



적정서비스수준을 고려한 개발행위허가 모형 연구 : 제주도 공공하수처리시설 사례를 중심으로*

A Modeling of the LOS-based Development Permit Decision : The Case of Sewage Treatment Facilities in Jeju Island, South Korea

김성훈** · 최내영*** · 박성진****

Kim, Seonghun · Choei, Nae-Young · Park, Sungjin

Abstract

In 2002, the Development Permit Regulation was implemented nationwide in accordance with the enactment of the "National Territory Planning Act." It was widely expected that the so-called "Planning First, Then Development" principle would successfully prevent urban sprawl. However, the Development Permit Regulation failed to meet expectations, and the problems caused by uncontrolled development remain unresolved. Numerous amendments have been made with additional enactments, including Development Impact Fees (DIF) and other growth control measures, to address urban sprawl effectively; however, the amendments have failed to turn the tide. Jeju Island, one of Korea's most popular tourist destinations, has experienced rapid urbanization as the number of visitors and immigrants from the mainland has increased. Development permits have been issued in excess, despite the island sewage system's limited capacity. Overpopulation raised the likelihood of sewage overflow, which could pollute the coasts and seawater around Jeju Island. The purpose of this research is to develop a framework to estimate a sustainable number of development permits that can be used to keep the regional sewage system's level of service (LOS) under control. A time-series regression model is built for each of Jeju island's eight sewage facilities to estimate the amount of sewage that will need to be administered in the future. Then, a hypothesis test is conducted to determine the maximum sewage capacity and the maximum number of development permits that can be granted. This research framework will enable Korean local governments to develop an urban-growth management tool that will allow the maximum amount of new development to be decided based on the sustainable LOS of a regional sewage facility.

주제어 기반시설연동제, 공공하수처리시설, 개발행위허가, 제주도, 적정 공공시설 요구제

Keywords Infrastructure Rolling System, Sewage Treatment Plant, Development Permit, Jeju Island, APFR (Adequate Public Facility Requirements)

* 이 논문은 2019년 8월 김성훈(2019)의 홍익대학교 박사학위논문을 수정·보완하여 작성하였음.

** 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2018S1A5A8027809).

*** Visiting Professor, Department of Urban Design and Planning, Hongik University (First Author: monotaxism87@hongik.ac.kr)

**** Professor, Department of Urban Design and Planning, Hongik University (nychoei@hongik.ac.kr)

**** Associate Professor, Department of Urban Design and Planning, Hongik University (Corresponding Author: parks@hongik.ac.kr)

I. 서론

「국토계획법」의 주요 제정 목적은 「도시계획법」과 「국토이용관리법」을 통합 및 일원화하고 ‘선계획-후개발’ 원칙을 일반화하는 것이다. 이 법은 제정당시에 준농림지역과 준도시지역을 중심으로 빈발하였던 난개발에 대한 효과적인 대응수단이 될 것이라는 기대를 받았다(서순탁, 2000). 이를 위한 수단으로서 도시성장관리 개념이 적극 도입되었다. 이때 대표적 도시성장관리 정책인 기반시설연동제의 적용범위를 도시지역에서 전국으로 확대하였다. 기반시설연동제는 개발행위허가를 적정서비스수준(Level Of Service, LOS)과 연동하는 제도로서, 미국에서 시작되어 당시 미국 도시계획이 당면한 용도지역제와 택지분할규제의 한계를 극복하는 데 기여하였다. 「국토계획법」 제정을 계기로, 국내에서도 기반시설연동제가 이러한 역할을 수행할 것으로 기대되었으나 실효를 거두지 못하고 있다.

한편 국내 연간 총 인구는 2020년부터 순감소로 전환된 반면 수도권 인구는 증가하여(행정안전부, 2021), 인구감소 및 수도권 집중현상이 심화되고 있다. 이는 지난 반세기 동안 유럽(Bontje, 2004; Rink et al., 2011; Schett, 2011), 미국(Pallagst, 2009; Wiechmann and Pallagst, 2012), 일본(윤장식·이삼수, 2019) 등 선진국 도시가 먼저 맞이한 ‘축소도시’ 현상이 국내에 도래하였음을 의미한다. 축소도시는 공통적으로 인구감소 현상을 보이므로(이삼수 외, 2018) 앞으로 도시성장의 양상은 한층 복잡하고 다양해질 것으로 예상된다. 이 점에서 국내 축소도시 현상이 심화되기 전에 도시성장관리 정책을 정비하여 새로운 도전에 대비할 필요가 있다.

이에 본 연구는 적정서비스수준을 고려한 개발행위허가 모형을 제안하고자 한다. 이를 위한 연구 내용은 다음과 같이 구성하였다. 2장에서는 우리나라와 미국 사례를 대상으로 기반시설연동제의 개념 및 선행연구를 비교하여 고찰하고, 국내 기반시설연동제의 한계점과 개발행위허가 모형의 필요성을 제시한다. 3장에서는 개발행위허가제가 기반시설연동제의 토대임을 논하고, 개발행위허가제 개선방안으로서 적정서비스수준 기반 개발행위허가 모형의 개념과 도입방안을 제시한다. 4장에서는 모의실험을 통해 적정서비스수준 기반 개발행위허가 모형의 실현가능성을 타진한다. 모의실험은 통계적 추론을 응용한 개발행위허가용량 도출과 현행 도시계획 적정성 및 개발용량 분석 시연을 주 내용으로 한다.

본 연구의 내용적 범위는 「국토계획법」의 기반시설 총 7개 군 46종 가운데 공공하수처리시설로 한정하였다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 필수재인 수자원과 직결된다. 둘째, 환경기초시설의 일종으로서 기본적인 삶의 질 확보에 필수적이다. 셋째, 적정서비스수준이 명확하다. 넷째, 수요 발생 원인이 알려져 있고 기반시설용량이 명시되어 수요예측 모형 구축 및 해석이 용이하다. 한편, 공간적 범위는 제주특별자치도로 설정하였다. 그 이유는

다음과 같다. 첫째, 급격한 도시성장의 결과로써 공공하수처리시설이 포화되어 삶의 질이 저하되고 청정환경이 훼손되고 있다. 둘째, 모든 행정구역이 섬으로서 외부영향을 통제하기 쉽고, 풍선효과가 최소화되며, 내도객 집계가 가능하다. 셋째, 제주도는 특별자치도로서 도시성장관리 정책 수립이 비교적 자유롭다.

II. 기반시설연동제와 선행연구 고찰

1. 미국 기반시설연동제

기반시설연동제는 미국에서 1970년대에 기존 용도지역제와 택지분할규제(subdivision control)의 대안적 제도로서 처음 등장하였다(조덕훈, 2008). 당시 미국의 용도지역제와 택지분할규제는 주택수요 급증을 계기로 제도의 취약점이 드러난 바 있다. 용도지역제 하에서는 명목적인 규제사항을 충족하면 기반시설용량과 관계없이 개발할 수 있었으며, 택지분할규제는 적용범위가 택지분할 대상지에 국한되었기 때문에 개발행위가 기반시설용량에 미치는 지역적 영향을 반영하기 어려웠던 것이다(Patterson, 1979).

기반시설연동제는 자본증진프로그램(Capital Improvement Program, CIP)과 개발영향부담금(Development Impact Fee, DIF)으로 구성된다. 자본증진프로그램은 지방정부에서 수립하는 일종의 중장기 재정계획이며, 주로 기반시설의 설치, 유지보수, 대체에 관한 종류, 위치, 시점, 재정투입규모, 재정조달방법을 포함한다(Daniels and Bowers, 1997). 우리나라의 도시기본계획에 해당하는 미국의 종합계획은 자본증진프로그램을 주요 계획 집행수단으로 활용한다. 자본증진프로그램은 적정서비스수준 및 개발속도 관리 기능을 효과적으로 수행하였다(Bowyer, 1993). 기반시설연동제의 도입 초기에는 자본증진프로그램이 핵심기법으로 자리매김했는데, 이는 적정서비스수준을 저해하는 개발행위허가를 불허할 수 있는 기반을 제공하였기 때문이다. 다음으로, 개발영향부담금은 기반시설¹⁾ 설치비용 일부를 개발사업자에게 부과하는 일종의 성장관리 프로그램이다(Porter, 1997). 개발영향부담금은 도입 이후 이를 적용하는 지자체가 지속적으로 증가하여(Moody and Nelson, 2002), 2000년대 중반에는 1/4에 가까운 수의 카운티(county)에서 채택되었다(Burge and Ihlanfeldt, 2006). 개발영향부담금 도입의 의의는 도시성장관리 프로그램이 도시성장을 억제하는 장벽으로 전락할 수 있는 위험성을 현저히 낮추었다는 점이다. 도시성장관리 프로그램에 의해 적정서비스수준과 개발행위허가가 밀접하게 연계되어 있는 상황에서, 지방정부가 예산이 부족하여 기반시설 설치에 소극적으로 임하게 되면 개발수요가 증가하는 상황에서도 신규개발이 제한되어 도시성장이 정체된다. 이 점에서 기반시설 설치비용 조달에 기여하는 개발영향부담금은 이 문제를 효과적으로 완화할 수 있다. 니콜라

스 외(Nicholas et al., 1991)가 정리한 미국의 기반시설연동제 운영과정은 다음과 같다. (가) 인구 등 장래 계획지표를 추산하고 종합토지이용 및 기반시설계획을 수립한다. (나) 적정서비스수준을 결정한다. (다) 기반시설의 공급계획을 포함한 자본증진프로그램을 수립한다. (라) 개발영향부담금을 산정한다. (마) 토지이용규제를 시행한다.

조덕훈(2008)에 따르면, 국내 기반시설연동제에 대한 미국 기반시설연동제의 시사점은 다음과 같이 요약된다.

첫째, 적정서비스수준은 개발행위허가의 결정적 판단기준이 되어야 한다. 이는 기반시설연동제가 1970년대까지의 용도지역제와 택지개발규제에 대한 차별성을 갖도록 만든 결정적 요인이다. 이로써 미국의 토지이용제도는 용도와 밀도에 대한 경직적 규제정책에서 탈피하여 적정서비스수준에 기초한 유연한 도시성장관리로 발전할 수 있었다.

둘째, 개발영향부담금은 합리적 연관성(rational nexus)을 충족해야 한다. 이는 경찰권(police power)에 근거하여 부과되는 개발영향부담금이 정당성을 갖추기 위한 기본조건이다.

셋째, 자본증진프로그램의 역할이 중요하다. 자본증진프로그램이 수립되어야만 개발완료 시점의 적정서비스수준을 설정하여 개발행위허가에 참고할 수 있을 것이다. 이로써 개발의 시기와 장소를 효과적으로 관리할 수 있다.

2. 국내 기반시설연동제

국내 기반시설연동제는 미국 기반시설연동제를 참고했지만 그 내용은 상이하다. 미국 기반시설연동제는 자본증진프로그램과 개발영향부담금이 서로 보완하는 반면, 국내 제도는 개발밀도관리구역제와 기반시설부담구역제가 시가지와 비시가지를 이원적으로 관리하는 구조이다. 개발밀도관리구역제와 기반시설부담구역제는 구역제이며, 적정서비스수준은 직접적으로 포함되지 않고 개발행위허가제를 통하여 적용된다.

개발밀도관리구역제는 기반시설의 추가공급이 곤란한 시가지를 대상으로 용적률을 한시적으로 제한하여 기반시설용량이 포화되는 것을 지연시키는 제도이다. 이 제도는 개발압력이 집중되는 시가지의 일부 구역에 대하여 용적률을 최대 절반까지 제한할 수 있는 규제정책이다. 다만, 이 제도는 구역지정의 원인이 해결되지 못하여도 일정기간이 지나면 해제되며, 구역을 지정하는 지정권자에게 정치적 부담이 가중되는 결정적 한계가 있다. 그에 따라 개발밀도관리구역의 지정사례는 극히 드문 실정이다(최내영 외, 2013). 한편, 기반시설부담구역제는 지정된 구역에 대하여 기반시설설치계획을 수립하고 기반시설부담금을 부과하는 정책이다. 기반시설부담구역제는 도입 이후에 두 차례에 걸쳐 대대적인 제도변경이 있었다. 첫 번째 변화는 2006년에 이루어진 준조세 성격의 기반시설부담금 제도로의 변경이었다. 기반시설부담

금은 재원확보에는 효과적이었지만(이왕건 외, 2007), 부담금이 주거비로 전가되고, 건축경기를 위축시키며, 지역별 형평성 문제를 야기한다는 비판이 지속적으로 제기되었다(김상조 외, 2008). 결국, 기반시설부담금 제도는 2007년에 다시금 구역제로 회귀하여 현행 기반시설부담구역제로 변경되었다. 그런데 기반시설부담구역제 또한 개발밀도관리구역제와 같이 정책의 실효성이 부족하다(김상조 외, 2010; 최내영 외, 2013). 이에 대하여, 김상조 외(2010)는 미비한 유관제도 연계성, 풍선효과, 무분별한 기반시설부담금 부과면제 시설의 지정, 기반시설부담구역 지정 기준의 모호함을, 최내영 외(2013)는 여기에 더하여 구역지정에 대한 지정권자의 정치적 부담, 기반시설설치계획의 형식성을 원인으로 지적하였다.

이렇게 국내 기반시설연동제가 미진한 가운데, 다수의 정책연구가 수행되었다. 이는 문제해결의 전반적인 방향성을 제시하는 종합적 연구와 구체적인 방법론을 제시하는 실천적 연구로 구분해 볼 수 있다. 종합적 연구에는 성장관리제도의 관점에서 기반시설연동제를 일부 조명한 연구(조철주, 2003), 「국토계획법」의 범위에서 기반시설연동제의 전반적인 시행방안과 개선과제를 제시한 연구(이창수 외, 2002), 그리고 개발행위허가의 방법, 기반시설부담금의 합리적 연관성, 재정계획 등의 문제에 관한 종합적인 개선방안을 제시하는 연구(조덕훈, 2002; 2005; 2008; 이영성, 2005; 2007)가 포함된다. 종합적 연구의 기반시설연동제 개선방안은 조덕훈(2008)이 정리한 바에 따르면 다음과 같다. (가) 적정서비스수준이 개발행위허가의 결정적 판단기준이 되어야 하며, 이는 특정한 구역에 국한하지 않고 행정구역 전역에 적용되어야 한다. (나) 기반시설부담금은 합리적 연관성의 요건에 부합하여야 한다. (다) 중기지방재정계획을 개선하는 등, 미국의 자본증진 프로그램과 같은 체계를 도입해야 한다.

한편, 실천적 연구에서는 다음과 같은 제도개선 방법론이 제안되었다. 기반시설부담구역의 1단계 구역 지정절차를 객관화하는 방안(최내영, 2009a; 2009b; 2009c; 이용직·최내영, 2014), 2단계 구역지정의 현실성을 개선하는 방안(최준영·최내영, 2016), 기반시설설치계획 및 기반시설부담계획의 수립절차를 구체화하는 방안(김형복·최내영, 2011), 기반시설 유발 수준에 따라 기반시설부담금을 차등 책정하는 방안(최준영·최내영, 2008), 기반시설부담비용 산정에 관한 방법론을 구체화하는 방안(이경윤·최내영, 2011; 최내영, 2011a; 2011b)들이 제안되었다. 그러나 실천적 연구 분야에서 적정서비스수준과 개발행위허가의 연계성 문제에 대한 구체적 대안은 제시되지 못하였다.

3. 개발행위허가제 정책연구 고찰

개발행위허가제는 적정서비스수준 및 개발행위허가와 직접적으로 관련되어 있는 제도이다. 이 점에서 개발행위허가제를 개선

하는 것은 기반시설연동제 실효성 제고의 수단이 될 수 있다. 여기에서는 개발행위허가제에 관한 기존 정책연구의 대안을 본 연구의 대안과 비교하여 연구의 차별성을 검토하고자 한다.

개발행위허가제는 경제적 이용과 환경적 보전이 조화되는 토지의 정당한 재산권 행사를 보장하기 위하여 개발행위에 허가절차를 두는 제도이다. 이는 2000년에 「도시계획법」이 개정되면서 도시지역을 대상으로 최초 도입되었다. 2003년에는 「도시계획법」이 「국토이용관리법」과 함께 「국토계획법」으로 통합되어 전국토에 확대 적용되었다. 「국토계획법」 제정은 ‘계획에 의한 개발’로 국토계획의 틀을 전환하기 위한 토대를 마련하였다는 의의(김태경 외, 2007)를 가지고 있었고, 개발행위허가제는 「국토계획법」의 핵심적인 국토계획 수단이었다. 하지만 당초의 기대와 달리 개발행위허가제는 난개발을 효과적으로 방지하는 효과를 거두지 못하였다. 이는 개발행위허가제에 기반을 둔 난개발 방지 및 도시성장관리 관련 정책의 전반적인 실효성 저하가 발생하는 한 원인이 되었다.

개발행위허가제 개선을 위한 정책연구는 유형별로 다음과 같이 구분할 수 있다. (가) 관련정책의 연계성 강화, (나) 정책운영의 효율성 제고, (다) 법구조 개선, (라) 총량규제 방안이 그것이다. (가)에서는 개발행위허가, 농지전용허가, 산지전용허가 등, 「국토계획법」, 「농지법」, 「산지관리법」에 분산되어 있는 허가행위를 「국토계획법」에 통합하여 정비하고 절차를 간소화하는 방안(채미옥 외, 2004), 「국토계획법」에 개발행위허가와 관련된 사항을 일괄적으로 위임하여 국토의 종합적 관리역량을 제고하는 방안(김태경 외, 2007), 그리고 개발행위허가제와 성장관리방안의 연계를 강화하여 정책의 실효성을 제고하는 방안(김상원, 2015)이 연구되었다. (나)에서는 개발행위허가 담당자의 교육훈련을 강화하고 순환보직을 금지하여 전문성을 제고하는 방안(서순탁·김제국, 2006), 백서 및 매뉴얼을 작성하고 시스템을 구축하여 계획지원체계를 구축하는 방안(김태경 외, 2007; 서순탁·김진아, 2008), 온·오프라인 건축허가 운영시스템을 구축하는 방안(황은경, 2009)이 연구되었다. (다)에서는 개발행위허가기준을 표준화하고 이를 지정하는 지방정부의 재량권을 확대하는 방안(김태경 외, 2007), 일본의 개발허가제를 벤치마킹하여 토지이용조정기구와 개발심의회를 도입하는 방안(서순탁·김진아, 2008), 법률유보의 원칙에 위배되는 조항을 개정하는 방안(석중현, 2015), 절차법을 정비하여 허가신청자의 청문기회를 보장하는 등의 방식으로 인허가 의제제도를 개선하는 방안(김광수, 2017)을 제시하였다. (라)는 수질오염총량관리제를 의무화하여 개발총량을 규제하는 방안(김영환, 2013)이 연구되었다. 이 가운데 ‘(라) 총량규제 방안’은 적정서비스수준과 개발행위허가의 연계성과 관련한 분야였다. 그런데 이 분야의 정책연구 사례는 극히 희소했으며, 적정서비스수준에 대한 구체적 판단기준이 제시되지 않는 못하였다.

개발행위허가제 관련 정책연구를 검토한 결과, 적정서비스수준에 대한 구체적인 판단기준을 제시한 사례는 발견되지 않았다. 이 점에서 본 연구에서 제시하는 적정서비스수준 평가를 위한 수치적 지표를 도출하고 개발행위허가와 연계하는 방안, 즉 적정서비스수준을 고려한 개발행위허가 모형은 기존 정책연구에 대하여 차별성을 가지고 정책 실효성 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 적정서비스수준 기반 개발행위허가 모형

1. 현행 개발행위허가제의 문제점

개발행위허가제는 건축자유에 기반을 두는 용도지역제와 달리 건축부자유에 기초한다(류해웅, 2002). 예외적으로 개발행위허가가 자율재량에 의한 재량행위로 인정되는 점은 이와 같은 개발행위허가제의 특수성을 잘 드러낸다. ‘허가’는 법령으로 금지된 바를 특정한 경우에 해제하는 행정행위로서, 보통 기속재량에 의한 기속행위이며 법령상 특별한 규정이 없는 경우에는 허가되어야 한다(정희근, 2007). 반면, 개발행위허가는 공익성이 높고, 모든 사항에 기속요건을 설정하기 어려우며, 토지의 형질변경이나 건축허가에 관한 판례에서는 개발행위허가를 분명히 재량행위로 밝히고 있다(정희근, 2007). 이와 같이 개발행위허가가 재량행위라는 점에서, 개발행위허가제는 지방정부로 하여금 용도지역제의 경직성을 보완할 수 있는 유용한 계획수단이 될 수 있다.

그런데 현재 개발행위허가제는 기존 취지와 달리 운용의 문제점으로 인하여 실효적이지 못한 것으로 평가된다(김태경 외, 2007). 제주도 공공하수처리시설은 이를 분명하게 보여주는 사례이다. 제주도의 전문가 집단과 언론이 지속적으로 기반시설 포화 문제를 경고하였고(김호천, 2016; 오재용, 2016; 조의명, 2016), ‘2018 하수도 통계’에서 드러나는 바와 같이 공공하수처리시설 처리율이 지속적으로 증가했음에도 <그림 1>과 같이 개발행위허가

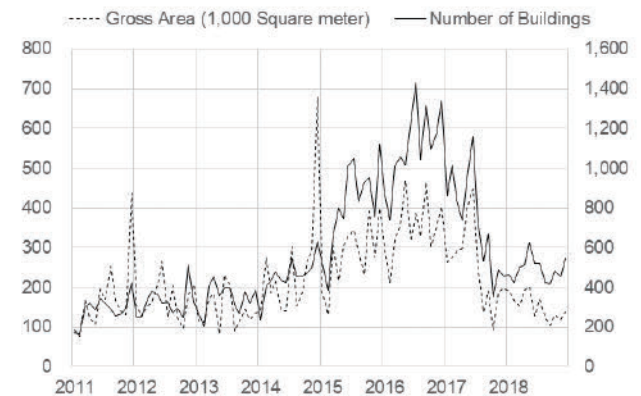


Figure 1. Gross area and number of buildings in monthly building permit, Jeju Island

Source: Kim, S.H. (2019)

의 건수와 규모는 계속 증가되었다. 이러한 추세는 2017년 '사드(Terminal High Altitude Area Defense, THAAD) 사태'와 같은 외부요인이 영향을 미친 2017년 이전까지 지속되었다. 그 결과, 다수의 공공하수처리시설의 상습적 포화사태가 발생했다(허성찬, 2020). 적정서비스수준이 개발행위허가 판단기준에 충실하게 반영되어 신규 개발행위허가를 효과적으로 관리할 수 있었다면, 미연에 방지할 수 있는 일이었다.

현행 개발행위허가제에서 적정서비스수준이 개발행위허가의 판단기준에 반영되지 못하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 개발행위허가가 지속행위와 같이 운영된다. 둘째, 개발행위허가기준에 적정서비스수준이 부실하게 반영되어 있다.

첫 번째는 개발행위허가가 재량행위라는 점에 관한 사회적 합의가 국내에서는 아직 이루어지지 못했기 때문에 발생하는 문제인 것으로 사료된다. 미국의 기반시설연동제가 적정서비스수준을 저해하는 개발을 원천적으로 차단할 수 있는 배경에는 누적된 사회적 합의가 있었다. 용도지역제의 적법성이 유클리드 판례(Village of Euclid v. Ambler Realty Co.)에 의해 확인되었던 것, 도시성장관리 정책의 정당성이 뉴욕 주 라마포(Ramapo) 시와 캘리포니아 주 페탈루마(Petaluma) 시의 사례와 같이 주민투표와 판결을 통해 인정받아온 것이 여기에 해당한다. 그렇다면 이 문제가 해결되기 위해서는 제도개선에 앞서 재량행위에 의한 재산권 제한을 수용할 수 있도록 사회적 합의가 선행되어야 할 것이다. 다만, 이는 본 연구의 범위를 초과한다.

두 번째는 행정지침 또는 조례가 미비하여 발생하는 문제로서, 개발행위허가기준에 적정서비스수준을 반영하는 조문을 추가하는 등의 방식으로 이를 정비하여 해결할 수 있을 것이다. 이에 관한 구체적 사항은 아래에 서술하고자 한다.

2. 개발행위허가기준 고찰

현행법 상, 개발행위는 총 다섯 가지 유형이 존재한다. 이 가운데 '건축물의 건축 또는 공작물의 설치'에 집중하여 개발행위허가 기준의 문제점을 분석해보고자 한다. '건축물의 건축 또는 공작물의 설치'는 다른 유형의 개발행위와 달리 적정서비스수준과 직접적으로 연관되어 있기 때문이다. 기반시설의 수요는 근본적으로 사람에 의해 발생하며, 사람의 활동은 대체로 주택, 상가, 공장과 같은 건축물에서 이루어진다. 특히, 공공하수처리시설은 하수가 건축물과 직접 연결되는 하수관거를 통해 유입되므로 건축물과 직접적인 관계가 있다.

국내 개발행위허가제의 요체는 「국토계획법」을 중심으로, 동법 시행령, 동법 시행규칙, 「개발행위허가운영지침」, 각 시·군의 「도시계획조례」에 담겨 있는 것으로 이해된다. 개발행위허가기준의 일반적인 내용은 행정지침인 「개발행위허가운영지침」에 기재되고, 지역특성을 반영한 내용은 시·도별 「도시계획 조례」의

행정지침을 통해 추가될 수 있다. 그에 따라 「개발행위허가운영지침」과 「도시계획 조례」를 중심으로 사례대상지의 개발행위허가기준을 검토해보았다.

「개발행위허가운영지침」을 검토한 결과, 현행 개발행위허가기준에서 적정서비스수준이 적용되는 범위는 도시가 아닌 건축물수준에 국한되어 있음을 알 수 있었다. 적정서비스수준은 「개발행위허가운영지침」에서 제3장 중 '3-2-5 기반시설', '3-3-2-1 도로', '3-3-2-2 상수도', '3-3-2-3 하수도', '3-3-2-4 기반시설의 적정성' 항목과 관련되어 있다. 그런데 '건축물의 건축 또는 공작물의 설치'의 기속요건이 구체적으로 명시되어 있는 기반시설은 도로, 상수도, 하수도 3종에 국한되어 있었으며, 그 내용은 건축물의 종류와 규모에 따라 건축물에 접속되는 기반시설의 규격을 규율하는 것이다. 적정서비스수준이 도시의 범위로 언급되어 있는 항목은 '3-3-2-3의 (2)'에서 "오수는 공공하수처리시설에서 처리되어야 한다."와 같은 기속요건 없는 원론적 서술에 그친다.

사례대상지의 「도시계획 조례」를 검토한 결과도 크게 다르지 않았다. 「도시계획 조례」의 개발행위허가기준은 별표 1에 포함되어 있었다. 그 내용은 「개발행위허가운영지침」과 대부분 동일하였다. 다만, '건축물의 건축 또는 공작물의 설치'에 대하여 인접한 하수처리시설에 하수관거를 연결할 것을 기속요건으로서 부가한 점이 차별적이다. 이는 중산간지역을 중심으로 빈발해왔던 지하수 오염을 최소화하기 위한 조치이다. 수자원을 대부분 지하수에 의존하는 제주도의 특수성이 반영된 것으로 볼 수 있다. 그러나 이와 같이 「도시계획 조례」에서 추가된 기속요건 역시 건축물에 접속되는 기반시설 규격을 규율하는 것으로서 현행 「개발행위허가운영지침」의 한계점을 답습하고 있다.

'건축물의 건축 또는 공작물의 설치'의 기속요건을 검토한 결과, 「개발행위허가운영지침」과 「도시계획 조례」에서 규정하는 개발행위허가의 기속요건은 건축물에 직접 접속되는 도로 및 상하수도 설치여부 및 규격과 같은 국지적 내용에 편중되어 있으며, 기반시설용량과 같이 전역적 판단이 필요한 적정서비스수준의 핵심은 누락되어 있었다. 이렇게 개발행위허가의 기속요건이 미비하여, 적정서비스수준에 따라 개발행위를 관리하지 못하는 구조적 문제가 방지된다면, 기반시설연동제가 실효성을 가지는 것은 요원할 것이다.

3. 「개발행위허가운영지침」 개정방안

현행 법률체계에서 적정서비스수준에 대한 기속요건을 개발행위허가기준에 삽입하는 방법은 두 가지가 있을 것이라 생각된다. 첫 번째는 「개발행위허가운영지침」을 개정하는 것이며, 두 번째는 「도시계획 조례」를 개정하는 것이다. 각 방식은 서로 다른 장단점을 갖는다. 첫 번째 방법은 파급효과가 크고 풍선효과를 방지할 수 있다. 이는 「개발행위허가운영지침」이 행정지침으로서

전국에 적용되기 때문이다. 반면에 지역별 특성을 반영하기는 어렵다. 「개발행위허가운영지침」과 같이 전국적으로 반영되는 행정지침은 보다 일반적인 내용을 다루어야 하기 때문이다. 두 번째 방법은 첫 번째 방법과 비교하여 장점과 단점이 반대이다. 이는 「도시계획 조례」가 규율하는 공간적 범위가 지방정부의 행정구역에 국한되기 때문이다. 이 연구는 지역과 관계없이 범용할 수 있는 기반시설연동제의 개선방안을 제시하는 것을 지향하므로, 「개발행위허가운영지침」을 개정하여 적정서비스수준의 기속요건을 삽입하는 첫 번째 방식을 전제하고자 한다.

미국의 기반시설연동제에서는 사전에 규정된 일부 기반시설만을 규율하며, 대체로 도로와 상수도, 하수도, 그리고 공원에 대하여 기반시설연동제를 시행한다. 반면, 국내에서는 「국토계획법」이 정의하는 모든 기반시설에 대하여 기반시설연동제를 시행할 수 있다. 여기서 46종의 모든 기반시설을 기반시설연동제의 대상으로 삼는 것은 비현실적이므로, 특정 기반시설을 선택하여 집중할 필요가 있다. 이 연구에서는 환경기초시설 가운데 공공하수처리시설을 그 대상으로 삼고자 한다. 공공하수처리시설은 필수적인 수자원과 직결되므로 이를 통해 기반시설 수요를 유발하는 대부분의 개발행위를 관리할 수 있다. 또한 건강 및 위생 등 삶의 질에 직결된 도시 공공서비스의 적정수준을 확보하기 위해서는 반드시 관리되어야 하는 기반시설이며, 적정서비스수준을 정량화하기 용이하여 모델링을 통한 예측과 해석에 유리하다.

공공하수처리시설의 적정서비스수준은 포화여부로서 판단할 수 있다. 공공하수처리시설의 포화는 여유용량이 고갈되어 있는 상태를 의미하며, 여유용량은 기반시설용량과 유입하수량의 차와 같다. 기반시설용량은 공공하수처리시설이 하루에 처리할 수 있는 오수의 양이며, 유입하수량은 하루 동안 유입되는 오수의 양으로 정의된다. 또한 침투시의 오수유입 특성을 고려하기 위하여 유입하수량에 변동부하율을 적용할 수 있다.

공공하수처리시설의 적정서비스수준을 반영하기 위한 「개발행위허가운영지침」의 개정에는 다음의 방법을 제시해보고자 한다.

첫째, '3-3-2-4 기반시설의 적정성'의 기존 내용을 (1)로 이전하고 (2)를 신설하여 기반시설용량의 여유를 확보하는 것이 개발행위허가의 조건임을 명시한다. 해당 조문은 “기반시설용량이 별표의 규정에 따라 확보되지 아니한 지역에 대하여는 건축물의 건축행위를 허가하지 아니한다. 다만, 기반시설용량 및 기반시설의 종류는 도시·군계획 조례로 정한다”와 같이 작성할 수 있을 것이다.

둘째, 기반시설용량 평가의 실무적 내용은 「개발행위허가운영지침」에 별표를 신설하여 기재한다. 여기에는 용어의 정의, 수요예측 모형 구축의 필요성, 개발행위허가용량의 산정 및 평가 등이 포함된다. 다만, 기반시설의 유형별, 지역별 특성이 반영될 수 있도록, 기반시설을 필수기반시설과 선택기반시설로 구분하여 관리하는 것이 적합할 것이다. 특히 선택기반시설은 적용 여부, 수요예측 모형의 구축 및 활용 방법 등 구체적 사항에 대한 규정

을 조례에 위임한다면 제도의 유연성과 합리성을 제고할 수 있을 것이다.

IV. 모의실험

1. 개요

위와 같은 「개발행위허가운영지침」 개정이 정책현장에서 실무에 접목되기 위해서는 여기에 개발행위허가와 적정서비스수준을 연계할 방법론과 함께 도시계획에 적용하는 방안이 제시되어야 할 것이다. 본 장에서는 그 방법론을 소개하고 이를 모의실험을 통해 보이고자 한다. 공공하수처리시설의 적정서비스수준은 여유용량으로써 평가할 수 있다. 그런데 현실적으로 개발행위허가 신청이 접수될 때마다 적정서비스수준을 검토하는 것보다는 특정 시점까지의 개발행위허가 총량을 도출하고, 이를 근거로 개발행위허가를 관리하는 것이 효과적일 것이다. 이렇듯 기반시설의 여유용량을 고갈시키지 않는 개발행위허가 총량, 즉 개발행위허가용량을 도출하여, 이를 지방정부가 개발행위허가를 관리하는 척도로 부여하는 것이 본 연구에서 제안하는 방법론의 요체이다.

개발행위허가용량은 기반시설용량이 포화되지 않는 최대 누적 개발량을 의미하는 최대허용개발량과 도시계획 수립 당시의 누적개발량을 의미하는 기개발량의 차이이다. 기개발량은 자료를 집계하여 파악 수 있지만, 최대허용개발량은 경험적 지식에 비추어 기반시설의 수요와 유발요인의 상관관계를 추론하는 과정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 개발행위허가용량의 도출방법으로서 통계적 추론을 이용해보고자 한다. 이는 통계적 추론이 다음과 같은 장점이 있기 때문이다. 첫째, 객관적 검증이 가능하다. 둘째, 개발행위허가용량을 정량적으로 산정할 수 있다. 셋째, 계획지표 및 기반시설용량 등의 변수를 자유롭게 설정하여 다양한 시나리오를 검토할 수 있다. 넷째, 유의수준을 이용하여 개발행위허가용량의 관리강도를 유연하게 조정할 수 있다.

통계적 추론을 이용하여 개발행위허가용량을 도출하는 모의실험의 절차는 (가) 가설 및 유의수준 결정, (나) 수요예측 모형 구축, (다) 시나리오 구성, (라) 예측 및 가설검정, (마) 개발행위허가용량 도출의 순서로 진행되었다.

(가)는 가설검정을 위한 귀무가설과 대립가설을 작성하고 유의수준을 결정하는 과정이다. 여기서 귀무가설은 “침투부하량²⁾은 기반시설용량보다 작다.”, 대립가설은 “침투부하량은 기반시설용량보다 크거나 같다.”이다. 귀무가설을 기각하지 못하면 시설용량이 포화될 위험이 있는 것으로 판단한다. 여기서 가설검정은 편측검정을 따른다. 기반시설용량이 포화되지 않도록 관리하는 것이 가설검정의 목적이기 때문이다. 유의수준은 2종오류의 발생가능성을 낮추기 위해서 낮게 설정하는 것이 적합하지만, 기반시설의 과잉 공급에 대한 우려를 고려하여 5%로 설정하였다.

(나)는 공공하수처리시설 수요예측 모형(이하 '수요예측 모형')을 구축하는 과정이다. 그에 따라 모형 선택, 모형변수 선별, 기초자료 구축, 모형 구축 및 검증을 수행한다.

(다)는 모의실험의 시나리오를 구성하는 과정이다. 「제주특별자치도 광역하수도정비 기본계획(변경)」(이하 「기본계획」)의 목표연도에 따라 2025년, 2030년, 2035년의 세 가지 시나리오별 모형입력 변수를 「도시기본계획」 및 「기본계획」 등의 참고자료에 기초하여 구성해 보았다.

(라)는 (나)에서 구축한 수요예측 모형과 시나리오별 모형입력 변수를 토대로 식 (1)에 따라 목표연도에 대한 예측과 가설검정을 수행하는 과정이다. 예측은 점예측으로 진행하며, 예측값, 표준오차, 예측구간(predict interval)의 상한, 첨두부하량, 여유용량, 일최대 처리율을 도출한다. 가설검정은 독립변수가 x_0 일 때 종속변수 Y_0 의 임계값과 기반시설용량을 비교하여 귀무가설의 기각여부를 판별하는 과정이다. x_0 는 「기본계획」 시나리오별 목표연도의 모형입력 변수이며, 임계값은 첨두부하량이다.

$$\hat{Y}_0 \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-k} \hat{\sigma} \sqrt{1+x_0'(X'X)^{-1}x_0}, \quad (1)$$

where, \hat{Y}_0 is the predicted value of Y_0 when the independent variable X is an arbitrary value of the target year x_0 ,

$t_{\frac{\alpha}{2}, n-k}$ is the t -value when the degree of freedom is

$n-k$ at significance level α ,

$\hat{\sigma} \sqrt{1+x_0'(X'X)^{-1}x_0}$ is the standard error of the predicted value.

(마)는 (라)의 가설검정 결과에 기초하여, 개발행위허가의 한도, 즉 개발행위허가용량을 도출하는 과정이다. 본 모의실험에서는 분석의 명료함을 위해 주거용 건축물로 조건을 단순화하였다. 이로써 기계발량은 계획시점의 상주인구가 점유하는 주거용 건축물 연면적, 최대허용개발량은 목표연도의 첨두부하량과 기반시설용량이 같을 때의 상주인구가 점유하는 주거용 건축물 연면적으로 구한다.

2. 수요예측 모형 구축

1) 모형 선택

본 모의실험의 모형 선택은 계획지표를 활용하여 수요예측을 수행하기에 적합한 시계열모형과 회귀모형을 대상으로 검토되었다. 수요예측 모형은 기반시설 및 공공서비스 수요와 계획지표의 상관관계 모형화, 예측 및 가설검정, 개발행위허가기준 제시 등

에 활용될 것이므로, '계획지표 연계성', '장기예측성능', 그리고 '개발행위허가기준 연계성'을 갖추어야 한다. 이를 종합 검토한 결과, 회귀모형을 수요예측 모형으로 선택하였다. 회귀모형은 계획지표를 모형변수로 포함하기 용이하며, 변수의 상관관계에 기초하므로 장기예측에 유리하고, 통계적 추론에 기초하여 시설용량 포화를 방지하기 위한 개발행위허가용량을 정량적으로 제시할 수 있다. 반면에 시계열모형은 변수 간의 상관관계를 모형화하기 어렵고, 예측기간이 장기화될 경우 오차가 누적되어 장기예측에 불리하며, 수요예측 결과가 도출된 원인을 파악하기 어렵다.

2) 모형변수 구성 및 기초자료 구축

수요예측 모형의 변수구성은 연역적 방식에 기초하여 이루어졌다. 선행연구의 모형변수 구성을 참고하는 것이 일반적이지만, 공공하수처리시설의 수요예측 모형을 구축한 사례를 찾기 어려웠다. 이에 「기본계획」의 계획하수량(공공하수처리시설 수요) 산정에 반영되는 하수발생 요인을 참고하여 수요예측 모형의 변수를 구성하였다.

「기본계획」은 공중위생 및 생활환경의 개선과 수질환경기준을 유지하기 위해 수립하는 20년 단위의 기본계획으로서, 하수도정비에 관한 최상위 법정계획이다. 「기본계획」에는 반드시 계획하수량이 도출되는데, 계획하수량은 '계획 1일 최대오수량'과 '우천시 계획하수량'으로 구분된다. '계획 1일 최대오수량'은 일단위 평균 오수량을 첨두를 고려하여 산정한 것으로서, 하수도 계획인구의 오수배출량, 공장폐수량, 지하수량, 관광오수량(별도 산정시), 그리고 기타 배수량으로 구성된다. '우천시의 계획하수량'은 우천시 유입되는 하수량을 시간단위 첨두를 고려하여 산정한다.

'계획 1일 최대오수량'과 '우천시 계획하수량'의 산정과정으로부터, 하수도 계획인구, 관광오수량, 공장폐수량, 그리고 강수량을 공공하수처리시설 수요예측 모형의 변수로 선별할 수 있을 것이다. 여기서 대상지의 특수성을 고려하면, 관광오수량을 적극 반영하고, 공장폐수량은 제외할 수 있다. 제주도는 관내 인구수 대비 관광객의 비율이 높고, 제조업이 발달하지 않아 공장폐수량의 비중이 미미하기 때문이다. 이와 같은 수요발생원들을 「도시기본계획」의 계획지표에 대응하면, 하수도 계획인구는 상주인구, 관광오수량은 체류인구, 그리고 강수량은 그대로 강수량이 된다(공장폐수량은 제외). 이에 기초하여 <표 1>과 같이 변수를 선별하였다.

<표 1>을 참고하면, 종속변수는 유입하수량이며, 이는 공공하수처리시설 유입하수의 총량을 의미한다. 단위는 'm³/일', 시간적 범위는 2010년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지이다. 시간단위는 주간이며, 일단위 자료를 주별 평균을 취하여 주간위로 변환하였다. 공간단위는 공공하수처리시설의 처리구역을 통합하여 제주도 전역으로 구성하였다.

독립변수는 상주인구, 체류인구, 강수량과 함께 계절, 연도의 가변수를 추가하였다. 가변수는 계절별 하수배출 양상, 하수관로

Table 1. Configuration of model variables

Type	Name	Unit	Note
Dependent variable	Sewage	m ³	The average daily sewage inflow in public sewage treatment facilities
	Pop	persons	Registered resident population
	Visit	persons	Daily average of population inflow
Independent variables	Ppt	mm	Precipitation on Jeju island
	s01~s04	-	Dummy variables to reflect seasonal characteristics
	y10~y18	-	Dummy variables to reflect the characteristics of each year

Source: Kim, S.H. (2019)

정비상태, 공공하수처리시설 시설용량 변화 등 외생변수를 통제하기 위해 도입하였다.

상주인구는 제주도 관내 인구이며, 주민등록인구와 같으므로, 행정안전부 주민등록인구현황 통계로 구축하였다. 자료의 단위는 ‘인’, 시간적 범위는 2009년 12월부터 2019년 1월까지, 시간단위는 월간이다. 다만 본 분석의 시간단위는 주간이므로, 부득이 내삽법을 이용하여 상주인구 시간단위를 주간으로 수정하였다.

체류인구는 체류상대인 방문인구의 합계와 같다. 그러나 체류인구를 직접 집계한 자료는 발견되지 않았다. 이에 일일 방문인구의 수를 의미하는 내도객을 체류인구의 대리변수로 활용하였다. 일단위 내도객 집계자료는 제주특별자치도 관광협회로부터 구축하였다. 자료의 단위는 ‘인’, 시간적 범위는 2010년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지, 시간단위는 주간으로서, 일단위 자료의 주간 평균을 취하여 주간위로 가공하였다.

강수량은 기상청 국가기후데이터센터의 종관기상관측장비(Automated Surface Observing System, ASOS)와 방재기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)의 일별 기상정보를 수집하여 주간 평균강수량으로 구축하였다. 자료의 단위는 ‘mm’, 시간적 범위는 2010년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지, 시간단위는 일간이다. 강수량은 점형(點形)의 관측소에서 수집되는 자료이므로, 공공하수처리시설과 직접적으로 결합하기 어렵다. 다만, 공공하수처리시설별 처리구역 기준으로 육상 관측장비는 입지한 처리구역에, 해상 관측장비는 가장 가까운 처리구역에 배정한 뒤, 각 시설에 속한 기상관측장비의 주간 평균강수량을 구하였다.

계절은 봄, 여름, 가을, 겨울을 의미하는 4개 가변수로 세분화하였다. 각 계절별로 3개월의 기간을 배정했는데, 봄은 3, 4, 5월, 여름은 6, 7, 8월, 가을은 9, 10, 11월, 겨울은 12, 1, 2월로 배정하였다.

연도는 하수관로 정비 등 연도별 외생변수를 통제하기 위해 2010년부터 2018년까지 총 8개 가변수로 세분화하였다.

시설용량은 공공하수처리시설 증설에 따른 하수유입량 변화를 통제하고자 환경부(2018) 「하수도 통계」를 참고하여 개별 공공하수처리시설의 시설용량 증설시점을 기준으로 기간을 구분하였다.

3) 수요예측 모형 구축

〈표 2〉의 기술통계분석 결과 가운데 특기할 만한 점은 상주인구와 내도객 규모의 차이다. 두 변수의 단위는 동일하지만, 상주인구는 저장(stock)이고 내도객은 체류인구의 매개변수로서 유량(flow)이므로 모형의 해석에 유의할 필요가 있다.

〈표 3〉은 변수의 상관관계를 분석한 결과로서 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, PCC)를 이용하였다. 모든 독립변수에 대한 종속변수 상관계수는 상주인구 0.8925, 내도객 0.7657, 그리고 강수량 0.2338이며, 모든 독립변수가 유의하여 수요예측 모형에 진입할 가능성이 높을 것으로 사료된다. 그러나 상주인구와 내도객의 상관계수는 0.8579이며 유의하였다. 이에 두 변수의 공선성을 검토한 결과, 공선성이 없는 것으로 판단했다. 이는 상관계수가 유의하며 높은 값을 갖는 이유는 2010년과 2018년 사이에 제주도 이주열풍과 관광열풍이 동시에 진행되었기 때문이며, 인과관계로 보기는 어렵기 때문이다.

상관관계 검토 이후에는 최적모형을 선별하기 위해, 모형변수를 단계적으로 조합하였으며, 〈표 4〉는 이를 정리한 결과이다.

기저모형(Baseline model)은 변수가 입력되지 않아 절편(const)은 종속변수의 평균과 같은 176,115.7m³이었고 결정계수는 산출되지 않았으며, 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 28,142.0이었다.

모형 1(Model 1)은 상주인구, 내도객, 강수량과 같은 기본변

Table 2. Descriptive statistics

Var.	Unit	Obs.	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Sewage	m ³	468	176,116	28,142	113,734	256,997
Pop	Persons	468	607,768	32,969	562,677	667,411
Visit	Persons	468	32,704	8,946	12,042	55,166
Ppt	mm	468	7.0	9.4	0.0	67.3

Source: Kim, S.H. (2019)

Table 3. Pearson's correlation

	Sewage	Pop	Visit	Ppt
Sewage	1.0000			
Pop	0.8925*	1.0000		
Visit	0.7657*	0.7756*	1.0000	
Ppt	0.2338*	-0.0356	-0.0123	1.0000

Note: t statistics in parentheses *p0.10, *p0.05, **p0.01

Table 4. Regression model comparison

Parameter	Unit	Baseline Model	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Pop	persons		0.655***	0.699***	0.709***	0.768***
Visit	persons		0.548***	0.304***	0.500***	0.197**
Ppt	mm		792.3***	669.8***	753.5***	618.9***
s02	m ³			11878.0***		12462.0***
s03	m ³			4702.2***		4676.7***
y12	m ³				8139.2***	8795.0***
y14	m ³					3569.7**
y15	m ³				4066.4**	5773.6***
y17	m ³				-5787.8***	-5668.3***
Cons	m ³	176115.7***	-245213.6***	-267688.3***	-277017.0***	-307308.6***
N	-	468	468	468	468	468
R ²	-	0.000	0.879	0.905	0.892	0.921
adj. R ²	-	0.000	0.879	0.904	0.891	0.919
F	-	0	1127.1	880.6	635.0	591.3
df_m	-	0	3	5	6	9
df_r	-	467	464	462	461	458
aic	-	10918.5	9934.8	9826.7	9888.6	9750.0
bic	-	10922.6	9951.4	9851.6	9917.6	9791.5
Mean VIF	-	-	2.01	1.78	1.68	1.60
Skewness	-	0.1847	0.2495	0.1966	0.2576	0.2192
Kurtosis	-	2.3596	3.0309	2.9363	3.5186	3.2614
W	-	0.00001	0.05882	0.21434	0.00320	0.29045
ADF lag (0)	-	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ADF lag (1)	-	0.0447	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ADF lag (13)	-	0.4010	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
ADF lag (26)	-	0.6968	0.0034	0.0252	0.0000	0.0000
ADF lag (52)	-	0.9799	0.2879	0.1487	0.1162	0.0290

Note: t statistics in parentheses *p0.10, *p0.05, **p0.01, ***p0.001
 Source: Kim, S.H. (2019)

수를 입력하고, 변수선택법을 적용한 결과이다. 변수선택에는 유의수준과 분산팽창계수(Variance Inflation Factor, VIF)를 참고했는데, 모든 변수가 선택되었다. 모형 1의 결정계수는 0.8793이며, 평균 제곱근 오차는 기저모형에 비해 18,334.8 감소하였다.

모형 2(Model 2)는 기본변수에 가변수 중 계절을 추가 입력하고, 변수선택법을 적용한 결과이다. 모형 2에서는 유의수준을 충족하지 못하여 가변수 가운데 봄(s01)과 겨울(s04)이 탈락되었다. 모형 2의 결정계수는 0.9050, 평균 제곱근 오차는 기저모형보다 19,422.6 감소하였다. 모형 2에서 주목할 점은 계절에 관한 가변수가 추가되면서 내도객과 강수량의 회귀계수가 감소했다는 점이다. 이는 계절을 대표하는 가변수가 기본변수 가운데 계절성이 강한 변수들을 일부 대체했기 때문으로 해석된다. 예컨대 성수기와 장마철이 함께 도래하는 여름(s02)은 평상시에 비해 유입하수

량 평균이 11,878.0m³, 준 성수기인 가을(s03)은 4,702.2m³만큼 높은 값을 기록한다.

모형 3(Model 3)은 기본변수와 함께 가변수 중 연도를 변수선택법으로 선별한 결과이다. 기본변수와 연도 가변수 중 2012년(y12), 2015년(y15), 그리고 2017년(y17)이 선별되었다. 모형 3의 결정계수는 0.8921, 평균 제곱근 오차는 기저 모형에서 18,836.3 감소하여, 모형 1보다는 개선되었으나 모형 2에는 미치지 못하였다.

모형 4(Model 4)는 모든 기본변수와 가변수를 변수선택법으로 선별한 모형구축 결과이다. 모형 4에는 기본변수와 더불어 가변수 가운데 여름(s02), 가을(s03), 2012년(y12), 2014년(y12), 2015년(y15), 2017년(y17)이 유의한 변수로 선별되었다. 가변수 선별결과를 종합하면, 계절은 모형 2와 동일변수가 채택되고, 연도는 모형 3에서 2014년(y14)이 추가 진입하여 기존모형과 유사

한 결과를 보였다. 모형 4의 결정계수는 0.9208이고, 기저모형과 평균제곱근오차는 20,142.2 만크의 차이를 보여, 타 모형에 비해 가장 우수한 수치를 기록하였다. 모형 4에서는 가변수 입력과 함께 내도객과 강수량의 회귀계수가 감소하였다. 이는 계절변수는 여름철 관광성수기, 장마, 가을철 태풍에 의한 연 단위 주기성을 대신하여 설명하고, 연도변수는 2015년 ‘메르스(Middle East Respiratory Syndrome, MERS) 사태’, 2017년 ‘사드(THAAD) 사태’와 같은 외생변수를 흡수하면서, 내도객 또는 강수량 등 강한 계절성을 가진 변수를 일부 대체하기 때문으로 보인다.

최적모형은 성능과 적합성을 종합적으로 검토하여 선별하였다. 모형성능은 모형설명력을 나타내는 결정계수, AIC(Akaike’s Information Criterion) 및 BIC(Bayesian Information Criterion)를 판단 근거로 삼았다. 모형적합성은 선형성 및 등분산성, 독립성, 그리고 정규성을 나타내는 잔차의 산포도, 시계열그래프, 단위근 검정(unit root test), 분산팽창계수, 커널(Kernel) 분포도, 도수분포표, P-P plot, Q-Q plot, 샤피로 윌크 검정(Shapiro-Wilk test), 그리고 왜도 및 첨도에 근거하여 검토하였다. 이같이 <표 4>의 모형들을 비교검토한 결과, 모형 4를 최적모형으로 선별할 수 있었으며 회귀식은 아래 식 (2)와 같다.

$$y = -307308.6 + 0.768x_1 + 0.197x_2 + 618.9x_3 + 12462.0D_1 + 4676.7D_2 + 8795.0D_3 + 3569.7D_4 + 5773.6D_5 - 5668.3D_6, \quad (2)$$

- where, x_1 is the resident population (pop),
- x_2 is the inflow population (visit),
- x_3 is the precipitation (ppt),
- D_1 is the summer (s02) among the season dummies,
- D_2 is the fall (s03) among the season dummies,
- D_3 is the year 2012 (y12) among the year dummies,
- D_4 is the year 2014 (y14) among the year dummies,
- D_5 is the year 2015 (y15) among the year dummies,
- D_6 is the year 2017 (y17) among the year dummies.

최적모형 성능은 결정계수 0.9210, AIC 9,750.0, BIC 9,791.5로서, <표 4> 모형 가운데 가장 우수하다.

최적모형의 적합성은 (가) 선형성 및 등분산성, (나) 독립성, (다) 정규성 검정으로 진단하였다.

‘(가) 선형성 및 등분산성’은 잔차의 산포도를 이용하여 검토하였다. <그림 2>를 참고하면 잔차는 대체적으로 +20,000에서 -20,000 사이의 구간에 분포하며 분산도 일정한 수준을 보인다. 이 점에서 최적모형은 선형성과 등분산성을 만족한다.

‘(나) 독립성’은 분산팽창계수와 단위근 검정으로 검토하였다. 그 결과 <표 5>와 같이 최적모형의 분산팽창계수 평균값은 1.60

이고 상주인구에서 3.17로 가장 높았다. 모든 변수 분산팽창계수가 5를 넘지 않았으므로 최적모형은 독립성을 충족하는 것으로 판단된다. 한편, 단위근 검정에는 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정을 활용하였다. ADF 검정 결과, 시차(lag) 0, 1(주 단위), 13(분기 단위), 26(반기 단위)은 유의수준 1%, 시차 52(연 단위)에서는 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각할 수 있으므로 단위근이 존재하지 않는 것으로 분석되었다(<표 6>). 그에

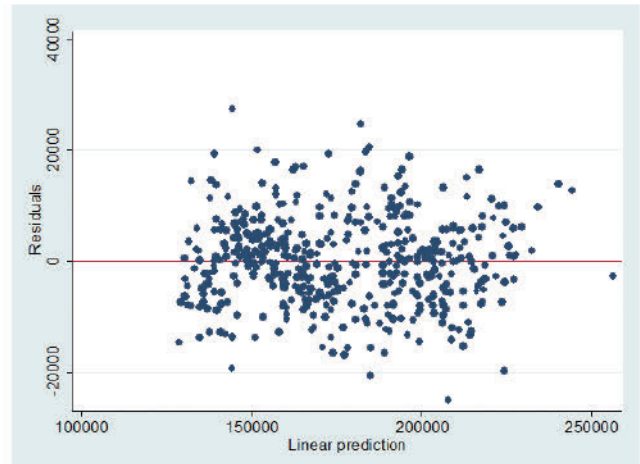


Figure 2. Scatter plot of residuals

Source: Kim, S.H. (2019)

Table 5. VIF of each variable

Variable	VIF	1/VIF
Pop	3.17	0.315710
Visit	2.97	0.337019
y17	1.32	0.755324
s02	1.32	0.756923
s03	1.16	0.862372
y12	1.15	0.868687
y15	1.13	0.884094
y14	1.11	0.899263
ppt	1.09	0.915949
Mean VIF	1.60	-

Source: Kim, S.H. (2019)

Table 6. The result of the ADF test

Lag	Test statistic	1% critical value	5% critical value	10% critical value	
0	-12.335	-3.443	-2.871	-2.570	
1	-9.875	-3.443	-2.871	-2.570	
Z(t)	13	-6.705	-3.444	-2.872	-2.570
	26	-5.279	-3.445	-2.872	-2.570
	52	-3.068	-3.447	-2.873	-2.570

Note: MacKinnon approximate p-value for Z(t)=0.0000
Source: Kim, S.H. (2019)

따라 최적모형의 잔차는 정상시계열이며 독립성 가정을 충족한다.

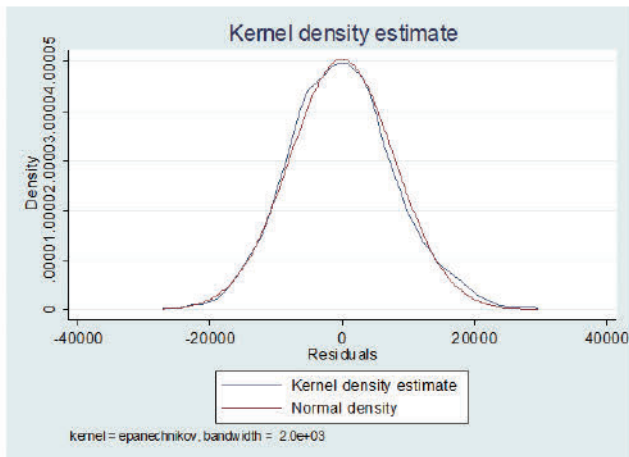
‘(다) 정규성’은 잔차분포를 검토하는 시각적 방법과 검정통계량을 활용하는 수치적 방법으로 검토하였다. 잔차분포는 커널 분포도, 도수분포표, P-P plot, 그리고 Q-Q plot을 활용했고, 검정통계량은 왜도 및 첨도와 함께 샤피로 윌크 검정방법을 적용하였다.

잔차의 커널 분포도(〈그림 3a〉)와 도수 분포도(〈그림 3b〉), 그리고 P-P plot(〈그림 3c〉)과 Q-Q plot(〈그림 3d〉)은 잔차분포가 정규분포임을 드러낸다. 커널 분포도와 도수 분포도는 잔차분포가 정규분포와 유사함을 보이며, P-P plot과 Q-Q plot은 예측값과 관측값의 확률적 분포에 따른 좌푯값이 대체로 직선상에 위치함을 보인다. 그에 따라 최적모형은 정규성을 충족하는 것으로 판단하였다.

한편 〈표 7〉과 같이, 최적모형의 왜도 및 첨도, 샤피로 윌크 검

Table 7. The result of Skewness, Kurtosis, and Shapiro-Wilk's *W*

Variable	Obs.	<i>W</i>	<i>V</i>	<i>z</i>	Prob. <i>z</i>
Residual	468	0.996	1.259	0.552	0.291
Skewness		0.219	Kurtosis		3.261



(a) Kernel density estimate of residuals

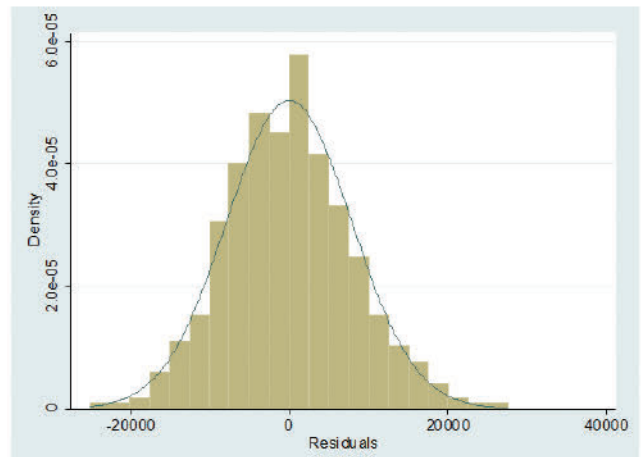
정통계량 *W*를 정리하여 최적모형의 정규성을 수치적 방식으로 검토해 보았다. 그 결과, 왜도는 0.2192, 첨도는 3.2614, *W*는 0.9960이며 *W*의 유의확률은 0.2905이었다. 이 결과를 바탕으로 최적모형의 잔차는 정규분포를 따르며, 최적모형은 정규성을 충족하는 것으로 판단할 수 있었다.

3. 시나리오별 가설검정 및 결과분석

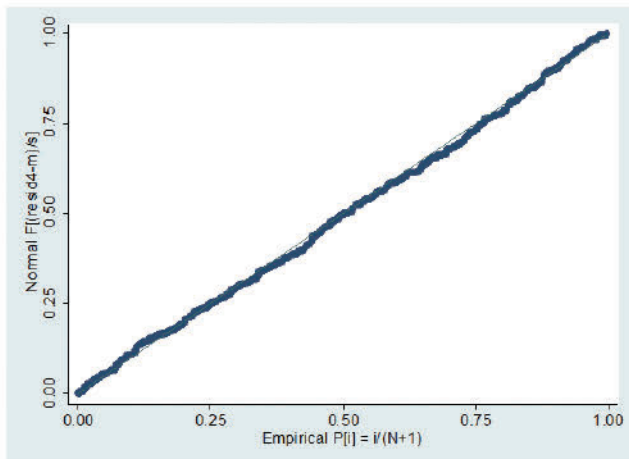
1) 시나리오 구성

본 모의실험의 시나리오는 「도시기본계획」과 「기본계획」의 목표연도에 기초하여 2025년, 2030년, 2035년의 세 목표연도에 대한 예측으로 구성하였다.

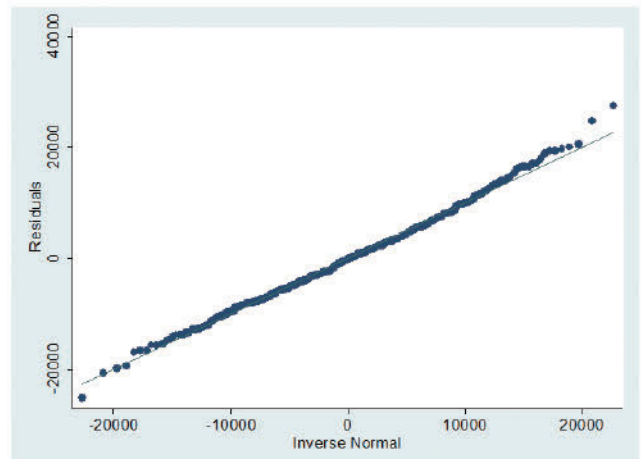
시나리오별 모형변수는 「도시기본계획」 계획지표를 입력하되, 강수량 변수는 「제주특별자치도 기후변화 전망분석서」를 참고했고 계절 변수는 사계절 가변수의 평균을 적용하였다. 그에 따라 모의실험 시나리오별 모형변수는 〈표 8〉과 같이 ‘상주인구(pop)’, ‘내도객(visit)’, ‘강수량(ppt)’, ‘계절(season)’, ‘절편(cons)’으로 구성하였다. 여기서 특기할 점은 본 모의실험의 예측은 목표연도



(b) Frequency distribution of residuals



(c) P-P plot of residuals



(d) Q-Q plot of residuals

Figure 3. Normal probability plots of residuals

Source: Kim, S.H. (2019)

Table 8. Configuration of the model variables by the three target year scenarios

Variable	Unit	Target year		
		2025	2030	2035
Pop	persons	800,000	820,000	840,000
Visit	persons	49,213	52,165	55,118
Ppt ¹⁾	mm	6.03		5.22
Season ²⁾	m ³	4,284.7		
Cons ³⁾	m ³	-307,309		

Note: 1) The precipitation was calculated by dividing the annual precipitation by 365 days.
 2) The "Jeju Special Self-Governing Province Climate Change Forecast Analysis Report" was referred to.
 3) The average values of the season dummies were applied.

에 맞추어 수행하므로, 모형변수는 연평균 값을 입력한 점, 계절을 나타내는 가변수인 '봄(s01)', '여름(s02)', '가을(s03)', '겨울(s04)'은 평균을 취하여 '계절(season)' 가변수로 합성하여 입력한 점, 그리고 '연도' 가변수는 예측에 적용하기 어려워 제외된 점이다.

〈표 8〉의 목표연도 시나리오에 따른 모형변수 입력값과 산정근거는 다음과 같다.

첫째, 상주인구는 2025년 80만 명, 2030년 82만 명, 2035년 84만 명을 입력하며, 이는 「도시기본계획」의 목표연도별 계획인구에 근거한다. 둘째, 내도객은 2025년 49,213인, 2030년 52,165인, 2035년 55,118인을 입력하며, 근거는 「기본계획」의 목표연도별 관광객수이다. 다만, 관광객수, 즉 체류인구를 평균체류일을 이용하여 내도객으로 환산한 값을 입력하였다. 여기서 평균체류일은 「도시기본계획」에 적용된 값(5.08일)을 준용한 것이다. 셋째, 강수량은 연강수량을 연중 일수로 나누어 산정한 연평균강수량으로서 2025년과 2030년은 6.03mm, 2035년은 5.22mm를 입력하였다. 이는 기상청(2018)의 「제주특별자치도 기후변화 전망분석서」를 참고한 것이다. 「제주특별자치도 기후변화 전망분석서」는 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP) 시나리오에 따른 기후변화 분석결과를 종합한 보고서이며, 여기서는 온실가스 감축정책이 상당히 실현되는 대표농도경로 시나리오, RCP4.5를 상정하였다. 넷째, 계절은 봄, 여름, 가을, 겨울 가변수 값의 평균을 취하여 4,284.7m³를 입력하였다.

2) 예측 및 가설검정

공공하수처리시설 포화에 관한 시나리오별 가설검정 결과는 〈표 8〉의 모형변수를 〈수식 2〉에 대입하여 〈표 9〉와 같이 산정하였다. 그에 따른 유입하수량 예측값은 2025년 325,047.4m³, 2030년 340,996.0m³, 그리고 2035년 356,443.9m³이며, 유의수준, 표준오차를 고려한 예측구간 상한은 목표연도 순으로 341,900.8m³, 358,045.9m³, 373,706.5m³이다. 이는 목표연도 공급예정 시설

Table 9. The result of individual prediction

Items	Target years		
	2025	2030	2035
Predicted value (m ³)	325,047	340,996	356,444
Significance level	0.05	0.05	0.05
Standard error (m ³)	8,575	8,675	8,784
Upper limit of prediction interval (a, m ³)	341,901	358,046	373,707
Peak load ¹⁾ (a'=a×1.25, m ³)	427,376	447,557	467,133
Infrastructure capacity ²⁾ (b, m ³)	428,000	428,000	433,000
Spare capacity (c=b-a', m ³)	624	-19,557	-34,133

Note: 1) The daily peak factor of 1.25 is applied.
 2) The "Master Plan of Sewerage Maintenance in Jeju Special Self-Governing Province Metropolitan" was referred to.

용량에 비해 낮은 수치이나, 침투를 고려하지 않은 것이다. 이에 침투시 기반시설용량 포화여부를 검토하기 위해, 침투부하량을 예측구간 상한에 「기본계획」의 변동부하율 1.25를 곱하여 구하였다. 침투부하량 산정결과는 2025년 427,376.0m³, 2030년 447,557.4m³, 2035년 467,133.1m³이다. 기반시설용량이 침투부하량보다 낮으면 귀무가설이 기각되고 대립가설이 채택되므로 기반시설용량이 포화될 것이라는 통계적 추론이 가능하다. 여유용량은 2025년 624.0m³, 2030년 -19,557.4m³, 2035년 -34,133.1m³로 산정되었다. 이는 공공하수처리시설의 공급과 수요가 각각 「기본계획」과 「도시기본계획」의 예측에 따라 변화한다고 보았을 때, 0.05의 유의수준에 대하여 목표연도 2025년에는 기반시설용량이 포화되지 않으나 2030년과 2035년에는 포화되며, 포화량은 19,557m³에서 34,133m³로 집중할 것임을 의미한다. 이를 미연에 방지하기 위해서는 기반시설용량을 늘리기 위한 공공하수처리시설 증설 또는 침투부하량을 줄이기 위한 계획인구 하향조정을 도모해야 할 것이다. 여기서 후자는 개발행위허가 용량 개념을 이용해 개발행위허가를 제한하는 방법으로 실현할 수 있다.

3) 개발행위허가용량 도출

최대허용개발량과 개발행위허가용량은 〈표 10〉과 같이 원단위법을 이용하여 산정하였다. 원단위법은 모형변수의 단위를 연면적(m²)으로 변환해야 할 때, 가장 간편하게 적용할 수 있는 방법이다.

원단위법을 이용한 '최대허용개발량' 및 '개발행위허가용량' 산정과정은 (가) '상주인구' 집계, (나) '주거용 건축물 연면적' 집계, (다) '주택점유원단위' 산정, (라) '상주인구 수용력' 산정, (마) '최대허용개발량' 도출, (바) '개발행위허가용량' 도출 순으로 진행된

Table 10. The calculation of development permit capacity

Items	Target years		
	2025	2030	2035
Registered resident population ¹⁾ (a, persons)		667,411	
Gross area of residential buildings ²⁾ (b, m ²)		22,644,851	
Average housing space per capita (c=b/a, m ²)		33.94	
Capacity for registered resident population ³⁾ (d, persons)	800,649	799,635	804,457
Maximum allowable development capacity (e=d×c, m ²)	27,174,494	27,140,078	27,303,739
Development permit capacity (f=e-b, m ²)	4,529,642	4,495,227	4,658,888

Note: 1) The baseline resident population is of 2018.
 2) MOLIT, 2018. "The Statistics Data on the Status of Buildings."
 3) It is equal to the registered resident population that makes the spare capacity zero.

다. 각 절차를 설명하면 다음과 같다. (가)는 계획시점(2018년)의 상주인구를 집계한다. (나)는 계획시점의 주거용 건축물 연면적을 집계하는 과정이다. 여기서 건축물의 용도는 주거용으로 한정했고, 참고자료는 국토교통부(2018)의 「건축물 현황 통계」를 활용하였다. (다)는 주거용 건축물 연면적을 상주인구로 나누어 계획시점의 주택점유단위를 산정하는 과정이다. (라)는 상주인구 수용력을 구하는 과정으로, 이는 첨두부하량과 기반시설용량이 같아지는, 즉 여유용량이 0m³이 되는 상주인구의 값과 같다. 이때 다른 변수는 고정한다. (마)는 상주인구 수용력으로부터 최대 허용개발량을 구하는 과정이다. 최대허용개발량은 여유용량이 0m³ 미만인 되지 않도록 하는 최대 개발량으로 상주인구 수용력에 주택점유단위를 곱하여 구한다. (바)는 계획시점에서 목표연도까지 추가로 개발가능한 개발량을 의미하는 개발행위허가 용량을 구하는 과정이다. 이는 최대허용개발량과 주거용 건축물 연면적의 차로써 구하였다. 위 절차에 따른 시나리오별 개발행위허가용량 산정결과는 2025년 4,529,642m³, 2030년 4,495,227m³, 2035년 4,658,888m³이었다.

4. 소결

시나리오 분석결과, 목표연도가 5년씩 연장됨에도 주거용 건축물 기준 개발행위허가용량은 약 4백 5십 만m²에서 정체되며, 「도시기본계획」 계획지표는 대체로 증가하였다. 이는 「기본계획」에

따라 시설용량이 증설되더라도 상주인구와 내도객이 「도시기본계획」과 같이 증가하면 2020년 이후에는 기반시설용량이 포화될 것임을 시사한다.

이를 방지하기 위해서는 공급확대 또는 수요억제가 필요할 것이다. 그런데 공급확대는 지방정부가 통제할 수 없는 외부요인이 계획추진의 변수로 작용하기 쉽다. 가령 공공하수처리시설 신규 설치 및 증설 시에는 환경부 승인 하에 「기본계획」이 변경되어야 국비지원을 받을 수 있다. 또한 공공하수처리시설은 제주도의 사례와 같이(김정호, 2017; 홍창빈, 2020) 주민반대에 의하여 절차가 지연되거나 중단될 가능성이 높다. 이 때문에 공급확대만으로는 공공하수처리시설의 여유용량을 관리하기 어렵다. 따라서 수요억제가 병행되어야 한다. 수요억제 방안은 계획시점으로부터 목표연도까지 신규 개발행위허가 총량이 개발행위허가용량을 상회하지 않도록 제한함으로써 기반시설 여유용량이 포화되지 않도록 관리하는 것이다. 이는 지방정부가 장기적인 계획 하에 체계적으로 추진할 수 있다.

V. 결론

1. 연구결과 요약

첫째, 미국 기반시설연동제와 국내 기반시설연동제를 비교하여 고찰함으로써, 국내 제도의 한계점과 본 연구의 정책대안의 차별성을 검토하였다. 이로써 적정서비스수준과 개발행위허가의 연계가 미흡한 것이 국내 기반시설연동제 무력화의 주요 원인으로 작용한다는 점, 개발행위허가제 개선이 이 문제의 해결에 결정적이라는 점, 개발행위허가제 개선에 있어서 적정서비스수준과 개발행위허가 절차의 연계성 회복이 긴요하다는 점을 알 수 있었다.

둘째, 공공하수처리시설을 중심으로 적정서비스수준을 고려한 개발행위허가제 개선방안을 제시하였다. 이는 「개발행위허가운영지침」을 개정하여 적정서비스수준의 근거조항을 신설하고 구체적 사항은 별표를 통해 삽입하되, 기반시설을 필수기반시설과 선택기반시설로 구분하여 선택기반시설의 경우에는 조례에 위임하는 방식으로 제도의 유연성을 제고하는 것으로 요약할 수 있다.

셋째, 공공하수처리시설의 적정서비스수준을 개발행위허가 실무에 반영하기 위한 구체적 방법을 제시하였다. 여기서는 적정서비스수준에 개별 개발행위허가가 미치는 영향을 평가하기보다는 도시계획과 연계하여 계획연도에 대한 개발행위허가용량을 기준으로 개발행위허가의 총량을 관리하는 방식을 제안하였다. 또한 통계적 추론을 통해 개발행위허가용량을 산정하고, 이를 토대로 계획지표를 역산하여 시설용량 이하의 지속가능한 도시성장 한계치 도출과정에 대한 모의실험을 수행하였다.

넷째, 다중선형회귀모형을 이용하여 기반시설에 대한 수요에

측 모형을 구축할 수 있음을 보였다. 수요예측 모형은 2010년부터 9년치 주간 자료를 토대로 구축하였으며, 결정계수는 0.9를 초과하고 선형성, 등분산성, 독립성, 정규성을 충족하였다. 이 연구를 통해 제주도과 같이 극단적 계절성을 보이고 변동성이 높은 환경에서도 모형성능과 적합성을 함께 충족하는 수요예측 모형을 구축할 수 있었다.

2. 정책적 시사점

본 연구의 정책적 시사점은 적정 공공시설 요구제(Adequate Public Facility Requirement, APFR)의 국내 도입 방법이 구체적으로 제시되었다는 점에 있다. 적정 공공시설 요구제는 미국 초기 도시성장관리 대표사례인 페탈루마 시에서 최초로 도입한 도시성장관리정책의 일종으로, 최대허용개발량에 기초한 도시성장한계 도출 및 신규개발 관리를 통해 적정서비스수준을 보전하는 제도이다. 이는 개발행위허가용량에 기초하여 신규 개발행위허가량을 제한함으로써 적정서비스수준을 관리하는 본 연구의 개발행위허가 모형과 동일한 구조를 갖는다. 또한 공공하수처리시설은 일반적으로 그 처리구역에 기개발지를 대부분 포함하며, 도시의 지속가능한 성장을 위한 적정서비스수준 관리가 필수적인 기반시설이다. 이 점에서 적정 공공시설 요구제의 초기 도입 대상으로서 적합할 것이다.

3. 연구의 한계 및 향후 연구과제

연구의 한계 및 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 축소도시 시대를 맞아 기반시설연동제의 개념과 내용이 재정립 되어야할 필요가 있다. 현행 기반시설연동제는 난개발 방지를 위한 2002년 당시의 구조에서 크게 변하지 않았다. 그러나 기반시설연동제의 역할은 단순히 난개발 방지에 그치는 것이 아니라, 도시의 변화에 대응하여 적정서비스수준을 양호한 수준으로 관리함으로써 ‘공공복리와 삶의 질’을 보호하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 이 점에서 ‘도시의 변화’가 도시마다 성장, 정체, 쇠퇴의 다양한 모습으로 진행되는 축소도시 시대에 적합한 새로운 기반시설연동제의 의의와 역할에 대한 연구가 이루어지기를 희망한다.

둘째, 수요예측 모형의 변수로서 개발행위허가와 기반시설 수요의 관계는 더욱 명료하게 정리되어야 한다. 기반시설연동제는 기반시설용량과 개발행위허가를 연동하는 것이므로, 본래는 기반시설용량과 개발행위허가를 각각 종속변수와 독립변수로 설정하고 상관관계를 구조화함으로써 수요예측 모형을 구축할 필요가 있다. 그러나 개발행위허가 자료는 모형구축에 불리하고 도시 계획과 연계하기 어려워 본 연구에서는 부득이 계획인구 등의 계획지표를 개발행위허가의 대리변수로 활용하였다. 기반시설 수

요발생의 근본원인은 사람이며, 이는 대체로 건축물을 이용하는 과정에서 발생한다고 보았기 때문이다. 이점에서 향후연구과제에서는 인구와 도시건조환경의 상호작용을 반영할 수 있도록 분석 기초자료와 모형을 수정 및 보완하여야 할 것이다. 본고에서는 인구와 기반시설 수요의 관계가 수요예측 모형에 충실하게 반영되지 못하였다. 이는 분석 기초자료의 한계에 의한 것으로 보인다. 모형 및 변수 다양성은 표본크기에 의존하는데, 표본의 크기가 468개에 불과하여 모형구축에 어려움이 있었다. 이 같은 한계는 시간단위의 연령별, 거주지별 인구정보를 제공하는 생활인구 빅데이터를 활용함으로써 해결할 수 있을 것이다. 다만, 본고에서는 예산한계로 생활인구 빅데이터를 활용하지 못하였다. 차체에 집계구 단위 생활인구 빅데이터가 무상제공되는 서울특별시를 대상으로 후속연구를 수행함으로써, 자료한계를 극복하고 개발행위허가와 기반시설수요 간 관계에 대한 심층연구를 수행해보고자 한다.

셋째, 수요예측 모형개선이 필요하다. 수요예측 모형은 원칙적으로 개별 공공하수처리시설에 대응해 구축되어야 하지만, 본고에서는 자료의 한계로 인해 제주도 내 8개 시설을 종합하여 단일 모형을 구축하였다. 이를 해결하기 위해서는 표본크기 및 공간식별성이 개선된 분석 기초자료를 확보하고 모형을 개선해야 할 것이다. 양질의 분석 기초자료는 생활인구 빅데이터를 통해 확보할 수 있을 것이라 생각되며, 모형은 생활인구 빅데이터에 기초한 패널모형이나 지리가중회귀모형 등 대안적 모형 적용을 통해 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 패널모형은 개별 공공하수처리시설의 처리구역 또는 집계구와 같은 단위지역의 개별적 특성을 반영할 수 있고 지리가중회귀모형은 단위지역의 공간자기상관성을 모형에 반영시킬 수 있다는 점에서 기존 시계열 회귀모형보다 긍정적 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

넷째, 개발행위허가용량을 더욱 정밀하게 도출하기 위한 원단위 산정이 필요하다. 이 연구에서 산정한 개발행위허가용량은 주거용 건축물에 한정된 것으로서, 개발행위허가로 기반시설용량을 관리하기 위한 일종의 원리를 제시했을 따름이다. 이 대안의 현실적응성 제고를 위해서는 개발행위허가용량을 건축물 용도별로 산정, 배분하는 방법이 함께 모색되어야 할 것이다. 이 점에서 개발행위허가용량을 환경부에서 고시하는 ‘건축물 용도별 오수발생량’과 같은 원단위 형태로 산정하고 정기적으로 관리하는 개발행위허가용량 원단위 관리체계에 대한 연구가 필요할 것이다.

주1. 기반시설 설치위치가 사업대상지 내부(on-site)인지, 아니면 외부(off-site) 인지를 고려하지 않고 개발사업의 영향을 두고 판단한다.

주2. 수요예측 모형의 예측결과에 따라, 침투시에 기반시설에 가해질 수 있는 최대 부하량을 의미한다. 시간단위는 수요예측 모형과 같다. 본 모의실험에서는 일단위를 적용한다.

인용문헌 References

1. 기상청, 2018. 「제주특별자치도 기후변화 전망분석서」, 서울: 기상청.
Korea Meteorological Administration, 2018. *Jeju Special Self-Governing Province Climate Change Forecast Analysis Report*, Seoul: Korea Meteorological Administration.
2. 김광수, 2017. “개발행위허가의 쟁점과 절차”, 「토지공법연구」, 77: 1-27.
Kim, K.S., 2017. “Issues and Procedures of the Development Permit System”, *Public Land Law Review*, 77: 1-27.
3. 김상원, 2015. “비시가지지역 개발행위허가 실태분석 연구: 화성시를 중심으로”, 「국토연구」, 84: 131-143.
Kim, S.W., 2015. “A Study on the Actual State of Development Permit in Non-urbanized Area: Focused on the Hwaseong-si”, *The Korea Spatial Planning Review*, 84: 131-143.
4. 김상조·최내영·이영아·박세훈·최윤정·홍성화·김영진·김성훈·김수용·김상현·장유경·박지운·안수지·김형복, 2008. 「기반시설부담구역제도 시행 및 운영활성화를 위한 연구」, 과천: 국토해양부.
Kim, S.J., Choei, N.Y., Lee, Y.A., Park, S.H., Chei, Y.J., Hong, S.H., Kim, Y.J., Kim, S.H., Kim, S.Y., Kim, S.H., Jang, Y.K., Park, J.Y., An, S.J., and Kim, H.B., 2008. *A Research to Implement and Activate the Korean Development Impact Fees*, Gwacheon: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
5. 김상조·박세훈·이진희, 2010. 「도시성장관리를 고려한 기반시설부담구역제도 개선방안 연구」, 안양: 국토연구원.
Kim, S.J., Park, S.H., and Lee J.H., 2010. *An Approach on Policy Improvement for Impact Fee Area Considering the Smart Growth*, Anyang: Korea Research Institute for Human Settlements.
6. 김성훈, 2019. “기반시설용량을 고려한 개발행위허가 모델 연구: 제주도 공공하수처리시설을 중심으로”, 홍익대학교 대학원 박사학위논문.
Kim, S.H., 2019. “A Study on the Modeling of Suitable Development Permits Considering the Infrastructure Facility Capacities: The Case of Sewage Treatment Plant in Jeju Island”, Ph.D. Dissertation, Hongik University.
7. 김영환, 2013. “도농통합시의 개발행위허가 실태 분석에 관한 연구: 통합청주시를 중심으로”, 「한국지적정보학회지」, 15(1): 241-253.
Kim, Y.H., 2013. “A Study on the Development Permit in Urban-Rural Integration City: Centering on Cheongju Integration City”, *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, 15(1): 241-253.
8. 김태경·김제국·권대한, 2007. “개발행위허가제도 운용실태 및 개선방향에 관한 연구”, 「국토계획」, 42(3): 47-61.
Kim, T.K., Kim, J.K., and Kwon, D.H., 2007. “A Study on Application Aspects and Reform Directions of Development Permit System”, *Journal of Korea Planning Association*, 42(3): 47-61.
9. 김형복·최내영, 2011. “기반시설 설치계획 및 부담계획 수립에 관한 사례연구: 법정 인구증가를 기준을 중심으로”, 「한국지역개발학회지」, 23(3): 19-37.
Kim, H.B. and Choei, N.Y., 2011. “A Case Study on the Infrastructure Installation and Cost Allocation Plans: On the Basis of Population Growth Rate Criterion”, *Journal of the Korean Regional Development Association*, 23(3): 19-37.
10. 류해웅, 2002. “토지의 계획적 개발과 이용을 위한 개발허가제의 확대도입”, 「국토」, 245: 36-47.
Yoo, H.W., 2002. “The Expansion of the Development Permit for the Planned Development and Land-use”, *Planing and Policy*, 245: 36-47.
11. 서순탁, 2000. “수도권 준농림지역 난개발 실태와 대책”, 「국토」, 226: 6-17.
Suh, S.T., 2000. “Current Status and Alternatives of Unsustainable Development in Semi-Agricultural Areas in Metropolitan Area”, *Planning and Policy*, 226: 6-17.
12. 서순탁·김제국, 2006. “개발행위허가제 실태분석과 정책적 시사점: 경기도 용인시 사례를 중심으로”, 「국토연구」, 49: 109-125.
Suh, S.T. and Kim, J.K., 2006. “An Analysis of the Development Permit System and Policy Implications”, *The Korea Spatial Planning Review*, 49: 109-125.
13. 서순탁·김진아, 2008. “한국과 일본의 개발행위허가제 비교”, 「국토계획」, 43(6): 39-52.
Suh, S.T. and Kim, J.A., 2008. “A Comparative Study on the Korean and Japanese Development Permit System”, *Journal of Korea Planning Association*, 43(6): 39-52.
14. 석종현, 2015. “개발행위허가제에 관한 고찰”, 「토지공법연구」, 71: 1-37.
Seok, J.H., 2015. “An Investigation into Development Permits System”, *Public Land Law Review*, 71: 1-37.
15. 윤장식·이삼수, 2019. “일본의 축소도시 대응정책의 도시계획적 함의: 입지정화계획을 중심으로”, 「국토계획」, 54(2): 17-32.
Yoon, J.S. and Lee, S.S., 2019. “A Study on the Urban Planning's Implications and the Governmental Policies for Shrinking City in Japan: Focusing on Location Normalization Plan”, *Journal of Korea Planning Association*, 54(2): 17-32.
16. 이경윤·최내영, 2011. “대안적 기반시설설치계획에 따른 기반시설부담비용 산정결과에 관한 사례연구”, 「한국지방자치학회보」, 23(3): 309-330.
Lee, K.Y. and Choei, N.Y., 2011. “A Case Study on the Result of Calculating DIF According to the Alternative Infrastructure Installation Plan”, *Journal of Local Government Studies*, 23(3): 309-330.
17. 이삼수·전혜진·이재수, 2018. “축소도시의 진단 기준과 사례 분석 및 발생 요인 연구”, 「주택도시연구」, 8(3): 83-100.
Lee, S.S., Jeon, H.J., and Lee, J.S., 2018. “An Investigation into the Evaluation Criteria, Cases and Causes of Urban Shrinkage”, *SH Urban Research & Insight*, 8(3): 83-100.
18. 이영성, 2005. “최적성장관리와 시사점에 관한 연구”, 「국토계획」, 40(5): 59-73.
Lee, Y.S., 2005. “A Study on Optimal Growth Control Theories and Their Implications”, *Journal of Korea Planning Association*, 40(5): 59-73.
19. 이영성, 2007. “기반시설 확충을 위한 부담금의 문제점과 개선방향에 관한 연구”, 「부동산학보」, 31: 265-279.
Lee, Y.S., 2007. “A Study on Problems and Policy Recommen-

- dations in Managing Various Fees for Infrastructure”, *Korea Real Estate Academy Review*, 31: 265-279.
20. 이왕건·김상조·박은관·이범현·정소연·이승용·최내영·이재웅·서현석·조선목·맹지은·박지윤·김상현·김수용·김형복·김현아·박상원·류인경·강운산·이영성·정희남, 2007. 「기반시설 부담금제도의 실태분석 및 발전방안에 관한 연구」, 과천: 건설교통부.
Lee W.G., Kim, S.J., Park, U.G., Lee, B.H., Jeong, S.Y., Lee, S.Y., Choei, N.Y., Lee, J.W., Seo, H.S., Jo, S.M., Maeng, J.E., Park, J.Y., Kim, S.H., Kim, S.W., Kim, H.B., Kim, H.A., Park, S.W., Ryu, I.K., Kang, U.S., Lee, Y.S., and Jeong, H.N., 2007. *A Study on the Actual Condition Analysis and Improvement Plan of Korean DIF*, Gwacheon: Ministry Of Construction & Transportation.
 21. 이용직·최내영, 2014. “기반시설부담구역 추출을 위한 용도지역 지구 공간정보 적용방안 연구”, 「한국지형공간정보학회지」, 22(1): 89-99.
Lee, Y.J. and Choei, N.Y., 2014. “A Method to Use the Land-Use Zoning Information to Extract the DIF Zones”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 22(1): 89-99.
 22. 이창수·김용하·김현수·김찬호·정재효, 2002. “기반시설연동제도 도입과 도시계획의 과제”, 「도시정보」, 242: 3-15.
Lee, C.S., Kim, Y.H., Kim, H.S., Kim, C.H., and Jeong, C.H., 2002. “Introduction of Development-Infrastructure Linkage Program and tasks of urban planning”, *Regional Policy Review*, 242: 3-15.
 23. 정희근, 2007. “개발행위허가에 관한 소고”, 「토지공법연구」, 38: 159-172.
Jeong, H.G., 2007. “A Study on Development Act Licence”, *Public Land Law Review*, 38: 159-172.
 24. 조덕훈, 2002. “우리나라 대도시 주변부 택지개발규제의 문제와 개선방안 연구: 기반시설연동제를 중심으로”, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
Cho, D.H., 2002. “The Rationalization of Land Development Regulations in Korean Metropolitan Fringe: Focusing on the Development-Infrastructure Linkage Program”, Ph. D. Dissertation, Seoul University.
 25. 조덕훈, 2005. “미국 기반시설연동제의 운영체계 및 시사점”, 「지역연구」, 21(1): 117-135.
Cho, D.H., 2005. “The Operation System of Adequate Public Facility Requirements in U.S.A. and Its Implication”, *Journal of the Korean Regional Science Association*, 21(1): 117-135.
 26. 조덕훈, 2008. “기반시설연동제의 성공적 시행방안 연구”, 「공간과 사회」, 29: 116-147.
Cho, D.H., 2008. “A Study on the Successful Implementation of ‘Adequate Public Facility Requirements’ in Korea”, *Space and Environment*, 29: 116-147.
 27. 조철주, 2003. “성장관리의 구성요소와 운영”, 「지역정책연구」, 14(1): 121-136.
Cho, C.J., 2003. “Key elements of Florida's growth management system and its operation”, *Regional Policy Review*, 14(1): 121-136.
 28. 채미옥·염형민·지대식·신동진·최혁재·조춘만·송희승, 2004. 「계획적 국토관리를 위한 정책수단의 운용실태 및 개선방안 연구」, 안양시: 국토연구원.
 - Chae, M.O., Yeom, H.M., Ji, D.S., Shin, D.J., Choi, H.J., Cho, C.M., and Song, H.S., 2004. *Policy Tools for Planned Territorial Management: Implementation Status and Policy Suggestions*, Anyang: Korea Research Institute for Human Settlements.
 29. 최내영·김형복·김성훈·전석훈·조유래, 2013. 「기반시설부담구역제 제도개선 및 활성화 방안 연구」, 세종: 국토교통부.
Choei, N.Y., Kim, H.B., Kim, S.H., Jeon, S.H., and Cho, Y.R., 2013. *A Study to Amend the DIF Zoning Law to Vitalize Its Administration*, Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
 30. 최내영, 2009a. “개발행위허가 지적정보에 의한 기반시설부담구역 선별방안”, 「한국지형공간정보학회지」, 17(3): 89-95.
Choei, N.Y., 2009a. “Determination of the Impact Fee Zone by the Parcel Based Information of Development Permit”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 17(3): 89-95.
 31. 최내영, 2009b. “기반시설부담구역 지정을 위한 격자분석방법 연구: 산업형 개발유형을 중심으로”, 「한국도시지리학회지」, 12(2): 65-75.
Choei, N.Y., 2009b. “A Grid Analysis to Designate the Zone to Levy the Impact Fee for Infrastructure Provision: The Case of the Industrial Localities”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 12(2): 65-75.
 32. 최내영, 2009c. “기반시설부담구역의 경계설정에 관한 연구: 인구증가를 기준을 중심으로”, 「국토계획」, 44(5): 83-95.
Choei, N.Y., 2009c. “A Study on the Grid Analysis to Designate the Zone for Impact Fee Based on the Population Increase Rate Criteria”, *Journal of Korea Planning Association*, 44(5): 83-95.
 33. 최내영, 2011a. “기반시설부담구역에서의 표준단위설치비용 산정 사례연구”, 「대한공간정보학회지」, 19(3): 127-136.
Choei, N.Y., 2011a. “A Case Study to Estimate the Unit Standard Infrastructure Cost in Levying the Korean Development Impact Fees”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 19(3): 127-136.
 34. 최내영, 2011b. “기반시설부담비용 산정 모의실험에 관한 연구”, 「지방정부연구」, 14(4): 233-254.
Choei, N.Y., 2011b. “A Simulation Study on the Development Impact Fee Estimation”, *The Korean Journal of Local Government Studies*, 14(4): 233-254.
 35. 최준영·최내영, 2008. “기반시설부담금제의 용지환산계수 산정 개선방안에 관한 연구”, 「국토계획」, 43(2): 73-85.
Choi, J.Y. and Choei, N.Y., 2008. “The Improvement of the Land Conversion Factor (LCF) Coefficients in the Korean Development Impact Fees Estimation”, *Journal of Korea Planning Association*, 43(2): 73-85.
 36. 최준영·최내영, 2016. “Application of the Cost-Distance Measures for Designating Zone Boundaries in DIF Zoning”, 「한국지형공간정보학회지」, 24(2): 3-13.
Choi, J.Y., and Choei, N.Y., 2016. “Application of the Cost-Distance Measures for Designating Zone Boundaries in DIF Zoning”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 24(2): 3-13.
 37. 황은경, 2009. “건축허가 법령 통합 관리 방안에 관한 연구”, 「대

한건축학회 논문집-계획계, 25(7): 21-28.

Hwang, E.K., 2009. "A Study on the Total Management for the Laws Related with Building Permit", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 25(7): 21-28.

38. Bontje, M., 2004. "Facing the Challenge of Shrinking Cities in East Germany: The Case of Leipzig", *Geo Journal*, 61(1): 13-21.

39. Bowyer, R.A., 1993. *Capital Improvements Programs: Linking Budgeting and Planning*, Chicago: American Planning Association.

40. Burge, G. and Ihlanfeldt, K., 2006. "Impact Fees and Single-Family Home Construction", *Journal of Urban Economics*, 60(2): 284-306.

41. Daniels, T. and Bowers, D., 1997. *Holding Our Ground: Protecting America's Farms and Farmland*, Washington, D.C.: Island Press.

42. Moody, M. and Nelson, A., 2002. "Impact Fees: the Grease that Sustains Local Economic Development", The Paper Presented at the Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy.

43. Nicholas, J.C., Nelson, A.C., and Juergensmeyer, J.C., 1991. *A Practitioner's Guide to Development Impact Fees*, Chicago: American Planning Association.

44. Pallagst, K., 2009. "Shrinking Cities in the United States of America: Three Cases, Three Planning Stories", *The Future of Shrinking Cities*, 1: 81-88.

45. Patterson, T.W., 1979. *Land Use Planning: Techniques of Implementation*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.

46. Porter, D.R., 1997. *Managing Growth in America's Communities*, Washington, D.C.: Island Press.

47. Rink, D., Haase, A., Bernt, M., Arndt, T., and Ludwig, J., 2011. *Urban Shrinkage in Leipzig, Germany*, Research Report, EU 7 FP Project Shrink Smart (contract no. 225193), WP2, January. UFZ, Leipzig: Helmholtz Centre for Environmental Research.

48. Schett, S., 2011. "An Analysis of Shrinking Cities", *Urban Ecology*, Innsbruck: Institute for Urban Development and Spatial Planning, University of Innsbruck.

49. Wiechmann, T. and Pallagst, K.M., 2012. "Urban Shrinkage in Germany and the USA: A Comparison of Transformation Patterns and Local Strategies", *International Journal of Urban and Regional Research*, 36(2): 261-280.

50. 국토교통부, "2018년 건축물현황", 2019.3.2읽음. <http://stat.molit.go.kr/portal/cate/statFileView.do?hRsId=19&hFormId=&hSelectId=&sStyleNum=&sStart=&sEnd=&hPoint=&hAppr=>
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Building Status in 2018", Accessed March 2, 2019. <http://stat.molit.go.kr/portal/cate/statFileView.do?hRsId=19&hFormId=&hSelectId=&sStyleNum=&sStart=&sEnd=&hPoint=&hAppr=>

51. 김정호, 2017.10.16. "4000억 단계별 제주하수처리 현대화 전면 백지화", *제주의 소리*, <http://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=196082>
Kim, J.H., 2017, Oct. 16. "The Staged Jeju Sewage Treatment Facility Modernization Project, with a Budget of 400 Billion Won, Has Been Eliminated", *Jejusori*. <http://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=196082>

52. 김호천, 2016.9.9. "제주하수처리장 용량 부족...오염수 15개월째 바다 방류", *연합뉴스*, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160909196900056>
Kim, H.C., 2016, Sep. 9. "Insufficient Capacity of Jeju Sewage Treatment Plant...Contaminated Water Discharged to the Sea for 15 Months", *Yonhap News Agency*. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160909196900056>

53. 오재용, 2016.9.21. "관광객 하루 평균 14만명... 청정 제주, 病든다", 「*조선일보*」, https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2016/09/21/2016092100166.html
Oh, J.Y., 2016, Sep. 21. "The Average Daily Number of Tourists Is 140,000... Jeju Is Getting Sick.", *The Chosun Ilbo*. https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2016/09/21/2016092100166.html

54. 조의명, 2016.9.5. "제주 바다의 말 못할 비밀", *MBC*, https://imnews.imbc.com/replay/2580/4108708_29945.html
Cho, E.M., 2016, Sep. 5. "The Unspeakable Secret of the Jeju Sea", *MBC*. https://imnews.imbc.com/replay/2580/4108708_29945.html

55. 행정안전부, "주민등록 인구 및 세대현황", 2021.1.10읽음. <https://jumin.mois.go.kr/>
Ministry of the Interior and Safety, "Resident Registration Population and Household Status", Accessed January 10, 2021. <https://jumin.mois.go.kr/>

56. 허성찬, 2020.3.22. "제주 하수대란 심각...처리장 8곳 중 7곳 포화", *제주도민일보*, <http://www.jejudomin.co.kr/news/articleView.html?idxno=122239>
Hur, S.C., 2020, Mar. 22. "Jeju Sewage Crisis Is Severe... 7 of 8 Treatment Plants Are Saturated", *Jejudomin*. <http://www.jejudomin.co.kr/news/articleView.html?idxno=122239>

57. 홍창빈, 2020.5.27. "제주 하수처리장 포화문제, 용량확대가 답 아니다", *헤드라인제주*, <https://www.headlinejeju.co.kr/news/articleView.html?idxno=418247>
Hong, C.B., 2020, May 27. "Jeju Sewage Treatment Plant Saturation Problem, Capacity Expansion Is Not the Solution", *Headline Jeju*.

58. 환경부, "2018 하수도통계", 2019.2.15읽음. http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=7440
Ministry of Environment, "2018 Sewerage Statistics", Accessed February 15, 2019. http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=7440

Date Received 2021-03-22
Date Reviewed 2021-05-27
Date Accepted 2021-05-27
Date Revised 2021-06-22
Final Received 2021-06-22