

국공립 어린이집의 최적 입지 선정 및 단계적 확충을 위한 최적화 모델 개발

김민서^{1*} · 김아영^{2*} · 김현준^{1†}

¹한양대학교 ERICA 산업경영공학과 / ²한양대학교 산업경영공학과

A Multi-Stage Optimization Model for the Location Selection and Expansion of National and Public Daycare Centers

Minseo Kim^{1*} · Ahyoung Kim^{2*} · Hyunjoon Kim¹

¹Department of Industrial Management and Engineering, Hanyang University ERICA

²Department of Industrial Management and Engineering, Hanyang University

This study addresses the issue of low birth rates by optimizing the location selection and phased expansion of national and public daycare centers. As government budgets for daycare center expansion decline while parental benefit allocations increase, this study proposes reallocating a portion of the latter to support daycare expansion. A two-stage mixed-integer linear programming model is developed for phased expansion from 2024 to 2027. The first stage aims to maximize demand coverage, while the second stage minimizes travel distance while meeting demand. This optimization approach enhances cost efficiency and improves accessibility, while ensuring effective demand fulfillment through strategic daycare center expansion. Additionally, the study provides Pareto optimal solutions and a web-based decision support system to assist policymakers in budget allocation based on policy priorities. It is anticipated that the results will contribute to improving daycare center supply chain management and providing solutions to mitigate the challenges of declining birth rates.

Keywords: Facility Location, Expansion Planning, Pareto Optimal Solution, Mixed-Integer Programming, Decision Support System

1. 서론

통계청에 따르면, 대한민국의 합계출산율은 2018년 이후 계속해서 1명 이하를 기록하며 초저출산 현상이 고착화되고 있다. 합계출산율은 한 여성이 가임 기간 동안 낳을 것으로 예상되는 평균 출생아 수를 의미하며, 대한민국은 2018년 처음으로 0.98명을 기록한 이후 2022년에는 0.78명, 2023년에는 0.72명까지 감소하였다. 초저출산 현상이 장기화되면서 출산율 저하는 사회 전반에 걸쳐 심각한 영향을 미치고 있으며, 특히 보육

시설 부족 문제를 더욱 심화시키고 있다.

부모들이 직장 생활과 자녀 양육을 병행해야 하는 상황에서 보육 시설은 필수적이지만, 출산율 감소로 인해 어린이집 이용자가 줄어들면서 어린이집의 폐업이 증가하고 있으며, 이는 보육 시설 공급 감소로 이어지는 악순환을 초래하고 있다. 이러한 상황은 부모들의 양육 부담을 가중시키고, 이는 결국 출산을 기피하는 원인 중 하나로 작용하고 있다.

2021년 보건복지부에서 발간한 전국보육실태조사-가구조사보고에 따르면, 영유아 부모들이 선호하는 육아 정책으로는

본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409092, 2024년 산업혁신인재성장지원사업).

† 연락저자 : 김현준 교수, 15588 경기도 안산시 상록구 한양대학교 55 제5공학관 503호, Tel : 031-400-5260, E-mail : hj301kim@hanyang.ac.kr

* These authors contributed equally to this work.

2025년 4월 8일 접수; 2025년 5월 28일 수정본 접수; 2025년 7월 10일 게재 확정.

국공립 어린이집 확충(1위), 보육·교육비 지원 단가 인상(2위), 육아휴직제도 정착 및 확대(3위) 순으로 나타났다(p.27). 그러나 2023년 통계청 자료에 의하면, 전국 어린이집 28,954개소 중 국공립 어린이집은 6,187개소(21.4%)에 불과하며, 이 중 3,639개소(58.8%)가 수도권에 집중되어 있다. 이러한 지역 간 편차로 인해 비수도권 지역에서는 어린이집 접근성이 낮고, 수도권에서도 높은 입소 수요로 인한 경쟁과 대기 문제가 지속되고 있다. 이로 인해 보육 서비스의 지역 간 불균형이 심화되고 있으며, 이는 육아 부담과 함께 저출산 현상을 심화시키는 요인 중 하나로 작용하고 있다.

이와 관련하여 보건복지부(2022)의 제4차 중장기보육 기본계획(2023~2027)에서도 “국공립 어린이집 지속 확충으로 공공보육 이용률을 2027년까지 50% 이상으로 제고, 지역별 편차 완화하겠다”는 목표를 설정하고 있다(p.16). 그럼에도 불구하고 최근 보육 예산의 편성 방향은 국공립 어린이집 확충보다는 현금성 양육 지원 중심으로 변화하고 있다. 아동수당법 제4조 제5항에 따라 부모급여 지급액이 2023년 월 70만 원에서 2024년 월 100만 원으로 확대되었다. 또한, 보건복지부의 2024년도 예산안 및 기금운용계획안 사업설명자료에 따르면, 부모급여 지원 예산이 전년 대비 약 12,673억 원 증가하였다(<Table 1> 참조). 그러나 이러한 현금 지원 방식의 정책은 부모들의 보육 부담을 근본적으로 해결하는 데 한계가 있으며, 안정적인 보육환경을 제공하기 위해서는 국공립 어린이집 확충이 필수적이다.

Table 1. Parental Salary Subsidy for 2023-2024 Years

[unit: billion KRW]

Year	Parental benefit subsidy	Increase amount
2023	16,214	12,673
2024	28,887	

본 연구에서는 부모급여 지원금 증가액의 일부를 국공립 어린이집 확충 지원 예산으로 전환하는 방안을 제안하고자 한다. 이를 통해 한정된 예산 내에서 최대한 많은 어린이 수요를 충족하고, 이동 거리를 최소화하는 최적의 입지 선정 모델을 개발한다. 아울러 지역 내 유휴 공간을 효율적으로 활용하여 어린이집 설치 비용을 절감하는 방안을 모색한다. 이를 통해 국공립 어린이집 확충을 최우선 목표로 설정하고, 궁극적으로 저출산 문제 해결에 기여하고자 한다.

더 나아가, 2024년부터 2027년까지의 장기적인 국공립 어린이집 확충 계획을 수립하고, 이를 단계적으로 수행할 수 있도록 최적 입지 선정 모델을 제안한다. 연구 대상 지역으로는 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 전국에서 가장 높은 합계출산율을 기록한 세종시를 선정하였다. 세종시는 비교적 높은 출산율에도 불구하고 인구수 대비 국공립 어린이집 비율이 낮아, 효율적인 국공립 어린이집 입지 선정이 중요하다고 판단하였다.

또한 국공립 어린이집의 입지 선정 시 현실적인 이동거리를 고려하기 위해 카카오 API를 활용하여 실제 도로망을 고려한

도보 거리 계산 방법을 적용하여, 보다 현실적인 입지 최적화를 수행하고자 한다. 예를 들어, <Figure 1>에서 직선거리를 기준으로 이동 거리는 861m(도보 약 12분)이지만, 실제 도로를 이용한 이동 거리는 1,500m(도보 약 23분)로 증가한다. 따라서 본 연구에서는 실제 도로망을 반영한 이동 거리를 고려하여, 보다 현실적인 국공립 어린이집 입지 선정이 이루어지도록 한다.

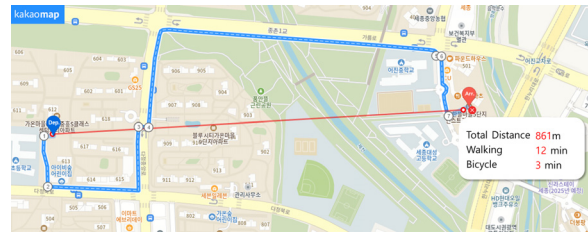


Figure 1. Comparison of Straight and Actual Distance

2. 관련 문헌 연구

국공립 어린이집 확충을 위한 최적 입지 선정은 다양한 연구에서 다루어져 왔다. 기존 연구들은 공간 분석, 머신러닝, 최적화 모델 등을 활용하여 국공립 어린이집의 공급 불균형 문제를 분석하고 해결 방안을 제시하였다. 본 절에서는 관련 연구를 공간 분석 기반 연구, 최적화 기법을 활용한 연구, 의사결정 지원 시스템 연구로 나누어 검토한다.

2.1 공간 분석 기반 연구

Kim(2014)은 GIS 기반 공간 분석을 통해 천안시의 어린이집 입지 특성을 분석하였으며, ArcGIS의 Density-Kernel 분석을 활용하여 영유아(0~7세) 인구 밀도가 높은 지역에서 어린이집 공급이 부족함을 파악하고, 신설 및 확장 필요 지역을 도출하였다.

Kim(2016)은 서울시 국공립 어린이집의 보육 서비스 형평성을 평가하였다. 연구에서는 포텐셜 모형 및 대시 매트릭 매핑 기법을 활용하여 영유아 인구 및 주택 실거래가를 기준으로 보육 기회의 분포를 분석하였다. 분석 결과, 영유아 인구 기준으로는 비교적 형평성이 유지되었으나, 소득 기준에서는 불균형이 존재함을 확인하였다. 이에 따라 소득 수준을 고려한 정책적 접근 및 민간 어린이집과의 협력 필요성을 강조하였다.

Kim(2021)은 보행 접근성을 고려한 국공립 어린이집 입지 분석하였다. GIS 분석을 통해 기존 국공립 어린이집 위치를 평가하고, 랜덤 포레스트 모델을 활용하여 어린이집 추가 설치가 필요한 지역을 선정하였다. 연구 결과, 경기도 고양시의 특정 지역(화전동, 효자동 등)이 어린이집 부족 지역으로 도출되었으며, 일부 지역(대덕동, 행신1동)은 기존 어린이집을 리모델링하여 국공립 어린이집으로 전환할 필요가 있는 것으로 나타났다.

2.2 최적화 기법을 활용한 연구

Dantrakul *et al.*(2014)은 시설의 설치 비용과 운송 비용의 합을 최소화하는 시설 입지 문제를 다루었다. 연구에서는 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm), p-median 및 p-center 모델을 활용한 세 가지 방법을 제안하였다. 분석 결과, 설치 비용이 많이 드는 경우에는 탐욕 알고리즘이, 운송 비용이 높은 경우에는 p-median 모델이 가장 효율적인 결과를 제공하였다.

An *et al.*(2014)은 두 단계 강건 최적화 기반의 p-median 시설 입지 문제 해결 모델을 제안하였다. 연구에서는 컬럼 및 제약 조건 생성 알고리즘(column and constraint generation algorithm)을 활용하여 시설 용량 및 수요 변동을 효율적으로 반영하였으며, 실험을 통해 대규모 시설 입지 문제를 높은 정확도로 해결할 수 있음을 검증하였다.

Hashim *et al.*(2016)은 p-median 모델을 활용하여 홍수 발생 시 이재민 대피소의 배치를 최적화하는 연구를 수행하였다. 모든 이재민을 수용하면서도 대피소까지의 이동거리를 최소화하는 문제를 다루었다. 말레이시아 쿠안탄 지역을 대상으로 한 사례 연구를 통해 최소한의 시설로 최대한의 대피 인원을 수용할 수 있도록 입지를 선정하는 것이 중요함을 강조하였다.

Chauhan *et al.*(2019)은 드론을 활용한 최대 커버리지 시설 입지 문제를 연구하였다. 연구에서는 제한된 용량을 가진 시설을 최적의 위치에 배치하고 드론을 해당 시설에 할당하여 수요를 최대한 충족시키는 문제를 해결하기 위해 정수 선형 계획법(Integer Linear Programming, ILP)을 개발하였다. 드론의 에너지 소비 및 범위 제약을 고려하여, 각 시설이 서비스할 수 있는 최대 범위를 최적화하는 방식으로 접근하였다.

Kim *et al.*(2020)은 수소차 및 충전소 배치를 최적화하는 수소충전소 배치 최적화 알고리즘(Deployment Optimization Algorithm, DOA)을 제안하였다. 연구에서는 충전소 개수 결정, max cover, p-median 모델을 활용하여 충전소 위치와 수요 할당을 최적화하였다. 또한, 일반 도로, 고속도로, 버스 충전소로 네트워크를 구분하여 각 특성을 반영하여 2022년~2040년 전국 충전소 배치 계획을 도출하였으며, 현실적인 데이터를 반영하여 실질적인 정책 결정을 지원하였다. 기존 연구와 달리, 충전소 미매치 지역과 가장 가까운 충전소 간 이동 시간도 고려하여 보다 현실적인 배치 계획을 제시하였다.

Karatas *et al.*(2020)은 수요 충족 비율을 최대화하는 계층적 시설 입지 및 규모 결정 모델을 제안하였다. 연구에서는 점진적 및 협력적 커버링 개념을 적용한 비선형 수리 모델을 설계하고, 이를 선형화하여 최적 입지를 효과적으로 탐색하였다. 또한, 커버리지 극대화과 계산 속도 간의 균형을 조절할 수 있는 유연성을 제공함을 확인하였다.

Bayram *et al.*(2020)은 전기차 충전소의 최적 입지 선정 및 시설 용량 계획을 위한 다양한 접근법을 검토하였다. 연구에서는 대기 이론 등의 확률적 모델링 기법을 활용하여 시설의 수용 능력 문제를 해결할 수 있음을 논의하였다. 또한, 이산 네

트워크 모델이 접근성 문제 해결에 적합함을 확인하였으며, 수요의 확률적 변동성을 고려하기 위해 확률적 모델링 기법을 적용할 필요성을 강조하였다.

Engau *et al.*(2020)은 불확실성 하에서의 다기준 최적화 연구에 기여하며, 기존의 파레토 최적성 개념을 확장하는 새로운 효율적 집합 계층을 정의하고 분석하였다. 여섯 가지 새로운 정렬 관계를 기반으로 효율적 집합의 관계를 연구하고, 가중합 및 입실론-제약 스칼라화 기법을 일반화하였다. 연구 결과, 불확실성 하에서도 최적해의 존재성과 필요충분조건이 유지됨을 확인하였다.

Kim *et al.*(2021)은 수소 충전소 구축에 필요한 대규모 투자와 수소전기차(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) 판매량 예측의 어려움을 고려하여, 점진적 충전소 배치 방안을 제안하였다. 기존 충전소에서의 거리 극대화과 수요 지점과의 거리 최소화를 동시에 고려하는 다목적 입지 모델(multi-objective location model)을 개발하고, 이를 효율적으로 해결할 수 있는 최적화 알고리즘을 제안하였다. 연구에서 제안된 FIPTA_WD 알고리즘이 기존 알고리즘 대비 24.59배 빠르게 파레토 최적해를 도출함을 확인하였다.

Lee *et al.*(2024)은 혼합 정수 선형 계획법(Mixed Integer Linear Programming, MILP)을 활용한 수요-공급 2단계 최적화 모델을 제안하였다. 수요 단계에서는 max cover 모델과 p-median 모델을 활용하여 수소 충전소의 위치와 충전기 수를 최적화하고, 공급 단계에서는 추가적인 on-site 생산시설 설치 및 수소 공급 배분을 최적화하여 설치 및 운송 비용을 최소화한다. 연구에서는 현실적인 데이터와 공공 자료를 활용하여 2025년과 2030년의 수소 수요를 90% 이상 충족하는 인프라 배치 계획을 도출하였다. 또한, 충전기 용량과 기존 생산시설의 생산능력 등에 대한 민감도 분석(sensitivity analysis) 수행 결과, 수소 충전소의 충전기 용량이 수요 충족에 가장 큰 영향을 미치며, 생산기지의 생산능력은 추가적인 on-site 충전소 설치 필요성을 결정하는 주요 요인임을 확인하였다.

2.3 의사결정 지원 시스템 연구

Wang *et al.*(2019)은 웹 기반 관계 의사결정 지원 시스템을 개발하여 데이터 수집, 실시간 관계 예측, 용수 배분 결정 등의 기능을 제공하였다. 연구에서는 라우저/서버 모델을 활용하여 인터넷 연결만으로도 시스템을 사용할 수 있도록 설계하였으며, 비전문가도 직관적으로 활용할 수 있음을 입증하였다.

Ryu *et al.*(2023)은 수소 충전소 및 공급망 최적화를 위한 웹 기반 의사결정 지원 시스템을 개발하였다. 연구에서는 시나리오 관리, 최적화 모델, 시각화 기능을 포함하는 시스템 아키텍처를 설계하였으며, 대한민국을 대상으로 2025년 및 2030년 수소 충전소 최적 배치를 시뮬레이션하였다. 연구 결과, 해당 시스템이 정부 및 지자체의 인프라 계획 수립에 효과적으로 활용될 가능성이 있음을 확인하였다.

2.4 Contribution

기존 연구들은 주로 수소 충전소, 전기차 충전소, 대피소 등 시설 입지 문제의 배치 불균형 및 형평성 분석에 집중하였다. 반면, 본 연구는 국공립 어린이집 확충이라는 구체적인 정책 환경에 초점을 맞추어, 영유아 인구, 도보·교통 접근성, 예산, 지역적 특성 등 보육 분야만의 특수한 요소를 종합적으로 반영한 모델을 제시한다.

또한, 대부분의 기존 연구들이 이론적 모델 검증이나 제한된 범위의 데이터에 치중한 경우가 많았다면, 본 연구는 실제 정책 의사결정에 활용할 수 있도록 지역별 영유아 인구 구조, 기존 시설 분포, 지자체 예산, 도보권 및 교통 인프라 등 실질적인 데이터를 기반으로 모델을 구성했다. 이를 통해 의사결정자들이 현실적인 정책 실행 단계에서 신뢰할 수 있는 결과를 제공할 수 있다.

선행 연구들 중 일부는 모든 목표와 제약을 한 번에 다루는 통합 모델이나 단계적 모델을 각각 제시했다. 반면, 본 연구에서는 기본 모델과 두 단계 모델을 동일한 문제 설정 하에서 직접 비교 분석하여 실제 정책 환경에서 보다 적합한 해법을 검증하였다. 특히, 두 단계 모델은 가중치를 사전에 설정하지 않아도 되며, 주요 우선 확보 후 거리 최적화를 수행함으로써, 현실에서 흔히 요구되는 의사결정 흐름을 직관적으로 반영할 수 있다.

또한 본 연구에서는 파레토 최적해를 도입하여 접근성, 비용, 수요 등 여러 상충 목표를 동시에 고려할 수 있는 통합적 의사결정 지원 방안을 제시한다. 정책 입안자나 의사결정자는 파레토 최적해 집합 내에서 우선순위에 따라 적절한 대안을 유연하게 선택할 수 있도록 지원한다. 이러한 접근은 보육 정책 및 예산 수립

과정에서 다양한 이해관계와 지표를 균형 있게 반영함으로써, 의사결정의 효율성과 합리성을 높이는 데 기여할 수 있다.

기존 문헌에서도 의사결정 지원 시스템(Decision Support System, DSS) 개발 사례가 제시되었으나, 국공립 어린이집 배치 문제에 적용된 DSS는 아직 충분히 제시되지 않았다. 본 연구에서는 웹 기반 시각화 및 시나리오 분석 기능을 갖춘 DSS 프로토타입을 개발하여, 정책 결정자가 최적의 입지를 직관적으로 분석할 수 있도록 지원한다. 이를 통해 정책 담당자가 분석 결과를 쉽게 확인하고 시뮬레이션할 수 있도록 하여, 연구 결과의 실질적 활용성을 극대화한다.

3. 문제 정의

3장에서는 국공립 어린이집 확충 계획 수립을 위한 과정을 설명한다. 3.1절에서는 데이터 수집과 비용 산출 과정을 다루고, 3.2절과 3.3절에서는 국공립 어린이집 입지 선정 및 확충을 위한 수리 모델을 제시한다.

3.1 사전 조사

(1) 지역 선정

본 연구에서는 세종특별자치시를 대상으로 국공립 어린이집 확충 계획을 수립한다. 세종시는 최근 5년간 전국에서 가장 높은 합계출산율을 기록했으나, 보육시설은 상대적으로 부족한 실정이다. <Table 2(a)>에 따르면, 세종시의 0~7세 인구 대

Table 2. Criteria for Selecting Areas Subject to Expansion of National and Public Daycare Centers

(a) Total Fertility Rate by Administrative Region

Administrative District	Total Fertility Rate (per woman)
Seoul	0.55
Busan	0.66
Daegu	0.70
Incheon	0.69
Gwangju	0.71
Daejeon	0.79
Ulsan	0.81
Sejong	0.97
Gyeonggi	0.77
Gangwon	0.89
Chungbuk	0.89
Chungnam	0.84
Jeonbuk	0.78
Jeonnam	0.97
Gyeongbuk	0.86
Gyeongnam	0.80
Jeju	0.83

(b) The ratio of the number of daycare centers to the number of populations by administrative district

Administrative District	Total	National and public daycare centers(x)	Population ages 0-7(y)	(x/y) × 100
Seoul	4,431	1,836	380,441	1.17
Busan	1,447	319	141,398	1.02
Daegu	1,079	284	109,388	0.99
Incheon	1,652	340	149,677	1.10
Gwangju	878	159	72,750	1.21
Daejeon	916	123	71,408	1.28
Ulsan	612	102	57,115	1.07
Sejong	314	134	32,131	0.98
Gyeonggi	8,903	1,463	730,351	1.22
Gangwon	847	158	67,821	1.25
Chungbuk	921	142	76,408	1.21
Chungnam	1,421	212	105,397	1.35
Jeonbuk	944	137	73,632	1.28
Jeonnam	952	209	79,122	1.20
Gyeongbuk	1,310	199	110,701	1.18
Gyeongnam	1,904	325	151,462	1.26
Jeju	423	45	37,366	1.13

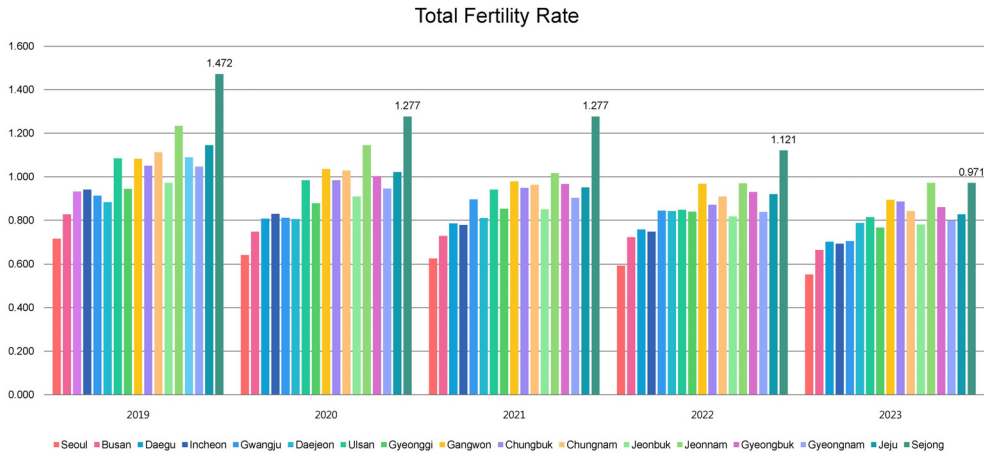


Figure 2. Total Fertility Rate by Administrative District

비 어린이집 비율은 0.97%로 전국에서 가장 낮은 수준이며, 이는 해당 연령대 인구 1명당 이용할 수 있는 어린이집 수가 타 지역 대비 현저히 부족한 상황임을 시사한다. 특히, 한국여성정책연구원(2024), 공공데이터 포털(2025), 행정안전부 자료를 기반으로 행정동별 합계출산율 및 어린이집 수를 나타낸 <Table 2>를 통해 보육 인프라의 불균형을 더욱 구체적으로 확인할 수 있다. 한편, <Figure 2>는 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 세종시의 합계출산율 추이를 보여주며, 세종시가 지속적으로 높은 출산율을 유지해 왔음을 나타낸다. 그러나 보육시설이 충분하지 않은 상황이므로, 세종시는 보육 인프라 개선이 시급한 지역으로 판단된다. 이에 따라, 본 연구에서는 세종시를 분석 대상으로 선정하고 국공립 어린이집 확충 방안을 모색하고자 한다.

(2) 후보지 및 수요지 선정

수요지

본 연구에서는 세종시 내 500세대 미만 공동주택(아파트)을 수요지로 설정하였다. 500세대 이상 공동주택의 경우, 법적으로 어린이집 설치가 의무화되어 있어, 이미 보육 환경이 조성되어 있다고 판단하였다. 따라서 500세대 미만 공동주택에 거주하는 0~7세 아동을 보육 수요 대상으로 선정하였다.

각 수요지의 0~7세 인구수를 정량적으로 추정하기 위해, 다음과 같은 공식을 활용하였다.

$$\text{수요지별 0~7세 인구수} = (\text{아파트별 세대 수}) \times (\text{세대별 0~7세 인구수}) \quad (1)$$

공식 (1)은 수요지별 0~7세 인구수를 세종시의 아파트별 세대 수와 세대별 0~7세 인구수를 곱하여 추정한 것으로, 각 수요지의 수요량을 의미한다. 공식 (1)에서 사용한 세대별 0~7세 인구수는 해당 읍·면·동의 0~7세 인구 비율과 세대별 평균 인구수를 곱하여 산출하였다.

예를 들어, 조치원읍에 위치한 세종 신흥사랑 주택은 80세대로 이루어져 있으며, 전체 인구수 대비 조치원읍의 0~7세 인구 비율은 0.03이고, 세대별 평균 인구수는 2명이다. (1)에 따라 세종 신흥사랑 주택의 0~7세 인구수는 $80 \times 0.03 \times 2\text{명} = 4.8$ 로 계산되며, 이를 올림 하여 약 5명으로 추정하였다.

후보지

국공립 어린이집 설치 후보지는 유휴 공간 활용 가능성을 고려하여 다음 4가지 유형으로 분류하였다. <Table 3>은 각 후보지를 국공립 어린이집으로 전환하는 방식을 나타낸 표이다.

첫 번째 후보지인 국공립 초등학교의 경우, 1층의 유휴 교실을 리모델링하여 어린이집으로 활용할 수 있도록 하였다. 두 번째 후보지인 철도역은 역 앞 광장 및 유휴 공간의 면적을 고려하여 설치할 수 있는 장소로 선정하였다. 세 번째 후보지는 민간/가정 어린이집으로, 무상 장기임차하여 국공립 어린이집으로 전환하는 방식이다. 민간 어린이집은 비영리 법인, 비영리단체 혹은 개인이 운영하는 어린이집이며, 가정 어린이집은 개인이 가정이나 그에 준하는 공간에서 운영하는 어린이집이다.

기존 민간/가정 어린이집 운영자가 운영권을 유지한 채 국공립 어린이집의 확충을 추진한다. 보건복지부 국공립 어린이집 장기임차 선정 기준에 따라, 전환 적격 심사를 통해 전환할 수 있는 어린이집을 선별했다. 본 논문에서는 수집할 수 있는 항목만을 평가하여 75점 이상을 획득한 어린이집을 전환 대상으로 선정했다. 평가 항목에는 시설 현황, 보육 교사, 0~7세 현황 등이 포함되며, 이를 바탕으로 필요한 항목을 평가하고 배점을 적용하여 전환 대상을 결정했다.

마지막으로 공동주택의 경우, 세종시의 500세대 미만 공동주택을 후보지로 선정하였다. 500세대 이상 공동주택은 어린이집 설치가 법적으로 의무화되어 있어, 해당 아파트 내 어린이들이 기본적으로 어린이집에 접근할 수 있는 환경이 마련되어 있다. 따라서 500세대 이상 아파트는 추가적인 분석 대상에서 제외하였다.

Table 3. How to Convert to National and Public Daycare Centers

Candidate Site Type	How to switch to a national and public daycare center
National and public elementary school	Remodeling the unused classroom on the first floor and using it as a national daycare center
Train station idle space	Utilizing the plaza and idle space in front of the station as a space where a daycare center can be installed
Private/home daycare center	Converting to a national or public daycare center through free long-term lease
Apartments with less than 500 households	Establishing a new daycare center in a small apartment complex that lacks childcare centers

(3) 비용 산출 방법

국토교통부와 보건복지부의 협약에 의하면, 철도역 유휴 공간에 신규 어린이집을 건설하는 경우 일부 비용은 국토교통부에서 지원받는다. 이에 따라 철도 어린이집을 건설할 때 발생하는 비용 중 신축 비용만을 국가 지원금으로 설정하여 비용 계산에 반영하였다. 세종시의 m²당 평균 신축 비용인 167만 6천원을 기준으로 비용을 산정하였으며, 설치 가능 면적을 산출하기 위해 네이버 지도를 활용했다.

<Figure 3>은 조치원역 앞 유휴 공간의 면적을 측정된 결과를 보여주며, 해당 면적은 342.5m² 확인되었다. 이를 바탕으로 총 설치 비용을 산정한 결과, m²당 신축 비용과 설치 가능 면적을 곱한 값은 약 5억 7천만 원으로 계산되었다.



Figure 3. Estimating the Area for the New Railway Daycare Center in Jochiwon Station

국공립 초등학교의 유휴 교실을 활용하는 경우, 환경 개선 비용(1억 원), 리모델링 비용(8천만 원)으로 지원 비용을 설정하였다. 본 지원 비용은 보건복지부와 서울시 여성가족정책실의 국공립 어린이집 확충 계획을 참고하여 산출한 예비 추정치이며, 실제 적용 시에는 각 학교의 실정, 현장 여건, 시공업체 견적 등에 따라 변동될 수 있다. 이에 따라, 구체적인 현장 조사와 전문가 검토를 통해 최종 비용산정 기준을 보완할 필

요가 있다.

민간/가정 어린이집을 국공립 어린이집으로 전환 시, 2020년 보건복지부 국공립 어린이집 장기임차 선정 기준에 따라 근저당 설정비, 리모델링비, 기자재비가 지원된다. 또한, 지원 금액은 어린이집의 인원수에 따라 구간별로 설정했다.

500세대 미만 공동주택은 면적당 리모델링비, 기자재비(1천만 원)로 설정했다. 이는 Zip doc의 견적 계산기를 활용하여 면적당 리모델링비를 반영했고, 아파트 건물 유형을 기준으로 산출했다. 이 과정에서 모든 옵션을 선택했을 때의 최대 인테리어 비용은 5,000만 원으로 설정되었으며, 이를 후보지 면적의 평균값으로 나누어 면적당 200만 원을 도출하였다. 또한, 기자재비는 일반적인 유지보수 및 교체 비용을 고려하여 1천만 원으로 책정하였다. 이러한 기준을 바탕으로 본 연구에서는 500세대 미만 공동주택의 리모델링 비용을 합리적으로 산정하였다.

(4) 국공립 확충 지원 예산 예측

본 연구에서는 2025년부터 2027년까지의 국공립 확충 지원 예산액을 예측하기 위해, 2019년부터 2024년까지의 실제 확충 지원 예산 데이터를 활용했다. 데이터 분석에는 연평균 성장률(Compound Annual Growth Rate, CAGR)을 적용하여, 연도별 예산 증가율의 추세를 반영하였다.

CAGR 방식은 과거 데이터를 기반으로 일정한 비율로 성장한다고 가정하여 미래값을 예측하는 데 유효한 기법으로, 이를 통해 2025년부터 2027년까지의 확충 지원 예산을 산출하였다. 본 예측은 장기적 계획 수립을 위한 기초 자료로 활용되며, 정책 변화나 추가 변수에 따라 추후 조정될 수 있다. <Table 4>는 최근 6년간의 연평균 성장률을 반영한 예측 결과를 제시하며, 과거 예산 증가 추세를 기반으로 향후 예산 변화를 분석할 수 있도록 하였다.

Table 4. Budget Prediction for National and Public Daycare Center Expansion

[unit: 100 million KRW]

Budget classification	Year	Subsidy for expansion of national and public daycare centers
Settlement of accounts	2019	26.39
	2020	29.25
	2021	35.73
	2022	25.08
Original budget	2023	14.54
	2024	11.00
Predictive subsidy	2025	9.23
	2026	7.75
	2027	6.51

(5) 수요 예측

세종시 내 0~7세 어린이 인구수는 국공립 어린이집 확충 계획을 수립하는 데 중요한 지표이다. 이에 본 연구에서는 세종시 어린이 인구수 변화 추세를 정량적으로 분석하고, 예측 결과를 기반으로 국공립 어린이집 확충 예산을 산정하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 2017년부터 2024년까지의 세종시 0~7세 어린이 인구수 데이터를 수집하여 시계열 분석을 수행하였다. 데이터는 세종시 통계 자료 및 주민등록 인구 통계에서 확보하였으며, 이를 바탕으로 ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average) 모델을 활용하여 2025년부터 2027년까지의 인구수를 예측하였다.

ARIMA 모델은 시계열 데이터를 분석하고 예측하는 데 사용되는 통계적 기법으로, 계절성이 없거나 상대적으로 약한 경우에도, 적절한 차분과 이동 평균을 적용하여 추세나 변동을 효과적으로 반영할 수 있다. 인구수 데이터는 경제·사회적 요인(출산율, 정책 지원, 전입·전출 등)에 의해 영향을 받지만, 장기적 추세가 뚜렷하고 계절성은 크지 않으므로, ARIMA 모델이 이를 효율적으로 모형화할 수 있다고 판단하였다. ARIMA 모델은 다음 세 가지 주요 요소로 구성된다.

- 자기회귀(AutoRegressive, AR): 과거의 데이터 값을 활용하여 현재 값을 예측
- 차분(Integrated, I): 시계열 데이터가 정상성을 갖도록 변환하는 과정
- 이동 평균(Moving Average, MA): 예측 오차의 과거 값을 활용하여 현재 값을 보정

ARIMA 모델의 성능은 자기회귀(p), 차분(d), 이동 평균(q) 값에 따라 크게 좌우되므로, 다양한 조합으로 모델의 적합성을 검증했다. 이를 위해 AIC(Akaike Information Criterion)와 RMSE(Root Mean Squared Error)를 성능 지표로 활용하여 모델을 평가하였다. AIC는 모델의 복잡성을 측정하는 척도로 값이 낮을수록 모델의 성능이 우수함을 나타낸다. RMSE는 예측값과 실제값 간의 평균적인 오차를 나타내어 값이 낮을수록 예측 정확도가 높음을 의미한다.

우선, 2017년부터 2021년까지의 데이터를 활용하여 2022년, 2023년, 2024년의 인구수를 예측하였으며, 다양한 p, d, q 조합을 적용한 후, AIC와 RMSE 값을 비교하여 최적의 ARIMA 모델을 결정하였다. 조합 48개에 대하여 실험을 진행했으며, <Table 5>는 상위 5개의 예측 결과에 대한 성능 비교 결과를 나타낸 표이다. 예측 결과, AIC와 RMSE 값이 가장 낮은

ARIMA(2, 2, 1) 모델이 최적의 모델로 선정되었다.

Table 5. Performance Evaluation of ARIMA Models for 2022-2024 Population Predictions

p	d	q	AIC	RMSE
2	2	1	51.31	715.86
2	2	2	52.79	781.97
3	2	1	56.97	1,286.65
3	2	2	58.09	1,643.99
2	2	0	54.14	2,133.92

이를 활용하여 2017년부터 2024년까지의 데이터를 기반으로 2025년부터 2027년까지의 어린이 인구수를 예측하였다. <Figure 4>와 <Table 6>은 2020년부터 2024년까지의 실제 데이터와 2025년부터 2027년까지의 예측 결과를 나타낸다. 예측 결과, 세종시의 0~7세 어린이 인구수는 2025년 29,398명, 2026년 29,502명, 2027년 29,743명으로 산출되었다. 이를 기반으로, 향후 3개년(2025~2027년) 국공립 어린이집 확충 예산을 추정하였다.

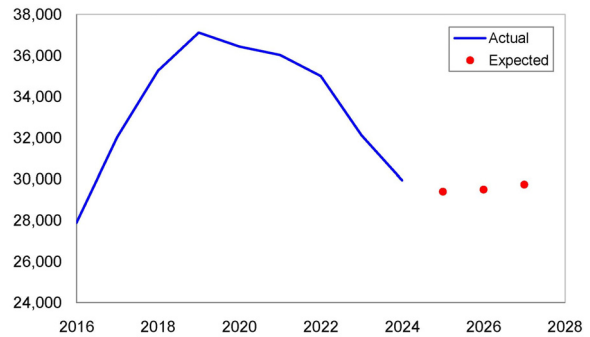


Figure 4. Number of Children by Year

세종시에서 발표한 2024년 국공립 어린이집 확충 비용(11억 원)을 기준으로, 향후 3개년(2025년~2027년) 동안 각 연도의 0~7세 인구 비율을 반영하여 예산을 산출하였다. <Table 7>은 이에 관한 결과를 정리한 표이다. 결과적으로, 국공립 어린이집 확충 예산은 2025년 38.5억 원, 2026년 38.6억 원, 2027년 38.9억 원으로 산정되었다. 본 예측의 결과는 세종시 보육 정책 및 예산 수립의 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 3개년(2025~2027년)의 국공립 어린이집 확충 계획을 수립하는 데 적용 가능하다.

Table 6. Results of Forecasting Number of Children Aged 0 to 7 in Sejong City

[unit: persons]

Year	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Population aged 0-7 in Sejong City	36,281	35,964	35,174	32,563	30,228	29,398	29,502	29,743

Table 7. Annual Parental Benefit Grant Budget

	2024	2025	2026	2027
Demand (persons)	30,228	29,398	29,502	29,743
Ratio (%)	-	33.16	33.28	33.55
Parental benefit subsidy by year (100 million KRW)	-	38.5	38.6	38.9

3.2 국공립 어린이집 확충 모델

(1) Problem Description

본 연구에서는 국공립 어린이집 확충을 위한 최적 입지 선정 모델을 제안한다. 한정된 자원을 효율적으로 활용하여 보육 서비스의 접근성을 극대화하고, 예산 제약 내에서 실질적인 보육 수요를 충족할 수 있도록 하는 것이 연구의 목표이다. 이를 위해 혼합 정수 선형 계획법을 활용하여 최적 입지를 결정하는 모델을 설계한다.

본 연구에서는 국공립 어린이집을 설치할 수 있는 후보지 집합과 보육 서비스 수요지 집합을 정의하였다. 국공립 어린이집을 설치할 후보지의 집합은 I 로 나타내며, 500세대 미만 공동주택(A), 국공립 초등학교(E), 철도역(R), 민간/가정 어린이집(K)을 포함한다. 수요지의 집합은 J 로 정의하며, 500세대 미만 공동주택으로 설정하였다.

어린이집 입지 선정에서 고려해야 할 주요 요소는 어린이 수요, 접근성, 설치 비용 및 예산 제약이다. 보육 수요는 대상 지역에 거주하는 0~7세 아동의 인구수를 d_j 로 나타낸다. 접근성은 후보지 i 와 수요지 j 간 실제 거리 t_{ij} 를 사용하여 평가되며 특히, 일정 거리 R 이내에 위치한 어린이집만 수요지의 보육 수요를 충족할 수 있도록 설정하였다. 또한, 설치 비용은 어린이집을 신설하는 데 필요한 비용으로, 각 후보지 i 의 면적당 설치 비용 f_i 와 부지 면적 L_i 를 고려하여 총 설치 비용 $cost_i$ 를 산출했다. 이때, 모든 후보지에서 어린이집을 설치할 수 있는 것은 아니므로, 예산 내에서 설치 가능한 후보지를 선택하는 것이 중요하다. 따라서, 연구에서는 예산 제약을 고려하여 총 예산 한도 내에서 어린이집을 설치할 수 있도록 하며, 부모급여 지원금과의 관계도 반영한다. 이를 위해 국공립 어린이집 확충 지원 예산을 TC 로 정의하고, 부모급여 지원금 증가액을 PB 로 설정하며, PB 의 비율을 β 로 고려한다.

후보지의 최대 수용 가능 인원 C_i 는 각 후보지 i 에서 수용할 수 있는 최대 아동 수를 의미한다. 이는 어린이집 설치 기준 법령에 따라 1인당 최소 면적인 4.29m²를 적용하여 후보지의 면적 및 수용 가능 인원을 계산했다.

의사결정 변수는 다음과 같다. x_{ij} 는 수요지 j 의 어린이 중 후보지 i 에 배정된 어린이 수를 나타내며, 이는 어린이집의 수용 능력과 수요지와의 거리 제약을 고려하여 결정된다. 변수 y_i 는 후보지 i 에 어린이집이 설치되었는지를 나타내는 이진

변수로, 값이 1이면 해당 후보지에 어린이집이 설치되고, 0이면 설치되지 않는 것을 의미한다.

<Table 8>부터 <Table 10>은 본 연구에서 제안하는 수리 모델에 사용한 sets, indices, parameters, decision variables을 나타낸다. 본 연구에서는 두 가지 모델을 비교하여 국공립 어린이집 확충 전략을 도출한다. 첫 번째 모델은 가중치 합을 활용한 단일 목적 함수 기반의 모델로, 어린이 수요 충족 최대화와 이동 거리 최소화를 한 번에 해결하여 최적해를 도출한다. 하지만 두 목적을 한 번에 고려하여 최적해를 찾기 때문에, 현실적인 의사결정 과정과 정책적 우선순위를 반영하는 데 한계가 있을 수 있다.

반면, 두 번째 모델은 두 단계에 걸쳐 최적화를 수행하는 방식으로, 첫 번째 단계에서는 어린이 수요를 최대한 충족하는 어린이집 배치를 결정하고, 두 번째 단계에서는 배치된 어린이집과 수요지 간의 거리를 최소화하여 접근성을 개선한다. 두 단계 모델은 보다 현실적인 의사결정을 지원할 수 있도록 설계되어 있으며, 예산과 수요를 균형 있게 고려할 수 있다는 장점이 있다.

(2) 목적함수 및 제약조건 국공립 어린이집 확충 기본 모델

먼저, 국공립 어린이집 확충을 위한 기본 모델을 제안한다. 기본 모델은 어린이 수요 충족과 이동 거리 최소화를 동시에 고려하며, 두 요소의 중요도를 반영한 가중합 형태의 목적함수를 설정했다. 이를 통해 충족되는 어린이 수를 극대화하는 동시에, 후보지와 수요지 간 이동 거리를 최소화하는 것을 목표로 한다.

$$\text{Max } w_1 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} - w_2 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

$$\text{s.t. } x_{ij} \leq d_j \alpha_{ij}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \alpha_{ij} \leq d_j, \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \alpha_{ij} \leq C_i y_i, \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} cost_i y_i \leq TC + (PB \cdot \beta) \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq d_j y_i, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$x_{ij} \in Z^+, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (11)$$

목적함수 (4)는 어린이 수용 인원을 최대화하는 동시에, 수요지와 후보지 간의 거리를 최소화한다. 가중치에 따라 수요 충족과 이동 거리 최소화 간의 균형을 조절하기 위해 w_1 은 후보지 i 와 수요지 j 간의 평균 거리로 설정했고, w_2 는 1로 설정했다.

$$w_1 = \frac{1}{|I| \times |J|} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} \quad (12)$$

$$w_2 = 1$$

Table 8. Sets and Indices

Sets & Indices	
i	Candidate site for the establishment of a national and public daycare center
I	Set of all candidate sites, $\{1, 2, \dots, I \} = A \cup K \cup R \cup E$
j	Demand area (residential area for population aged 0 to 7)
J	Set of demand areas
A	Subset of candidate sites: Apartments with less than 500 households
K	Subset of candidate sites: Private/home daycare center
R	Subset of candidate sites: Train station
E	Subset of candidate sites: National and public elementary school

Table 9. Parameters

Parameters	
t_i	Type of candidate site $i, t_i \in \{a, k, r, e\}$
	a : Apartment with less than 500 households
	k : Private/home daycare center
	r : Train station
	e : National and public elementary school
d_j	Number of population aged 0 to 7 in demand area j (number of people)
C_i	Maximum capacity of candidate site i (number of people)
R	Maximum allowable linear distance between candidate i and demand areas j (km)
D	Purpose-based value obtained by solving the demand-maximizing model
t_{ij}	Straight line distance between candidate i and demand sites j (km)
α_{ij}	equal to 1 if $t_{ij} \leq R$, otherwise 0
L_i	Area of the candidate site i (m ²)
f_i	Installation cost per area of candidate site i (KRW)
cost_i	Cost of installing daycare center in candidate site i ($= L_i \times f_i$) (KRW)
TC	Parental benefit support budget increase not included (KRW)
PB	Parent benefit support budget increase (KRW)
β	Percentage of the amount of money taken from parental benefits

Table 10. Decision Variables

Decision variables	
x_{ij}	Number of children in the demand area j allocated to the candidate site i
y_i	Equal to 1 if a candidate site i is installed, otherwise 0

제약식 (5)는 수요 할당이 수요 제한 및 거리 제한 내에서 이루어짐을 나타낸다. α_{ij} 는 후보지와 수요지 간의 거리가 R 이 내에 있으면 1, 그 외에는 0이다. R 은 후보지와 수요지 간 허용 가능한 최대 직선거리이며, 실제 데이터에 따라 달라진다. 제약식 (6)은 수요지의 총 수요량을 초과하지 않도록 보장한다. 제약식 (7)은 후보지의 최대 수용 인원을 초과하지 않도록 제한하며, 최대 수용 인원은 후보지의 면적을 기준으로 산출했다. 제약식 (8)은 총 어린이집 설치 비용이 예산 한도 내에서 사용되어야 함을 나타낸다. 예산은 기존 국공립 어린이집 확충 비용과 부모급여 지원 예산 증가액을 합산하여 설정했다. 제약식 (9)는 후보지가 설치된 경우에만 해당 후보지에 수요

지의 어린이를 할당할 수 있음을 의미한다. 제약식 (10)은 후보지 i 에 할당되는 수요지 j 의 어린이 수는 자연수임을 나타낸다. 제약식 (11)은 후보지 i 의 설치 여부를 나타내는 변수가 이진 변수임을 나타낸다.

(3) 국공립 어린이집 확충 두 단계 모델

기본 모델은 수요 최대화와 거리 최소화 문제를 한 번에 해결하는 접근 방식이다. 그러나 기본 모델은 몇 가지 한계점을 내포한다. 첫째, 두 목적을 동시에 만족하기 위해 가중치 조정이 필수적인데, 이 과정에서 적절한 가중치를 설정하는 것이 어렵다. 가중치가 한쪽으로 치우칠 경우, 특정 목적이 과도하

게 반영될 위험이 있다. 둘째, 모델이 상충되는 목적 간의 균형을 유지하기 어려워 실제 문제 상황을 충분히 반영하지 못할 가능성이 있다. 마지막으로, 문제의 규모가 커질수록 복잡성이 증가하여 모델이 수렴하지 않거나 실행 가능성이 저하되는 문제가 발생할 수 있다.

이러한 한계를 해결하기 위해 본 연구에서는 두 단계 모델을 제안한다. 두 단계로 문제를 분리하여 먼저 수요를 최대한 충족한 후, 이후에 수요지와 후보지 간의 도보 거리를 최소화하는 방식으로 접근한다. 단계별로 문제를 해결하여 연산 부담을 줄이고, 대규모 문제에서도 보다 현실적인 적용이 가능하도록 한다. 이러한 두 단계 모델링 방법론은 기존 기본 모델의 한계를 보완하며, 실제 문제 상황에서 보다 효율적인 해법을 제공할 수 있다.

먼저 수요량 최대화를 위한 모델은 아래와 같다.

$$Max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \tag{13}$$

$$s.t. (5)\sim(11)$$

수요량 최대화 모델을 통해 얻은 목적식 값을 D 라고 정의하며, 이는 $D = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij}^*$ 로 표현된다. 두 번째 단계에서는 이상의 수요를 충족하도록 하는 제약식 (15)를 추가하여, 실제 도보 거리를 최소화하는 거리 최소화 모델에서 수요지와 후보지를 제할당한다. 이렇게 얻은 최종 솔루션은 각 수요지가 가장 적절한 후보지와 매칭되도록 최적화된 결과를 제공하며, 이를 통해 수요 충족을 극대화하면서도 이동 거리를 최소화할 수 있다.

$$Max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \tag{14}$$

$$s.t. (5)\sim(11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \geq D \tag{15}$$

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 결과

본 연구에서는 국공립 어린이집 확충을 위한 기본 모델과 두 단계 모델을 비교 분석하였다. 실험은 Intel(R) Core(TM) i5-14600KF 3.50 GHz CPU, RAM 32.0GB 환경에서 수행되었으며, MILP 솔버로는 IBM DOCPLEX를 활용하였다.

세종시의 국공립 어린이집 확충을 위한 총 지원 가능 예산은 최대 200.48억 원으로 산정되었다. 이는 2024년 세종시의 국공립 어린이집 확충 예산 11억 원, CAGR 기반으로 예측한 2025~2027년 기본 확충 예산 23.48억 원, 확충 예산에 활용할 수 있는 부모급여 지원금 증가액(PB) 166억 원의 합이다.

부모급여 지원금 증가액(PB)은 다음과 같은 방식으로 추정하였다. 2024년 전국 부모급여 지원금 증가액(PB)은 약 1조 2,673억 원이며, 세종시의 0~7세 인구는 전국 대비 약 1.3%를 차지한다. 해당 인구 비율에 비례하게 배분할 경우, 세종시의 부모급여 지원금 증가액(PB)은 약 166억 원으로 추정된다. 국공립 어린이집 확충 예산으로 세종시의 부모급여 지원금 증가액(PB)의 전체 예산을 활용하는 것은 비현실적이다. 따라서 부모급여 지원금 증가액(PB)에서 가져올 비율(β)을 활용하여 효율적인 예산과 이에 따른 확충 방안을 제안하고자 한다.

<Table 11>과 <Table 12>는 두 모델을 실행한 결과를 나타낸다. 실험에서는 효율적인 예산 산정을 위해 부모급여 지원금 증가액(PB)에서 가져올 비율(β)을 0부터 1까지 0.1 간격으로 분석했다. 각 β 값에 대해 충족된 수요량, 최소화된 거리 합, 설치 후보지 개수, 설치 비용 그리고 어린이 1명당 평균 거리를 산출하여 두 가지 모델을 비교했다.

모델 실행을 위한 핵심 변수 중 하나인 허용 최대 실제 거리 R 은 실제 데이터에 따라 달라지며, 이를 설정하기 위해 먼저 각 수요지에서 가장 가까운 후보지까지의 거리를 계산하였다. 이 최단 거리들 중 최댓값을 τ 로 정의한다.

Table 11. Experimental Results of Basic Model with $R = 7,500$

β	Maximum demand value (The number of people)	The sum of Distance (km)	Average distance per child (m)	Number of candidate sites for installation	Installation cost (100 million KRW)	Elapsed_time (seconds)
0	1,105	1,847.75	1672.17	5	11.00	0.95
0.1	2,430	4,652.60	1914.65	14	27.20	0.21
0.2	3,255	6,367.63	1956.26	25	44.20	0.27
0.3	3,782	6,954.74	1838.91	40	60.75	0.39
0.4	3,786	4,785.97	1264.12	52	77.36	0.52
0.5	3,821	3,810.99	997.38	63	93.98	2.12
0.6	3,821	3,167.20	828.89	73	110.52	3.79
0.7	3,821	2,794.10	731.25	81	127.18	1.40
0.8	3,821	2,527.24	661.41	91	143.69	1.51
0.9	3,821	2,317.45	606.50	102	160.39	1.57
1	3,821	2,146.59	561.79	113	176.69	2.42

Table 12. Experimental Results of Two-stage Model with $R = 7,500$

β	Maximum demand value (The number of people)	The sum of Distance (km)	Average distance per child (m)	Number of candidate sites for installation	Installation cost (100 million KRW)	Elapsed_time (seconds)
0	1,167	3,215.73	2755.55	6	10.80	0.39
0.1	2,489	5,679.14	2281.70	13	27.40	0.32
0.2	3,292	7,013.11	2130.35	25	44.20	0.28
0.3	3,817	7,802.73	2044.21	39	60.80	0.68
0.4	3,832	5,558.82	1450.63	47	77.39	0.97
0.5	3,832	3,994.62	1042.44	61	93.97	0.70
0.6	3,832	3,264.04	851.78	70	110.60	3.63
0.7	3,832	2,871.03	749.22	82	127.20	3.05
0.8	3,832	2,578.81	672.97	95	143.71	2.88
0.9	3,832	2,365.08	617.19	106	160.22	4.10
1	3,832	2,194.32	572.63	116	176.96	2.83

$$\tau = \max_{j \in J} \left[\min_{i \in I} t_{ij} \right] \quad (16)$$

$R = 7500$ 으로 설정하면 모든 수요지가 최소한 하나의 후보 지로부터 반경 τ 이내에 위치하도록 보장할 수 있다. 만약 τ 보다 작은 값으로 설정할 경우, 모든 수요를 충족할 수 없게 된다. 이에 따라, 본 연구에서는 다양한 R 값을 적용하여 실험을 진행했으며, 최종적으로 $R = 7500$ 으로 설정하여 실험을 수행하였다.

수요 최대화 측면에서 보면, 기본 모델과 두 단계 모델 모두 β 가 증가함에 따라 충족할 수 있는 수요가 늘어난다. 두 단계 모델은 β 가 0.4 이후에 최대 수요(3,832명)를 충족하며, 기본 모델은 β 가 0.5 이후에 최대 수요(3,821명)를 달성한다. 이는 두 단계 모델이 적은 비용으로 더 많은 수요를 충족할 수 있음을 의미한다.

거리 최소화 측면에서는 두 모델 간의 최대 수요 충족량이 상이하서 직접적인 비교가 어려운 문제를 해결하기 위해, 두 단계 모델의 수요 충족량을 기본 모델과 동일하게 제한한 후 실험을 재수행하였다.

예를 들어, $\beta = 0.7$ 인 구간에서 기본 모델은 최대 3,821명의 수요를 충족하며 평균 이동 거리 731.25m를 기록한 반면, 두 단계 모델은 최대 3,832명의 수요를 충족하며 평균 이동 거리 749.22m로 나타났다. 그러나 수요 충족량을 동일한 3,821명 ($D = 3821$)으로 제한한 실험에서는, 두 단계 모델이 기본 모델(731.25m)보다 더 짧은 평균 이동 거리(722.47m)를 기록하는 것으로 확인되었다. 이는 두 단계 모델이 보다 효율적인 입지 선정 및 수요 충족을 수행했음을 의미하며, 단순히 더 많은 수요를 충족하는 것이 아니라, 같은 조건에서도 배분 최적화를 통해 이동 거리까지 줄일 수 있음을 보여준다.

이와 같은 경향은 β 의 다른 값에서도 유사하게 나타났으며, 두 단계 모델이 동일한 수요를 충족하는 조건에서 기본 모델보다 평균 이동 거리를 더욱 효과적으로 줄이는 결과를 보였다.

종합적으로, 두 단계 모델이 수요 충족과 거리 최소화라는

두 가지 목표를 보다 더 효과적으로 달성했다. 계산 시간 측면에서, 기본 모델은 $R = 7500$, $\beta = 0.7$ 인 경우 약 1.29초가 소요되는 반면, 두 단계 모델은 1단계에서 약 0.14초, 2단계에서 약 3.00초가 소요되어 총 3.14초가 걸렸다.

4.2 모델 비교

본 연구에서는 기본 모델과 본 논문에서 제안하는 두 단계 모델을 비교하여, 국공립 어린이집 확충 계획 수립에 적합한 모델을 선정한다. <Table 13>은 두 모델의 실험 결과를 비교하기 위한 표이며, 기본 모델의 수요량 결과와 두 단계 모델의 수요량 결과를 10개 구간으로 나누어 수요량 범위를 설정했다. 이를 기준으로 거리, 설치 후보지 개수, 설치 비용 그리고 어린이 1명당 평균 거리 등을 산출했다.

<Figure 5>는 기본 모델과 두 단계 모델의 비교 결과를 보여주며, 가로축은 수요량의 범위, 세로축은 어린이 1인당 평균 이동 거리를 의미한다.

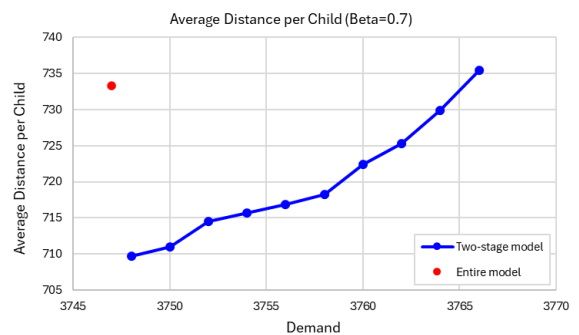


Figure 5. Pareto Graph with $R = 1,500$, $\beta = 0.7$

기본 모델과 비교했을 때, 두 단계 모델은 적은 비용으로 더 많은 수요를 충족할 수 있으며, 동시에 이동 거리도 최소화할 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 두 단계 모델의 성능

Table 13. Comparison of the Basic and Two-stage Model Across Demand Range ($R = 1,500$, $\beta = 0.7$)

Demand range	Maximum demand value (The number of people)	The sum of Distance (km)	Average distance per child (m)	Installation cost (100 million KRW)	Number of candidate sites for installation
3747	3,747	2,655.64	708.74	127.17	84
3748.9	3,748	2,659.89	709.68	127.17	83
3750.8	3,750	2,666.35	711.03	127.15	85
3752.7	3,752	2,680.69	714.47	127.20	84
3754.6	3,754	2,686.48	715.63	127.20	85
3756.5	3,756	2,692.69	716.90	127.20	86
3758.4	3,758	2,699.10	718.22	127.19	85
3760.3	3,760	2,716.14	722.38	127.14	85
3762.2	3,762	2,728.56	725.29	127.14	84
3764.1	3,764	2,747.14	729.84	127.17	85
3766	3,766	2,769.49	735.39	127.16	85

Table 14. Experimental Results of Two-stage Model with $R = 1,500$

β	Maximum demand value (The number of people)	The sum of Distance (km)	Average distance per child (m)	Number of candidate sites for installation	Installation cost (100 million KRW)
0	980	793.97	810.17	5	11.00
0.1	1,734	1,365.22	787.32	13	27.50
0.2	2,150	1,687.06	784.68	22	44.20
0.3	2,506	2,020.47	806.25	32	60.55
0.4	2,828	2,264.79	800.84	42	77.25
0.5	3,095	2,623.13	847.54	55	93.97
0.6	3,309	2,973.48	898.60	68	110.45
0.7	3,371	2,821.80	837.08	79	127.10
0.8	3,371	2,739.98	812.80	93	143.77
0.9	3,371	2,733.54	810.90	98	150.57
1	3,371	2,733.54	810.90	98	150.57

Table 15. Experimental Results of Two-stage Model with $R = 1,500$

Year	2024	2025	2026	2027
Demand (persons)	30,228	29,398	29,502	29,743
Ratio (%)	-	33.16	33.28	33.55
Parental benefit subsidy by year (100 million KRW)	-	38.5	38.6	38.9
National and public daycare center expansion forecast subsidy (100 million KRW)	11	9.23	7.75	6.50
Total budget (100 million KRW)	11	47.73	46.35	45.40

이 더 우수함을 입증하였다. <Appendix>에 첨부된 추가 분석에서도 두 단계 모델이 기본 모델보다 더 나은 결과를 보여, 결국 두 단계 모델이 지배적인 선택지로 판단되었다.

두 단계 모델을 활용하면, β 값에 따라 다양한 파레토 최적 솔루션을 도출할 수 있으며, 이를 통해 수요 충족률과 이동 거

리 간의 상충 관계를 효과적으로 조정할 수 있으며, 본 논문에서 제안하는 파레토 솔루션을 활용하여 의사결정자의 고려 우선순위에 따라 균형 잡힌 솔루션을 도출할 수 있다. 이에 따라 국공립 어린이집 확충 계획은 두 단계 모델을 사용하여 수립한다. 정책결정자들의 상황에 따라 고려 우선순위가 달라질

수 있지만, 본 연구에서는 수요 충족량 최대화가 우선이기 때문에 이를 고려해 계획을 수립한다. 본 논문에서는 3개년의 계획을 수립하기 위해서, R 값과 β 를 결정해야 한다.

(1) R 결정

본 연구에서는 수요지와 후보지의 간의 할당 가능 최대 거리를 R 값으로 설정하며 어린이집을 배치한다. $R=7,500$ 으로 설정하면 모든 수요를 충족할 수 있지만, 도보 통학을 고려할 때 7.5km는 현실적으로 적절하지 않다. 따라서 어린이집과 수요지의 최대 거리를 적절하게 설정하는 것이 중요하다.

<Figure 6>의 그래프에서 가로축은 R 값, 세로축은 충족하는 수요량을 나타낸다. R 값이 증가함에 따라 충족 수요량도 증가하지만, R 값이 1,500를 초과하면 증가율이 둔화된다. 즉, 1,500m까지는 수요 충족량이 비교적 큰 폭으로 증가하지만, 이후에는 추가 증가 효과가 제한적이다. 따라서 비효율적인 확충 계획을 방지하고 최적의 어린이집 배치를 설계하기 위해 $R=1,500$ 을 기준으로 설정한다. 즉, 수요지와 후보지 간의 최대 거리를 1,500m로 설정하고, 이를 바탕으로 향후 3개년 확충 계획을 수립한다.

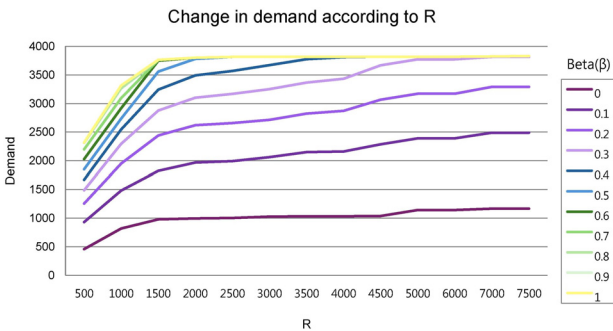


Figure 6. Graph of Demand Satisfaction According to R

(2) β 결정

부모급여 지원금 증가액의 일정 비율(β)을 국공립 어린이집 확충 예산으로 활용할 경우, β 값에 따라 사용할 수 있는 예산 규모가 달라진다.

본 연구에서는 아이들의 도보 이동 시간을 고려하여 β 값을 설정하였다. 1km 이동 시 도보 15~20분, 500m에 7~10분으로 예상할 수 있다. 최대 20분 이내로 설정하기 위해 1km를 기준으로 β 를 설정했다.

<Table 14>는 $R=1,500$ 일 때 β 에 따른 두 단계 모델의 결과를 나타낸 표이다. β 가 0.7일 때 충족하는 수요량은 3,371명으로, $R=1,500$ 내에서 수요를 최대로 충족한다. 이때의 1인당 평균 거리는 약 837m로, 1km 이내에 해당한다. 따라서, 수요 충족률을 극대화하면서 이동 거리를 1km 이내로 최소화하는 값인 $\beta=0.7$ 을 기준으로 국공립 어린이집 확충 계획을 수립했다. 이에 따라, 부모급여 지원금 증가액의 70%를 국공립 어린이집 확충 예산으로 활용하는 계획을 수립한다. 이는 127억 원

이며, 세종시 국공립 어린이집 확충 예산(CAGR 기반 예측치)과는 별개로, 부모급여 증가액을 활용해 산정된 금액이다.

(3) 예산 산정

앞서 4.1절에서 언급한 바와 같이, 국공립 어린이집 확충 예산은 2024년 국공립 어린이집 확충 예산 11억 원, 매년 별도로 편성되는 세종시 국공립 어린이집 확충 예산(CAGR 기반 예측치) 23.48억 원, 확충 예산에 활용할 수 있는 부모급여 지원금 증가액 127억 원의 합으로 총 150.48억 원을 산정하였다.

따라서 총 예산 150.48억 원을 사용해 2027년까지 국공립 어린이집 79개소 확충 계획을 수립하고자 한다. 2024년에는 이미 세종시가 발표한 국공립 어린이집 확충 예산 11억 원을 사용하며, 2025년부터 2027년까지의 3개년 예산은 CAGR로 산정한 예측 확충 예산 23.48억 원을 각 연도에 반영하고, 부모급여 지원금 증가액의 70%에 해당하는 127억 원은 3.1.5절에서 예측한 연도별 수요에 따라 배분하여 산정하였다. <Table 15>는 이와 같은 예산 배분 계획을 연도별로 정리한 것이다.

이 과정에서 2025~2027년의 총예산은 2024년 대비 4배 수준으로 책정되었으며, 단기적으로 상당한 재원이 필요할 것으로 예상된다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방법론을 10년, 20년 등 장기적 시나리오에 대해 적용하면, 보다 현실적인 예산으로 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

4.3 연도별 확충 계획

본 연구에서는 산정된 예산에 따라 2024년부터 2027년까지 연도별 실험을 수행하였으며, 카카오 API를 활용하여 세종시 지도에 시각화하였다. 이를 통해 의사결정자들은 후보지의 유형, 설치 비용, 수용 인원 등을 직관적으로 파악할 수 있으며, 연도별 확충 계획 수립에 필요한 정보를 효과적으로 확인할 수 있다.

<Figure 7>은 연도별로 선정된 후보지와 수요지를 지도 상에 시각화한 웹페이지를 나타낸다. 후보지는 유형별로 서로 다른 색상으로 표시되며, 다음과 같이 표시된다. 빨간색 점은 국공립 초등학교, 초록색 점은 철도역, 분홍색 점은 민간/가정 어린이집, 주황색 점은 500가구 미만 공동주택을 의미한다. 이를 통해 의사결정자는 후보지의 특성과 배치 상황을 쉽게 파악할 수 있으며, 최적의 입지 선정 전략을 수립하는데 활용할 수 있다.

특히, 전년도에 설치된 후보지와 이에 따른 수요 충족량을 누적적으로 반영함으로써, 연도별 변화를 한눈에 확인할 수 있도록 하고, 신규 설치된 시설의 영향을 분석할 수 있도록 하였다. 이를 통해 정책 결정자는 장기적인 관점에서 최적의 입지 선정 전략을 수립할 수 있으며, 연도별 확충 계획을 바탕으로 지속적이고 체계적인 보육 인프라 구축 방안을 마련하는 데 활용할 수 있다. 본 연구에서 제시하는 웹 기반 의사결정 시스템은 국공립 어린이집 입지 선정 과정에서 수요지와 후보지

간의 관계를 시각적으로 분석할 수 있도록 지원한다.

<Figure 8>은 카카오 API를 이용하여 선정된 후보지와 할당된 수요지 간의 관계를 시각적으로 분석하는 시스템을 나타낸다. 후보지와 수요지 간의 거리를 시각적으로 제공함으로써, 정책 결정자들이 보다 합리적인 입지 결정을 내릴 수 있도록 한다. 이는 실시간 데이터 시각화 및 정보 제공 기능을 통해 효과적인 정책 결정을 위한 의사결정 지원 시스템으로 활용 가능하다.

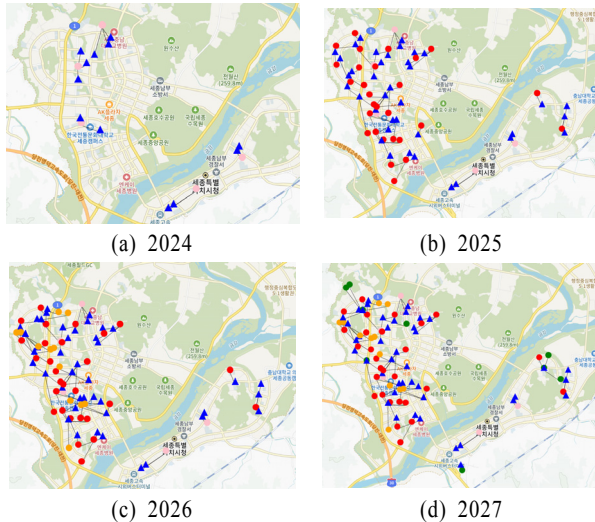


Figure 7. Selected Candidate Sites and Demand Sites



Figure 8. Web-based Decision Support System

특히, 본 웹 기반 의사결정 시스템은 국공립 어린이집뿐만 아니라 다양한 공공시설의 입지 선정 문제에도 확장하여 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 공공시설 배치 문제를 해결하기 위한 정책 의사결정 도구로 활용될 가능성이 높다.

5. 결론

본 논문에서는 국공립 어린이집 확충을 위한 최적 입지 선정 모델을 제안하고, 이를 통해 보육접근성을 개선하는 방안을 모색하였다. 이를 위해 기본 모델과 두 단계 모델을 구축하여 비교 분석하였다. 두 모델 모두 수요 충족과 접근성 개선을 목표로 하지만, 접근 방식과 효율성에서 차이를 보였다. 기본 모

델은 수요 충족과 이동 거리 최소화를 동시에 고려하여 단일 최적화 모델로 해를 도출하며, 한 번의 계산을 통해 최적해를 찾는다. 반면, 두 단계 모델은 수요 충족률을 우선적으로 최대화한 후, 이동 거리 최소화를 순차적으로 해결하는 방식으로 설계했다.

실험 결과, 두 단계 모델은 기본 모델보다 예산을 더욱 효율적으로 활용하면서도 수요 충족률을 극대화하는 것으로 나타났다. 즉, 적은 예산으로도 더 많은 수요를 효과적으로 최대화하면서, 보육 수요가 높은 지역에 우선적으로 어린이집을 할 수 있음을 보였다. 이를 통해 더 많은 0~7세의 어린이들이 국공립 어린이집을 이용할 수 있는 환경이 조성될 것으로 기대된다. 또한, 이동 거리를 최소화하여 보육 서비스 접근성을 향상시켰으며, 1km 이내(도보 약 20분 이내)에 어린이집에 도달할 수 있도록 배치 계획을 수립하였다. 이는 보육 접근성을 개선할 뿐만 아니라, 학부모들의 만족도를 높이고, 정책적 의사결정에서도 효율적인 예산 활용과 사회적 혜택을 극대화할 수 있게 한다.

추가적으로, 두 단계 모델로 거리 기준을 조정함으로써 다양한 정책적 요구에 따라 최적의 국공립 어린이집 배치 계획을 수립할 수 있는 유연한 의사결정 지원 도구로 활용 가능하다. 결론적으로, 본 연구에서 제안한 국공립 어린이집 최적 입지 선정 모델은 저출산 문제 해결을 위한 정부의 정책적 노력에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 ARIMA 모델을 활용하여 0~7세 인구 수요를 예측하였다. 향후 연구에서는 머신러닝 기반 예측 기법을 도입하여 보다 정교한 연도별 수요 변화를 분석한다면, 더욱 유연하고 정확한 어린이집 확충 계획 수립이 가능할 것이다. 또한, 본 연구는 세종시를 대상으로 국공립 어린이집의 최적 입지를 도출하였으나, 제안한 수리모델은 전국적으로 확장 적용이 가능한 접근법이다. 다만, 데이터의 규모가 커질 경우 MILP는 계산 시간 증가 및 최적해 도출에 있어 실용적 한계를 가질 수 있다. 이에 따라 향후 연구에서는 문제의 확장성과 계산 효율성을 고려하여, 다양한 규모의 데이터를 빠르게 처리할 수 있는 휴리스틱 또는 메타 휴리스틱 기반의 알고리즘을 개발할 계획이다. 아울러, 본 연구의 수리모델과 이들 기법 간의 성능 비교를 통해 모델의 실효성을 검증하고, 실제 정책 수립에서의 활용 가능성을 높이고자 한다. 이를 통해, 국공립 어린이집 확충 정책의 효율성을 높이고, 지속 가능한 보육 지원 정책 마련에 기여할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

Wang, W., Cui, Y., Luo, Y., Li, Z., and Tan, J. (2019), Web-based decision support system for canal irrigation management, *Computers and Electronics in Agriculture*, **161**, 312-321.
 An, Y., Zeng, B., Zhang, Y., and Zhao, L. (2014), Reliable p-median facility location problem: Two-stage robust models and algorithms,

- Transportation Research Part B: Methodological*, **64**, 54-72.
- Bayram, I. S. and Bayhan, S. (2020, July), Location analysis of electric vehicle charging stations for maximum capacity and coverage, In *2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 1, 409-414.
- Chauhan, D., Unnikrishnan, A., and Figliozzi, M. (2019), Maximum coverage capacitated facility location problem with range constrained drones, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **99**, 1-18.
- Child Allowance Act (Article 4, Paragraph 5) (2024), *Child Allowance Act. Ministry of Health and Welfare*, Seoul, Last amended on October 30, 2024. <https://www.law.go.kr/EB%B2%95%EB%A0%B9%EC%95%84%EB%8F%99%EC%88%98%EB%8B%B9%EB%B2%95>.
- Dantrakul, S., Likasiri, C., and Pongvuthithum, R. (2014), Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems, *Expert Systems with Applications*, **41**(8), 3596-3604.
- Engau, A. and Sigler, D. (2020), Pareto solutions in multicriteria optimization under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **281**(2), 357-368.
- Hashim, N. M., Shariff, S., and Deni, S. M. (2016), Application of P-Median Model for Evacuation Process during Flood Disaster, *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*, **6**(1), 198-203.
- Karatas, M. and Dasci, A. (2020), A two-level facility location and sizing problem for maximal coverage, *Computers & Industrial Engineering*, **139**, 106204.
- Kim, H., Eom, M., and Kim, B. I. (2020), Development of strategic hydrogen refueling station deployment plan for Korea, *International Journal of Hydrogen Energy*, **45**(38), 19900-19911.
- Kim, H., Kim, B. I., and Thiel, D. (2021), Exact algorithms for incremental deployment of hydrogen refuelling stations, *International Journal of Hydrogen Energy*, **46**(56), 28760-28774.
- Kim, Y. C. (2021), Selection and Evaluation Method for GIS·AI based Public Daycare Centers Installation, *The Graphical Journal of Korea*, **55**(3), 291-300.
- Korea Women's Policy Institute (2024), Fertility rate and total fertility rate (by administrative region). https://gsis.kwdi.re.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=338&tblId=DT_1AD0610R.
- Korea Women's Policy Institute (2024), Status of daycare centers by establishment (by administrative district (city, county, district)). https://gsis.kwdi.re.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=338&tblId=DT_2CA0211R.
- Lee, S. and Kim, Y. (2022), Exploring the Opening Process of New Entrusted Public Daycare Centers: Focusing on Sejong City, *Korean Journal of Childcare and Education*, **18**(2), 125-144.
- Lee, S., Kim, H., Kim, B. I., Song, M., Lee, D., and Ryu, H. (2024), Site and capacity selection for on-site production facilities in a nationwide hydrogen supply chain deployment plan, *International Journal of Hydrogen Energy*, **50**, 968-987.
- Ministry of Health and Welfare (2018), *2018 National Childcare Survey - Childcare Center Survey Report*, Ministry of Health and Welfare, Seoul, 213. https://www.mohw.go.kr/synap/doc.html?fn=1563191250303_20190715204731.pdf&rs=/upload/result/202502/.
- Ministry of Health and Welfare (2022), 2020 National and Public Daycare Center Expansion Plan, Page 15. <https://www.gangseo.seoul.kr/comm/getFile?srvcId=BBSTY1&upperNo=229811&fileTy=ATTACH&fileNo=EnyACHH4c2LYN11ejd4zEA%3D%3D>.
- Ministry of Health and Welfare (2022), Selection criteria for long-term lease of national and public daycare centers. <https://www.mohw.go.kr/synap/doc.html?fn=202405291402177691.pdf&rs=/upload/result/202502/>.
- Ministry of Health and Welfare (2025), Parental benefit budget data. <https://www.index.go.kr/unity/potal/indicator/IndexInfo.do?clasCd=12&idxCd=H0019>.
- National Railroad Corporation (2022), National Railroad Corporation press release (Property Planning Office, expansion of railroad daycare centers). <https://www.kr.or.kr/boardCnts/view.do?boardID=52&page=27&boardSeq=1116249>.
- Public Data Portal (2025), Ministry of Public Administration and Security - Number of registered residents by region (administrative district) by gender and age. <https://www.data.go.kr/data/15097972/fileData.do>.
- Ryu, H., Lee, D., Shin, J., Song, M., Lee, S., Kim, H., and Kim, B. I. (2023), A Web-based decision support system (DSS) for hydrogen refueling station location and supply chain optimization, *International Journal of Hydrogen Energy*, **48**(93), 36223-36239.
- Sejong Special Self-Governing City (2024), 2024 Sejong Special Self-Governing City Gender Responsive Budget Plan, Page 83. <https://council.sejong.go.kr/bls/BillFileDownloadLoadProc.do?flSn=25771>.
- Seoul City Women and Family Policy Office (2019), 2019 National and Public Daycare Center Expansion Plan. <https://www.gangseo.seoul.kr/comm/getFile?srvcId=BBSTY1&upperNo=251040&fileTy=ATTACH&fileNo=tNdXwnU8ulR9%5E4LoTDS0w%3D%3D>.
- Statistics Korea (2024), Daycare center and user statistics, Nationally Approved Statistics No.15407. https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1583.
- Statistics Korea (2025), Population trend survey, Population Trends Survey in November 2024. <https://kostat.go.kr/synap/skin/doc.html?fn=f21b0bd06d93b1fa7b3b22d5624a0743c33078a46a79ae290096ee1e340634bf&rs=/synap/preview/board/204/>.
- Wang, N., Zhao, W. J., Wu, N., and Wu, D. (2017), Multi-objective optimization: A method for selecting the optimal solution from Pareto non-inferior solutions, *Expert Systems with Applications*, **74**, 96-104.
- Wang, W., Cui, Y., Luo, Y., Li, Z., and Tan, J. (2019), Web-based decision support system for canal irrigation management, *Computers and Electronics in Agriculture*, **161**, 312-321.

<Appendix>

<Figure A1>는 두 단계 모델과 기본 모델의 수요량 할당 범위를 10개 구간으로 나누어, β 값에 따른 파레토 최적 솔루션을 시각적으로 제시한다. β 값은 0부터 1까지 0.1 간격으로 설정하여 분석하였으며, 그래프에서 볼 수 있듯이 모든 β 값에서 두 단계 모델이 기본 모델보다 상대적으로 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

즉, 두 단계 모델에서 도출된 해가 기본 모델보다 수요 충족률과 이동 거리 최소화 측면에서 더 효과적임을 시각적으로 입증한다. 결론적으로, 두 단계 모델은 기본 모델보다 수요를 더 효과적으로 충족시키고, 이동 거리 최소화도 최소화하는 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

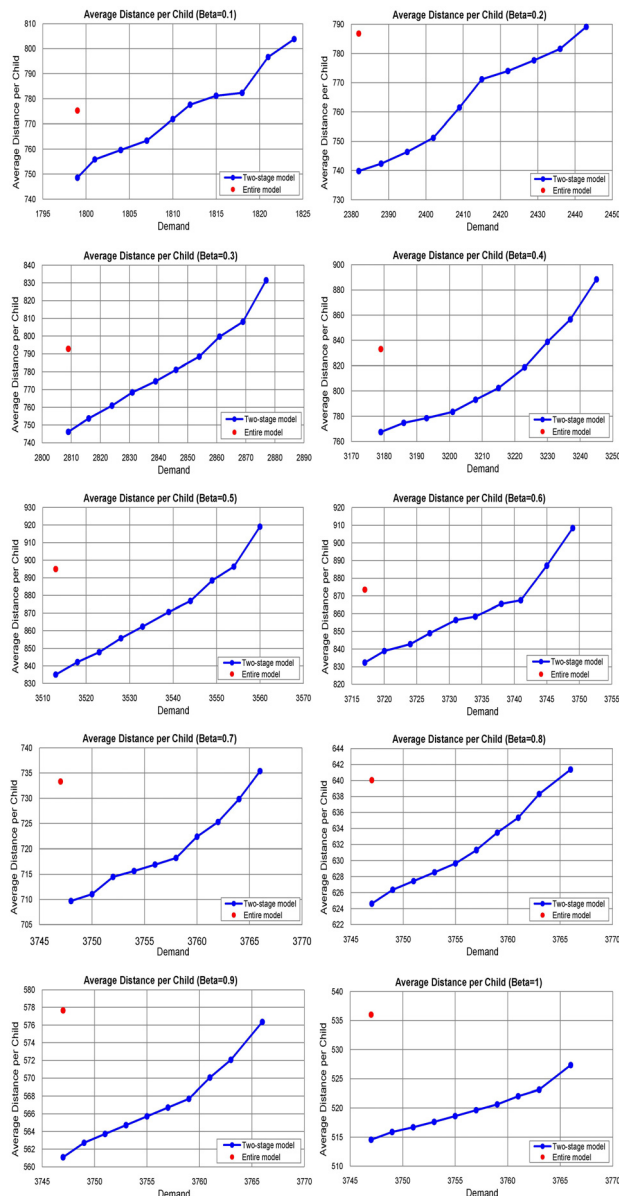


Figure A1. Pareto Optimal Solution Based on β

저자소개

김민서: 한양대학교 ERICA 산업경영공학과에서 학사 과정에 재학 중이다. 관심분야는 공급망 관리, 생산 관리, 품질관리이다.

김아영: 한양대학교 ERICA 산업경영공학과에서 학사 학위를 취득했으며, 현재 한양대학교 대학원 산업경영공학과 석사 과정에 재학 중이다. 관심분야는 스케줄링, 제조 최적화, 공급망 관리이다.

김현준: 포항공과대학교 수학과에서 2016년 학사, 산업경영공학과에서 2022년 박사 학위를 취득하였다. 삼성전자 DS부문 혁신센터에서 연구원으로 재직하였으며, 가천대학교 조교수를 역임하고 2023년 9월부터 한양대학교 ERICA 산업경영공학과 조교수로 재직하고 있다. 연구분야는 물류최적화 및 공급망 관리, 스케줄링, 최적화응용이다.