다. 이는 기존 통학구역 제도로 인해 근접 학교에 통학하지 못했던 학생들이, 통학구역이 완화되면서 더 가까운 'JiG초등학교' 등 인접 학교로

이동한 결과로 해석된다. 즉, 통학구역을 조정함으로써 지리적으로 더 근접한 학교로 학생 수요가 재분배된 것이다. 반면, 무주군의 'MuF초등학교', 진안군의 'JiA초등학교', 장수군의 'JaE초등학교' 등은 통학구역 확장에도 불구하고 학생 수에 큰 변화가 없었다. 이들 학교는 대부분 행정구역 경계에 위치해 있고, 인근에 30분 이내 통학 가능한 다른 학교가 없어 격차 수요 변화의 영향을

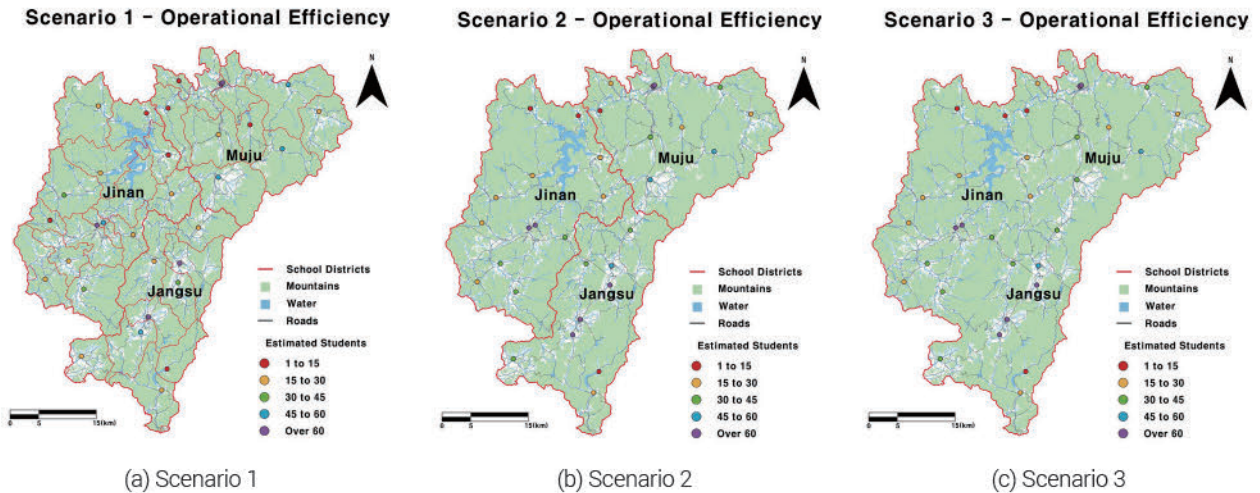


Figure 6. Spatial distribution of operational efficiency by scenarios

받지 않았다. 시나리오 2와 3 간의 차이는 미미했으며, 무주군 'MuI초등학교'에서만 3.7명의 학생 수 감소가 나타났다. 이는 해당 학교 인근 격자 학생 일부가 장수군 'JaB초등학교', 진안군 'JiA초등학교' 등 상대적으로 더 가까운 학교로 이동했기 때문으로, 행정구역의 넘는 접근성 재배분의 영향으로 해석된다.

한편, 시나리오별로 폐교 기준(15.74 명)을 충족하지 못하는 학교도 일부 존재하였다. 모든 시나리오에서 폐교 기준 이하로 나타난 학교는 무주군 'MuF초등학교', 진안군 'JiE초등학교', 장수군 'JaD초등학교'로 총 3개교였다. 시나리오 1에서 기준 미달이었으나, 시나리오 2와 3에서 기준을 충족한 학교는 무주군 'MuA초등학교', 'MuG초등학교', 진안군 'JiF초등학교', 'JiI초등학교' 등 4개교였다. 반대로, 시나리오 1에서는 기준을 충족했으나, 시나리오 2와 3에서는 기준 미달로 전환된 학교는 진안군의 'JiK초등학교'였다. 해당 학교는 시나리오 1 기준 16명의 학생이 배정될 것으로 예측되었으나, 2.3명이 인근 'JiJ초등학교' 등으로 이동하면서 15.74명 이하로 감소하였다. 결과적으로, 통학구역이 완화되면서 4개교는 폐교 가능성에서 벗어났고, 1개교는 새롭게 기준 이하로 전환되었으며, 3개교는 시나리오와 무관하게 기준을 충족하지 못했다. 이는 전체적으로 완화된 통학구역 제도가 더 많은 학교의 운영 지속 가능성을 확보하는 데 긍정적인 영향을 주었음을 보여준다.

종합하면 시나리오 1에서 2와 3으로 통학구역이 확장될수록 학교 간 학생 수 분포의 불균형이 감소하는 경향을 보였다. 특히 시나리오 3에서는 전체적으로 불평등도(지니계수)가 가장 낮게 나타났다. 결론적으로, 농촌지역의 통학구역의 확대는 학생 수의 지역 간 재분배를 유도하여 학교 운영의 효율성을 높이며, 폐교 가능성을 줄이는 데 효과적임을 확인할 수 있다. 특히 통학 여건 개선이 수요 분포에 실질적 영향을 주고 있음을 보여주는 결과다.

## V. 토론

본 연구는 통학구역의 확대와 통합이 교육 접근성과 학교 운영 효율성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 통학구역 조정은 단순한 행정적 조치를 넘어, 교육의 형평성과 지역 교육의 지속 가능성 확보에 기여할 수 있는 실질적 정책 수단임을 확인하였다. 주요 시사점은 다음과 같다.

첫째, 통학구역 확장은 교육 접근성 향상에 긍정적인 효과를 보였다. 시나리오의 조정을 통해 학교의 자율성을 보장할수록 갈수록 더 많은 학생들이 30분 이내에 학교에 도달할 수 있었으며, 이는 특히 원거리 통학 문제 해소에 효과적인 것으로 나타났다. 이는 현재의 통학구역이 학생들의 실제 거주지와 최단시간 학교 간의 연결성을 충분히 반영하지 못하고 있음을 의미한다.

비록 시나리오 3에서도 일부 격자는 여전히 30분 초과 통학시간을 보였지만, 전반적으로 접근성이 나빠진 격자는 단 한 곳도 없었고, 일부 지역은 통학구역 확장으로 새롭게 30분 이내 접근이 가능해졌다. 따라서 이러한 지역에는 추가적인 이동수단 지원, 분교장 설치 등 맞춤형 보완책이 병행되어야 한다.

둘째, 학교 운영 효율성 측면에서도 통학구역 조정은 긍정적 영향을 미쳤다. 다만, 본 연구에서 제시한 결과 해석에는 중요한 전제가 있다. 즉, 농촌지역에서 학교는 단순한 교육시설을 넘어 지역 공동체의 핵심 인프라로 기능한다는 점이다. 따라서 순수한 재정 효율성 관점에서는 소규모 학교의 폐교가 더 효율적일 수 있으나, 교육 접근성, 지역사회 결속력, 인구 유출 방지 등을 종합적으로 고려할 때는 학교 유지를 통한 교육 서비스 연속성 확보가 더 중요할 수 있다. 시나리오 1에서는 학교 간 학생 수 편차가 크고 폐교 기준 미달 학교 수가 많았으나, 시나리오 2와 3에서는 학생 수의 분포가 보다 균등해졌으며, 폐교 기준 이상을 유지하는 학교 수도 증가하였다. 이는 인구밀도가 낮고 학령인구가 감소하는 농촌지역에서 통학구역 확장이 학교 간 과소 문제를 완화하

고, 제한된 교육 자원의 재분배에 기여할 수 있음을 보여준다. 특히, 일부 학교는 기존 시나리오에서 폐교 위험에 있었으나, 통학구역 변경을 통해 학생 수가 기준 이상으로 증가하며 운영 지속 가능성을 확보할 수 있었다. 이는 지역 교육 인프라의 유지와 관련해 중요한 정책적 의미를 갖는다.

셋째, 학생 중심의 통학구역 조정이 교육 형평성 제고에 효과적임이 확인되었다. 기존 통학구역은 행정구역 경계나 대규모 주거단지를 기준으로 설정되어 학생들의 실제 생활권이나 통학 여건을 충분히 고려하지 못하는 한계가 있었다. 반면, 본 연구는 학생의 실제 통학 소요시간과 공간 접근성을 기준으로 통학구역을 재설계함으로써, 교육 접근성과 학교 간 학생 수 불균형을 함께 개선할 수 있음을 실증하였다. 이는 향후 통학구역 설정이나 교육정책 수립 시, 학생 중심의 교육환경 설계 원칙을 반영해야 함을 시사하며, 지속 가능한 지역교육체계를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

특히 연구 대상지와 같은 농촌지역에서는 학교 통폐합이 단순히 교육비 절감에 그치지 않고, 추가적인 인구 유출과 지역 쇠퇴를 가속화할 수 있다는 점에서 신중한 접근이 필요하다. 본 연구는 통학구역 확장이 교육 접근성과 학교 운영 안정성을 동시에 개선할 수 있다는 점에서, 통학구역 조정이 단순한 행정조정이 아니라 교육권 보장과 지역사회 지속가능성을 위한 핵심 정책 수단임을 강조한다.

다만, 연구의 적용 가능성은 지역별 차이를 고려할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 인구밀도가 낮고 학령인구가 감소하는 농촌지역의 특수한 조건에서 도출된 것으로, 과밀 상황이나 도시 지역에서는 다른 양상을 보일 수 있다. 예를 들어, 도시 지역에서는 통학구역 확장이 일부 학교로의 과도한 집중을 유발할 수 있으며, 결과적으로 운영 효율성의 악화로 이어질 수도 있다. 또한, 지형적 제약이나 대중교통 미비로 인해 통학 여건 개선이 어려운 지역도 존재하므로, 지역 특성을 반영한 통학지원 정책의 병행이 필수적이다.

## VI. 결론

본 연구는 농산어촌 지역을 대상으로 장래인구구조 변화를 반영한 통학구역 조정 시나리오를 설계하고, 교육 접근성과 학교 운영 안정성 및 교육 서비스 형평성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 이를 위해 코호트 요인법을 통해 격자 단위의 장래 학령인구를 추정하고, 최단시간 기반 접근성과 I2SFCA 기반 수요배분을 통해 통학구역 시나리오별 효과를 평가하였다.

분석 결과, 기존 통학구역을 유지한 시나리오 1에 비해, 기초지자체를 하나의 통학구역으로 통합한 시나리오 2에서는 더 많은 학생들이 최단거리 학교에 통학할 수 있게 되며 교육 접근성이 향상되었고, 학교 간 학생 수 분포의 균형성 또한 개선되었다. 사례

대상지 3개의 군의 통학구역을 통합한 시나리오 3에서는 시나리오 2 대비 전반적인 변화는 크지 않았지만, 행정구역 경계에 위치한 일부 학교에서 추가적인 학생 수 변화가 발생하였다. 특히, 통학구역 확장은 폐교 기준 미달 학교 수를 감소시키고, 학교 간 학생 수 격차를 줄이며 교육 자원의 효율적 분배에도 긍정적 영향을 미쳤다. 이는 단순한 공간 재배치가 아닌, 지역교육체계의 지속 가능성을 높이는 데 효과적인 전략이 될 수 있음을 시사한다.

본 연구는 기존 시·군 단위 분석에서 벗어나, 격자 기반의 미시적 공간 단위에서 인구감소 지역의 통학 여건을 세밀하게 진단했다는 점에서 학술적 의의가 있다. 이를 통해 실제 거주 분포에 기반한 세부적이고 실질적인 통학구역 조정이 가능하게 하였다. 특히 장래인구추계를 반영하여 통학구역 조정의 장기적 효과를 평가하였다는 점에서 관련 연구에 기여하고 있다. 정책적으로도 본 연구는 교육 접근성과 운영 효율성을 결합하여 농촌지역에서 통학구역 설정 및 학교 통폐합 정책 수립 시 활용 가능한 평가 프레임워크 및 기초자료를 제공하였다는 측면에서 그 가치가 있다.

그러나 몇 가지 한계도 존재한다. 첫째, 교통수단을 도보와 대중교통으로 제한하여 자전거나 자가용 등 실제 통학 상황에서 활용되는 다양한 이동수단을 반영하지 못했다. 둘째, 학교 배정 확률에 영향을 미치는 교육 프로그램, 학교의 명성, 교사 구성 등의 비공간적 요소(학교 매력도)를 고려하지 못한 점도 분석의 제약으로 남는다. 향후 연구에서는 다양한 교통수단을 포함한 접근성 분석과 함께, 정성적 요소를 반영한 학교 선택 행태 분석이 병행되어야 할 것이다. 이를 통해 보다 현실적이고 타당한 통학구역 조정 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

- 
- 주1. 기존 공간적 접근성 측정에서는 시설의 수용능력과 수요자 간의 경쟁을 반영할 수 있는 Two-Step Floating Catchment Area(2SFCA) 방법론이 널리 활용되어 왔다(Luo and Wang, 2003). 그러나 농산어촌 지역의 경우 수요 경쟁보다는 물리적 접근성 확보가 핵심 문제이므로, 수요자 간 경쟁을 배제한 최단시간 접근법을 활용하였다.
  - 주2. 주로 도서산간 등 기존의 학교를 추가로 개설하기 어려운 경우, 본교와 떨어진 곳에 새로 세운 학교를 의미한다.
  - 주3. 본 연구에서 제시한 15,74명은 과거 폐교된 학교들의 통계적 평균치를 바탕으로 한 폐교 가능성의 참고 기준일 뿐, 실제 폐교 대상 선정 기준을 의미하는 것은 아님을 밝혀둔다. 교육부와 시·도교육청의 폐교 기준은 지역별, 시기별로 상이할 수 있으며, 학생 수 외에도 다양한 요소가 고려된다. 따라서 본 연구의 결과를 폐교 대상 학교 선정의 근거로 확대해석하는 것은 부적절하다.

인용문헌  
References

1. 구동균·김채만·김현주·하아름, 2023. 「어린이 스쿨버스의 효율적인 운영방안」, 수원: 경기연구원.  
Ku, D.G., Kim, C.M., Kim, H.J., and Han, A.R., 2023. *Efficient Operation Strategies for Children's School Buses*, Suwon: Gyeonggi Research Institute.
2. 김용기, 2019. “지방소멸시대를 대비한 ‘작은학교 희망 만들기’ 사업 연구: 강원도교육청 소속 초·중학교를 대상으로”, 한국교원대학교 석사학위논문.  
Kim, W.G., 2019. “A Study on the ‘Making Hope for Small Schools’ Project in Preparation for the Age of Local Extinction”, Master’s Thesis, Korea National University of Education.
3. 김지연·심현기, 2022. “적정규모 학교 육성 정책이 소규모학교 폐교율에 미치는 영향: 지역규모와 학교급별 차이를 중심으로”, 『교육학연구』, 60(6): 493-522.  
Kim J.Y. and Shim, H.K., 2022. “The Effect of the Optimal School Size Development Policy on the Small School Closure Rate: Focusing on Differences in Regional Size and School Level”, *Korean Journal of Educational Research*, 60(6): 493-522.
4. 민부자·홍후조, 2011. “교육과정의 효과적인 운영을 위한 학급·학교 규모에 관한 이론적 연구”, 『아시아교육연구』, 12(2): 1-24.  
Min, B. and Hong, H., 2011. “A Study on the Optimal Size of School and Class for Effective Curricular Implementation”, *Asian Journal of Education*, 12(2): 1-24.
5. 박경철·송재룡·김혜원, 2018. 「원거리 통학 유발하는 초등학교 통학구역 개선방안」, 수원: 경기연구원.  
Park, K., Song, J., and Kim, H., 2018. *Policy Measures for Adjusting Elementary School Attendance Boundaries to Address Long-Distance Student Commuting*, Suwon: Gyeonggi Research Institute.
6. 박종탁, 2011. “농촌지역 소규모 통폐합학교 운영 효율화 방안 연구 - 전라북도교육청소재 통폐합학교(초등학교)를 대상으로”, 한국교원대학교 석사학위논문.  
Park, J.T., 2011. “Efficient Management Policy for the Small-Scaled Merged-and-Abolished School Facilities in Korean Rural Area - The Case of Elementary Schools under the Jurisdiction of Jeollabukdo Office of Education”, Master’s Thesis, Korea National University of Education.
7. 윤용기, 2016. “중소도시 초등학교별 학생수 증감 추세 분석에 관한 연구”, 『교육녹색환경연구』, 15(1): 30-39.  
Yoon, Y., 2016. “An Analytic Study on Elementary School Students Number of Increasing and Decreasing Trends in Small Cities”, *Korean Education and Green Environment Institute*, 15(1): 30-39.
8. 윤용기·최기석, 2021. “우리나라 초등학교 학생수 변화 패턴에 대한 조사 연구”, 『교육녹색환경연구』, 20(2): 1-10.  
Yoon, Y. and Choi, K., 2021. “A Study on the Trend of Change in the Number of Elementary School Students in Korea”, *Journal of Korean Education and Green Environment*, 20(2): 1-10.
9. 이보경, 2019. 「2040년 장래인구 분포 전망 연구: 소지역(500m 격자) 단위 코호트 요인법을 적용한 국토의 장래인구 분포 전망」, 세종: 국토연구원.  
Lee, B., 2019. *A Study on the Projected Population Distribution in 2040: Estimating Future Spatial Demographics Using the Cohort-Component Method at the Sub-Regional (500m Grid) Level*, Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
10. 이보경·장요한·정예진·홍사흠·김동근, 2022. 「인공지능 기법을 적용한 소지역단위 장래인구 예측 방법론 개발 기초 연구」, 세종: 국토연구원.  
Lee, B., Chang, Y., Jung, Y., Hong, S., and Kim, D., 2022. *A Preliminary Study on the Development of a Small-Area Population Projection Method Using Artificial Intelligence Techniques*, Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
11. 이보경·황명화·박정은·이후빈·장요한·임룡혁·박진호·박서현, 2020. 「미래예견적 국정관리지원: 생활인프라 수요-공급 예측 부문 모델링 연구」, 세종: 국토연구원.  
Lee, B.K., Hwang, M.H., Park, J.E., Lee, H.B., Jang, Y.H., Leem, R.H., Park, J.H., and Park, S.H., 2020. *A Study on Anticipatory Governance: A Modeling of Future Supply and Demand in Living Infrastructure*, Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
12. 이영·한유경·김이경, 2013. “초중등 장래 학생수 및 교원수 추정에 기반한 교원수급정책의 방향”, 『교육재정경제연구』, 22(3): 59-79.  
Kim, I., Han, Y., and Lee, Y., 2013. “Revisiting Elementary and Secondary Teacher Supply Policy Considering Recent Trends of Student Population”, *The Journal of Economics and Finance of Education*, 22(3): 59-79.
13. 이재림·양형모, 2015. 「적정규모학교 시설활용의 지속화 방안」, 서울: 한국교육개발원.  
Lee, J. and Yang, H., 2015. *Strategies for the Sustainable Utilization of Facilities in Appropriately Sized Schools*, Seoul: Korea Education Development Institute.
14. 이정선, 2000. “소규모 학교 통합의 부당성-문제제기와 논의”, 『비교교육연구』, 10(1): 43-73.  
Lee, J.S., 2000. “Closing and Integration of Rural Small Schools”, *Korean Comparative Education Society*, 10(1): 43-73.
15. 이화룡·동재욱, 2011. “개발지내 학교 적정배치를 위한 학생 통학권역 설정에 관한 연구”, 『대한건축학회 논문집 - 계획계』, 27(6): 77-84.  
Lee, H. and Dong, J., 2011. “A Study on the Student Walking Distance for Efficient New School Arrangement in Urban Housing Site”, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 27(6): 77-84.
16. 임은선·황명화·최혜림·손종혁·이보경·이영주·이영민·안소현·이보라·변필성, 2024. 「인구감소시대의 공간구조 변화 시뮬레이션 모형 개발」, 세종: 국토연구원.  
Im, E., Hwang, M., Choi, H., Sohn, J., Lee, B., Lee, Y., Lee, Y., An, S., Lee, B., and Byun, P., 2024. *Development of a Simulation Model for Spatial Structure Changes in the Era of Population Decline*, Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
17. 조대현, 2021. “우리나라 도시 축소의 인구 요인 및 특성 분석”, 『한국도시지리학회지』, 24(1): 29-44.  
Cho, D., 2021. “Analysis of Demographic Factors and Char-

- acteristics of Urban Shrinkage in Korea”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 24(1): 29-44.
18. 최기석, 2021. “학생수 감소에 따른 학교 재배치에 대한 연구: 서울시 초등학교 사례를 중심으로”, 『도시재생』, 7(1): 41-63.  
Choi, K.S., 2021. “A Study on the Relocation of Schools due to the Decrease in the Number of Students: Focusing on the Cases of Elementary Schools in Seoul”, *Journal of Korea Urban Regeneration Association*, 7(1): 41-63.
  19. 허동숙, 2022. “지역 청소년 인구 감소와 교육 서비스 환경의 변화”, 『한국교육논총』, 43(3): 245-276.  
Huh, D., 2022. “An Exploratory Study on the Reduction of the Local Youth Population and Changes in the Educational Service Environment”, *Korean Educational Research Journal*, 43(3): 245-276.
  20. 홍은광, 2018. “인구절벽 시대의 농산어촌과 지방교육 정책”, 『교육비평』, (42): 8-31.  
Hong, E.K., 2018. “Rural and Local Education Policies in the Era of Cliff Population”, *Education Review*, (42): 8-31.
  21. 황의현, 2024. “충북혁신도시 초등학교 접근성 및 공간적 형평성에 대한 연구”, 『한국공간디자인학회 논문집』, 19(7): 63-72.  
Hwang, E., 2024. “An Analysis of Elementary School Accessibility and Spatial Equity in Chungbuk Innovation City”, *Journal of the Korea Institute of the Spatial Design*, 19(7): 63-72.
  22. Bohannon, R.W., 1997. “Comfortable and Maximum Walking Speed of Adults Aged 20-79 Years: Reference Values and Determinants”, *Age and Ageing*, 26(1): 15-19.
  23. Chang, K., Peter F., Meagan L., and Edinson B., 2018. “Student Pedestrian Walking Speeds at Crosswalks Near Schools”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(32): 22-29.
  24. David, K.S. and Mary S., 2005. “Expectations for Walking Speeds: Standards for Students in Elementary Schools”, *Pediatric Physical Therapy*, 17(2): 120-127.
  25. Duncombe, W., Miner, J., and Ruggiero, J., 1995. “Potential Cost Savings from School District Consolidation: A Case Study of New York”, *Economics of Education Review*, 14(3): 265-284.
  26. Duncombe, W. and Yinger, J., 2001. *Does School Consolidation Cut Costs?*, Working Paper No. 33, Center for Policy Research, Maxwell School, Syracuse University.
  27. Greene, J.P. and Winters, M.A., 2005. *Public High School Graduation and College-Readiness Rates: 1991-2002*, Education Working Paper No. 8, New York: Center for Civic Innovation.
  28. Koc, N. and Celik, B., 2015. “The Impact of Number of Students per Teacher on Student Achievement”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 177: 65-70.
  29. Lin, J.J., Huang, Y.C., and Ho, C.L., 2014. “School Accessibility and Academic Achievement in a Rural Area of Taiwan”, *Children's Geographies*, 12(2): 232-248.
  30. Luo, W. and Wang, F., 2003. “Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6): 865-884.
  31. Preston, S.H., Heuveline, P., and Guillot, M., 2001. *Demography: Measuring and Modeling Population Processes*. Massachusetts: Blackwell Publishing.
  32. Swanson, A.D., 1988. “The Matter of Size: A Review of the Research on Relationships between School and District Size, Pupil Achievement and Cost”, *Research in Rural Education*, 5(2): 1-8.
  33. Wang, F., 2018. “Inverted Two-Step Floating Catchment Area Method for Measuring Facility Crowdedness”, *The Professional Geographer*, 70(2): 251-260.

Date Received 2025-04-22  
 Date Reviewed 2025-07-30  
 Date Accepted 2025-07-30  
 Date Revised 2025-08-12  
 Final Received 2025-08-12