

동태적 패널접근을 활용한 지방 재정지출의 수질개선 효과분석[†]

강효녕*·서동희**

요약 : 본 연구는 동태적 접근 방식을 이용하여, 지방 재정지출이 수질개선에 미치는 직접효과와 간접효과를 추정한다. 이를 위해 2010년부터 2018년까지 173개 시군구를 대상으로 패널자료를 구축하고, 2단계 동태패널모형을 추정한다. 실증분석 결과를 정리하면, 첫째, 수질 환경부문의 재정지출은 BOD 및 T-P 개선에 효과적인 것으로 나타났다. BOD에 비해 T-P에 대한 직접효과가 더 크게 나타났으며, 장기적으로 그 효과가 커지는 것으로 나타났다. 둘째, 수질개선을 위한 재정지출은 지역 소득에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 지역 소득과 BOD는 '역 U자형' 관계를 보였다. 수질 개선에 대한 재정지출의 평균적인 간접효과는 BOD에 대해서만 지역 경제성장 과정에서 수질을 악화시키는 것으로 나타났다. 셋째, BOD의 경우 수질개선에 대한 지방 재정지출 효과는 간접효과보다 직접효과가 컸으나, T-P의 경우 간접효과는 유의하지 않고, 직접효과에 의해서만 총효과가 결정되었다. 즉 지방 재정지출이 지역 경제성장을 통해 수질을 악화시킬 수 있지만, 수질을 직접적으로 개선하는 효과가 장·단기에 더욱 크게 나타났다.

주제어 : 수질, 지방 재정지출, 경제성장, 직접효과, 간접효과, 동태패널모형

JEL 분류 : Q25, Q28, Q53, Q58

접수일(2024년 1월 8일), 수정일(2024년 3월 14일), 게재확정일(2024년 4월 4일)

[†] 본 연구의 초안은 2021년 아시아환경자원경제학회와 2022년 경제학공동학술대회에서 발표되었으며, 본 논문은 제1저자의 박사학위 논문을 수정·보완하여 작성되었음.

* 한국해양수산개발원 부연구위원, 제1저자(e-mail: young@kmi.re.kr)

** 고려대학교 식품자원경제학과 부교수, 교신저자(email: dhsuh@korea.ac.kr)

A Dynamic Panel Approach to Examining the Effects of Local Fiscal Expenditures on Water Quality[†]

Hyonyong Kang* and Dong Hee Suh**

ABSTRACT : This study aims to assess the direct and indirect impacts of local fiscal expenditures on water quality. Panel data spanning from 2010 to 2018 for 173 cities and districts in Korea are assembled, and a two-stage dynamic panel model is utilized for our estimation. The empirical findings reveal several key insights. Firstly, local fiscal expenditures on water quality are effective in ameliorating both Biological Oxygen Demand (BOD) and Total Phosphorus (T-P). Notably, the direct impact on T-P surpasses that on BOD in the short and long run. Secondly, expenditures dedicated to water quality improvement demonstrate a positive effect on local economic growth, and an inverted U-shaped relationship is observed between BOD and local economic growth. Due to the positive linkage, the indirect effect on BOD suggests, on average, a deterioration in water quality during local economic growth. Thirdly, concerning BOD, the direct effect of government expenditure on water quality improvement outweighs the indirect effect, but in the case of T-P, the indirect effect is not significant, and the total effect is solely determined by the direct impact. Despite local fiscal expenditures potentially exacerbating water quality through regional economic growth, the study finds that the direct enhancement of water quality remains a more substantial factor in the short and long run.

Keywords : Water quality, Local government expenditures, Economic growth, Direct effect, Indirect effect, Dynamic panel model

Received: January 8, 2024. Revised: March 14, 2024. Accepted: April 4, 2024.

[†]The draft was presented at the 2021 annual meeting of the Asian Association of Environmental and Resource Economics and the 2022 annual meeting of Korea's Allied Economic Associations. This paper is based on the first author's PhD dissertation.

* Associate Research Fellow, Korea Maritime Institute, First author (e-mail: young@kmi.re.kr)

** Associate Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University, Corresponding author (e-mail: dhsuh@korea.ac.kr)

1. 서론

물은 인간의 생명 유지에 필요한 절대적 요소로 대체 불가능한 자원이며, 식량 생산뿐만 아니라 산업적·경제적으로 이용 가치가 높은 자원이다. 그러나 급격한 산업화와 경제성장은 산업 현장에서 다량의 폐수를 발생시켰고, 중금속 등의 유독 물질로 인해 수질 오염은 점점 심각해졌다. 또한 산업화는 인구를 도시로 집중시키는 결과로 이어졌으며, 산업구조 고도화와 소득수준 향상 등에 따른 물 사용 증가는 수질오염을 가속화시켜 풍족하고 깨끗한 물 사용을 더욱 어렵게 만들었다. 특히, 높은 수온, 용존산소량 감소 등에 따른 하천의 자정능력 손상 등으로 수질오염은 장기적으로 더욱 심각해질 것이며, 물 부족 지역의 경우 먹는 물의 안정적인 공급이 어려워질 것으로 전망된다(UN, 2020).

1980년대 이후 수질오염은 국민 건강에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 환경정책의 핵심 의제로 부상하였다. 1991년 구미공단에서 발생한 ‘낙동강 폐놀오염 사고 사건’으로 인해 수질오염 문제가 사회적 이슈로 대두되었고, 물 안전성에 대한 국민의 관심이 높아지게 되었다. 이에 정부는 다원화된 물 관리체계에서 발생하는 문제를 해소하고, 물관리 대책을 효율적으로 추진하기 위해 1993년 중앙정부 관계부처 합동으로 <맑은 물 공급 종합대책(1993~1997)>을 수립하였다. 이어 1996년에는 국가 차원의 물 관리 기본계획인 <물관리 종합대책(1997~2011)>을 수립했으며, 최근에는 <제1차 국가 물관리 기본계획(2021~2030)>을 통해 기후 및 경제변화에 효과적으로 대응할 수 있는 지속가능한 물관리 체계를 구축하고 있다.

물관리 정책 변화에 따라 이를 관리·감독하는 정부 조직에도 큰 변화가 있었다. 환경행정의 결정 및 집행 주체는 1995년 지방자치제가 시작됨에 따라 중앙정부에서 지방정부로 이전되었으며, 현재 수질환경 예산의 실질적인 집행은 기초자치단체 중심으로 이루어지고 있다(권혜연 외, 2016). 또한 그동안 환경부와 국토교통부로 분리되어 추진해 왔던 수량, 수질, 재해 관리 등 물관리 업무는 효율적인 물관리 정책 추진을 위해 2019년 3월부터 환경부로 일원화하여 운영되고 있다.

한편 소득수준이 향상되고 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 풍부한 물 확보뿐만 아니라, 안전하고 깨끗한 물을 이용하고자 하는 수요는 더욱 증가했다. 그러나 「2019 국민 환경의식조사」에 따르면, 수질 상태와 관련된 질문에 대해 ‘만족한다’는 응답이 4.7%,

‘불만족한다’는 응답은 68.1%로 나타나 정부의 정책지원에도 불구하고 수질에 대한 국민의 만족도가 매우 낮은 것으로 조사되었다(전호철 외, 2020). 이는 수질개선 등 물 관련 환경개선을 위한 공공의 노력과는 상반된 결과로서, 그동안 정부의 재정투입이 증가했음에도 불구하고 수질에 대한 국민의 만족도는 낮게 나타난 것이다. 지방재정 365의 지방재정연감 자료에 따르면, 실제 2021년 기준 지방자치단체의 상하수도·수질 예산은 약 15.7조 원으로 2008년(2.7조 원) 대비 6배 가까이 증가했으며, 환경예산 중 수질 관련 예산은 2008년 21.5%에서 2021년 58.4%로 증가했다.

물론 정부의 수질 부문에 대한 재정지출 증가와 함께 한국의 주요 4대강을 중심으로 수질이 개선된 것으로 보고되었다(국회예산정책처, 2004, 2012). 그러나 이러한 수질 개선이 정부의 재정지출로 인한 직접적인 결과인지, 경제성장에 따른 기술 발전, 관리체계 강화, 시민의식 개선 등으로 인한 간접적인 결과인지 판단하기 쉽지 않다. 특히 환경 쿠즈네츠 가설에 따르면, 경제발전 초기단계에는 산업화나 공업화 등으로 수질오염을 포함한 환경오염이 악화되지만, 경제발전 심화단계에서는 보다 나은 환경에 대한 욕구 증대, 환경친화적 정부정책과 경제구조로의 변화 등으로 소득이 증가함에 따라 환경오염은 오히려 개선되는 경향을 보인다(정수관·강상목, 2013). 이러한 경제발전 단계에 따른 수질 변화를 고려할 때, 현재 수질이 정부의 재정지출로 인한 결과인지, 경제성장에 따른 결과인지를 구분하여 판단할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 크게 두 가지의 의문을 해소하는 것을 연구의 목적으로 삼았다. 첫째, 본 연구는 지방 재정지출의 수질개선 효과를 평가하는 것을 목적으로 한다. Halkos and Paizanos(2013)의 2단계 접근법을 이용하여 수질 환경부문에 대한 지방 재정지출이 수질개선에 미치는 직접효과와 지방 재정지출이 지역의 경제성장에 기여함으로써 수질개선에 영향을 주는 간접효과를 추정한다. 둘째, 본 연구는 정부의 재정지출이 수질에 미치는 장단기 효과를 평가하고자 한다. 일반적으로 물은 한 번 오염되면 단기에 회복되기 어렵고 수년에 걸쳐 그 영향이 지속되며, 오염된 수질을 개선하는 데 많은 시간과 비용이 소요된다. 이에 본 연구는 동태패널모형(Dynamic Panel Model)을 통해 수질의 동태적 변화를 살펴보고, 지방 재정지출이 수질에 미치는 장단기 효과를 분석한다.

II. 선행연구 검토

최근 환경문제에 있어서 정부의 역할이 환경의 질을 결정하는 중요한 요인임을 밝힌 연구 결과가 다수 제시되고 있다(Frederik and Lundström, 2001; Heyes et al., 2001; Lawn, 2003; Bernauer and Koubi, 2006; Sim, 2006; Halkos and Paizanos, 2013; López and Palacios, 2014). 먼저 정부의 역할과 대기오염¹⁾ 간의 관계를 살펴보면, Frederik and Lundström(2001)은 정치적·경제적 자유가 이산화탄소(CO₂)배출에 미치는 영향을 검증하였으며, 정부 규모가 작을수록 환경의 질에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 밝혔다. 정부 지출과 관련해서 Bernauer and Koubi(2006)는 1971년부터 1996년까지 42개국에 대해 GDP 대비 재정지출 비중과 황산화물(SO₂) 농도 사이에 양(+의 관계가 있음을 확인하였다.

한편 Halkos and Paizanos(2013)는 1980년에서 2000년까지 77개국을 대상으로 정부의 재정지출이 SO₂와 CO₂배출에 미치는 직·간접 효과에 관해 분석하였다. 분석결과 SO₂에는 정부 재정지출이 부정적인 직접적인 영향을 미치는 반면, CO₂에 대한 직접적인 영향은 미미한 것으로 나타났다. 특히 SO₂에는 정부 재정지출이 소득 증대를 통한 간접효과가 함께 존재함을 확인하였다. López and Palacios(2014)는 1995부터 2008년까지 12개 유럽국가를 분석하였으며, 유럽의 재정지출이나 에너지세가 대기오염물질인 SO₂, 이산화질소(NO₂), 오존(O₃)을 줄이는 데 효과임을 밝혔다.

1) 환경부에 따르면 황산화물(SO_x)과 질소산화물(NO_x)은 대표적인 대기오염물질이다. 이중 아황산가스(SO₂)는 황산화물(SO_x)의 대표적 가스상 대기오염물질로 불쾌하고 자극적인 냄새가 나는 무색의 불연성 기체이며, 이산화질소(NO₂)는 적갈색의 자극성 냄새를 가지는 유독 기체로 질소화합물(NO_x) 중 대기오염에 가장 큰 영향을 미치며, 휘발성유기화합물(VOCs)과 반응하여 오존(O₃)을 생성하는 전구물질(Precursor) 역할을 한다. 그 밖에 에너지경제연구원에 따르면, 온실가스는 지구온난화를 유발하는 가스를 의미하며, 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등이다. 이중 전체 온실가스 배출의 80% 이상을 차지하는 이산화탄소는 주로 화석 연료의 연소과정이나 산업공정에서 배출되며, 메탄은 폐기물, 농업과 축산 등에서, 아산화질소는 주로 산업공정과 비료사용으로 배출되며, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 등은 냉매나 반도체 생산과정에서 배출된다.

한편 정부의 재정지출과 수질²⁾ 간의 관계에 관한 연구는 대기오염에 관한 연구에 비해 상대적으로 미흡하나, 관련 선행연구를 정리하면 다음과 같다. 우선 López et al.(2011)은 1980년부터 2005년까지 47개국 자료를 이용하여 정부 재정지출의 절대적인 규모와 지출 구성에 따라 생물학적 산소요구량(BOD)을 개선하는 데 차이가 있음을 밝혔다. Zhang et al.(2017)은 2002년부터 2014년까지 중국의 106개 도시의 패널데이터를 이용하여 경제성장과 수질오염은 역 U자형 관계가 있음을 밝혔고, 정부의 재정지출에 있어서는 경제성장을 통한 간접효과가 직접효과보다 크다는 것을 확인하였다. 수질 환경부문 재정지출은 막대한 예산이 투입되는 대규모 사업임에도 불구하고, 관련 연구는 수질 오염에 대한 현황 및 전망(Wu and Wang, 2012; Chen et al., 2016; Fang et al., 2016), 정부의 수질개선 사업에 대한 평가(황덕연 외, 2007) 등에 그치고 있으며, 정부의 재정지출과 수질 간의 관계에 관한 연구는 상대적으로 찾아보기 어렵다.

본 연구는 다음과 같은 점에서 선행연구와 차별된다. 첫째, 본 연구는 지방 재정지출의 주 대상이 하천임을 고려하여, BOD와 총인(T-P)을 연구 대상으로 분석하였다. 수질 및 수생태계 목표 기준 평가규정 제5조3항에서 하천 지점의 생활환경 기준 목표의 달성 여부가 BOD와 T-P의 수준으로 결정된다는 점을 고려하여 지방 재정지출의 효과를 분석하였다. 둘째, 본 연구는 지방 재정지출, 지역 경제성장, 수질오염 간의 관계를 동시에 다루고자 한다. Halkos and Paizanos(2013)의 2단계 접근법을 이용하여 1단계에서는 지방 재정지출이 지역 경제성장에 미치는 영향을 분석하고, 2단계에서는 지방 재정지출과 지역 경제성장이 수질오염에 미치는 영향을 분석한다. 셋째, 동태패널모형을 활용하여 수질오염의 동태성을 파악하고, 지방 재정지출이 수질오염에 미치는 직·간접적인 영향을 단기와 장기로 구분하여 분석한다. 본 연구의 결과가 지방 재정지출이 수질오염에 미치는 장·단기적 영향을 구체화하고 향후 수질 관련 지방 재정지출에 대한 방향성을 제시한다는 점에서 선행연구와 차별성이 있다.

2) 한국의 하천수 수질환경기준은 「환경정책기본법 시행령」 제2조 [별표1]에 따라 수소이온농도(Potential of Hydrogen, pH), 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총유기탄소량(Total Organic Carbon, TOC), 부유물질량(Suspended Solids, SS), 용존산소량(Dissolved Oxygen, DO), 총인(Total Phosphorus, T-P), 대장균군수(Most Probable Number, MPN) 등의 항목에 대해 규정하고 있다.

III. 분석자료 및 연구방법

1. 분석자료

1) 수질 환경부문 예산 및 수질 변화

지방재정연감에 따르면, 환경부문 예산은 지난 2008년 연간 1.3조 원에서 2021년에는 2.7조 원으로 2.1배 증가했으며, 2021년 기준 총예산의 9.0% 수준을 차지했다. 이 중 수질 부문 예산³⁾은 같은 기간 5.8배 늘어 타 예산에 비해 상대적으로 증가폭이 컸으며, 환경부문 예산 대비 비중도 절반 이상(52.3%)을 차지해 환경부문에서 수질개선 관련 사업 및 정책의 중요성이 커졌다. 2021년 기준 수질 예산 규모가 가장 큰 지역은 경기도로 3,697억 원이 배정되었으며, 이는 2008년 654억 원 대비 5배가 넘는 수치이다. 다음으로는 경상북도(1,568억 원), 서울시(1,402억 원), 경상남도(1,279억 원) 등의 순으로 나타났다. 수질 부문 예산 규모가 가장 작은 지역은 대전으로 277억 원이 배정되었으며, 다음으로는 울산시(284억 원), 광주시(289억 원), 대구시(348억 원) 등의 순이었다. 지역별로 예산의 편차가 매우 크게 나타났는데, 이는 수질 관련 예산이 지방정부에서 담당하는 수면적과 상관관계가 있는 것으로 보인다. 예를 들면, 부산광역시(633억 원)의 경우 도심 내 하천과 상하수도 등을 대상으로 예산이 편성되지만, 인접 지자체인 경상남도의 경우 기초지자체별 상하수도를 모두 포함한 주요 하천을 대상으로 예산이 편성되므로 상대적으로 예산 규모가 크다.

한편 1990년대 이후 하천의 수질개선을 위한 시설 투자가 진행됨에 따라 주요 4대강의 수질⁴⁾은 개선된 것으로 나타났다. 4대강 중 수질오염 문제 개선이 가장 시급했던 낙동강의 BOD는 2000년 2.7mg/l에서 2022년 2.1mg/l로 개선되는 모습을 보였는데,

3) 환경부 자료에 따르면, 수질 관련 예산은 주로 ‘물 오염원 관리’ 65%, ‘맑은 물 공급 이용’ 29% 그리고 ‘수생태계 관리’ 6%가량을 배정했다. 물 오염원 관리사업 중에서는 하수도 관리에 80% 이상의 예산이 책정되며, 그 외 산업폐수 및 기타 오염원 관리, 수질개선 기반 구축 등에 활용되었다.

4) 「환경정책기본법 시행령」 제2조 환경기준을 따라 수질 등급별 기준을 살펴보면, BOD의 경우 매우 좋음 1(mg/l)이하, 좋음 2이하, 약간 좋음 3이하, 보통 5이하, 약간 나쁨 8이하, 나쁨 10이하, 매우 나쁨 10초과를 의미하며, T-P는 매우 좋음 0.01(mg/l)이하, 좋음 0.02이하, 약간 좋음 0.03이하, 보통 0.05이하, 약간 나쁨 0.1이하, 나쁨 0.15이하, 매우 나쁨 0.15초과를 의미한다. 수질 등급별 기준과 같이 BOD와 T-P는 수치가 커질수록 수질이 악화되는 것을 의미한다.

이는 2000년대 초반까지 수질오염을 예방하기 위해 생활하수, 산업폐수 등에 대해 배출 허용기준을 정하여 관리한 결과로 보인다. 그러나 도시화와 산업화 등으로 개별 오염원(공장, 공공하수처리시설 등)에서 배출허용기준을 준수해도 하천에 유입되는 오염물질의 총량이 늘어나 수질환경기준을 초과하는 등 제도적 한계에 도달하였다(연익준 외, 2020). 이에 「4대강 특별법」과 함께 하천의 목표 수질을 설정하고, 이를 달성할 수 있는 오염부하량을 산정하여 오염물질의 양을 허용총량 이내로 관리하는 ‘수질오염총량관리제’를 도입하였다.

수질관리를 시작한 이후 2010년까지는 BOD만을 수질관리 대상으로 지정하여 관리하였다. 이후 2011년부터는 점오염과 비점오염원을 구분하고, 오염총량 관리 대상 오염물질(T-P)을 추가로 포함하는 2단계 수질오염총량관리제가 시작되었다. 그 결과 4대강 주요 상수원 취수 구역의 수질을 기준으로 볼 때, 2020년 기준 낙동강을 포함한 4대강의 BOD는 2mg/l 이하로 좋음(I b) 수준을 보였으며, BOD를 측정 기준으로 하는 수질은 상당 부분 개선된 것으로 나타났다. 또한 T-P 역시 하수처리장에 고도처리시설을 도입한 2010년부터 본격적으로 개선되었다. 그러나 4대강 이외의 수질은 지역별로 차이를 보였다. 예를 들어 강원도 고성군의 BOD는 2010년 0.4mg/l 에서 2018년 1.6mg/l 으로 좋음(I b) 수준이기는 하였으나, 개선 효과를 확인할 수 없었으며, T-P 역시 0.008mg/l 에서 0.017mg/l 으로 악화된 것으로 나타났다. 반면 전라남도 광양시의 BOD는 2010년 1.05mg/l 에서 2018년 0.83mg/l 으로, T-P는 2010년 0.043mg/l 에서 2018년 0.040mg/l 으로 소폭 개선된 것으로 나타났다.

2) 실증분석 자료

본 연구는 지방정부의 수질 환경부문 재정지출이 수질개선에 미치는 효과를 측정하고자 2010~2018년까지 한국의 173개 시군구의 균형패널 자료를 구축하였다. 한국의 행정구역은 2018년 기준 261개 시군구(도 단위 포함)로 구성되어 있는데, 본 연구는 균형패널 구축이 가능한 시군구를 분석의 대상으로 삼았다. 또한 마산시, 창원시, 진해시 등과 같이 행정구역이 통합된 경우에는 최종 행정구역(창원시)을 기준으로 데이터를 통합하였으며, 인천 미추홀구와 같이 행정구역 명칭이 변경된 경우에는 변경 전 행정구역(인천시 남구)과 변경 후 행정구역 자료를 연계하여 분석하였다.

한편 수질 관련 변수인 BOD와 T-P는 환경부의 ‘물환경정보시스템’을 통해 수집하였으며, 수질 환경부문 재정지출액은 ‘지방재정 365’의 자료를 사용하였다. 소득과 수질오염 간 환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC) 가설을 검증하기 위해 소득의 대리변수로 1인당 GRDP를 사용하였으며, 기타 수질오염과 관련된 변수로 제조업 노동생산성, 지자체별 사업체 수, 녹지면적 등을 선정하고, 관련 자료는 통계청 국가통계포털에서 수집하였다.

〈표 1〉 기초통계량

변수	변수명	단위	관측치	평균	표준편차	최솟값	최댓값
수질	BOD	mg/l	1,557	2.296	2.059	0.300	32.500
	T-P	mg/l	1,557	0.101	0.131	0.008	2.712
지역내총생산	GRDP	백만 원	1,557	32.635	32.146	6.883	431.692
수질환경 재정지출	GOV	백만 원	1,557	0.505	0.415	0.000	2.592
노동생산성	PROD	백만 원	1,557	92.194	76.717	15.592	781.268
사업체수	COMP	개소	1,557	7,496	8,862	364	55,920
녹지면적	GREEN	km ²	1,557	63	81	0	411

자료: 물환경정보시스템, 지방재정 365, 통계청 국가통계포털

<표 1>에 따르면 본 연구의 분석 대상인 173개 시군구의 평균 BOD 및 T-P값은 각각 2.296mg/l와 0.101mg/l이며, 본 연구에서 사용한 수질오염지표 평균값은 약간 좋음에서 보통 상태를 보였다. 그 외 사회경제 변수의 기초통계량을 살펴보면, 연간 1인당 GRDP의 평균은 32.635백만 원, 1인당 수질 환경부문 재정지출은 0.505백만 원, 제조업 노동생산성은 취업자 수당 92.194백만 원이다. 지역별 평균 사업체 수는 7,496개소, 녹지면적은 63km²으로 나타났다.

2. 연구 방법

본 연구는 Halkos and Paizanos(2013)의 연구방법론을 이용하여 지방 재정지출이 수질 개선에 미치는 영향을 추정한다. 수질 관련 재정지출은 직접적으로 수질 개선에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 수질 관련 재정지출이 지역별 경제성장에 영향을 미치고 지역 경제

성장이 환경에 영향을 미침에 따라 간접효과가 발생한다. Halkos and Paizanos(2013)의 2단계 추정 방법에 따르면, 1단계에서는 지역별 경제성장과 관련된 1인당 GRDP 함수를 추정하고, 2단계에서는 1단계에서 도출된 GRDP의 예측값(Predicted Value)을 수질함수에 대입하여 분석한다. 이러한 2단계 과정을 통해 GRDP가 갖는 잠재적인 내생성(Endogeneity) 문제를 해결하게 된다. 먼저 1단계에 적용된 동태패널모형은 다음과 같다.

$$\ln(GRDP)_{it} = \alpha_0 + \rho \ln(GRDP)_{it-1} + \alpha_1(GOV)_{it} + \alpha_2 \ln(PROD)_{it} + \alpha_3 \ln(COMP)_{it} + \gamma_i + \delta_t + u_{it} \quad (1)$$

식(1)에서 i 는 각 시군구, t 는 연도를 나타내며, u_{it} 는 오차항, γ_i 는 관찰되지 않는 지역별 고유 특성, δ_t 는 시간 고정효과를 나타낸다. 식(1)에서 GRDP는 지역별 1인당 지역 내총생산, GOV는 수질 환경부문 정부 재정지출, PROD는 제조업 노동생산성, COMP는 지자체별 사업체 수를 나타낸다. 제조업 노동생산성과 지자체별 사업체 수의 경우 수질과 직접적인 관련이 없는 변수로써, GRDP를 결정짓는 주요 요인인 노동과 자본의 대리변수로 사용된다.

2단계에 적용된 동태패널모형은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 식(2)에서는 지방 재정지출이 수질에 미치는 영향을 분석함과 동시에, 내생적 설명변수인 1인당 GRDP 대신 식(1)에서 추정된 \widehat{GRDP} 를 식(2)에 대입하고 제곱값을 포함시킴으로써 지역별 소득과 수질 사이에 환경쿠즈네츠곡선(EKC) 가설이 성립하는지 확인한다.

$$\ln(Y)_{it} = \beta_0 + \theta \ln(Y)_{it-1} + \beta_1(GOV)_{it} + \beta_2 \ln(\widehat{GRDP})_{it} + \beta_3 \ln(\widehat{GRDP})_{it}^2 + \beta_4 \ln(GREEN)_{it} + \mu_i + \xi_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

식(2)에서 Y 는 BOD 및 T-P 등의 수질 측정값을 나타내며, ϵ_{it} 는 오차항, μ_i 는 관찰되지 않는 지역별 고유 특성, ξ_t 는 시간 고정효과를 나타낸다. 수질에 영향을 주는 요인으로 녹지면적(GREEN)을 변수로 추가하였는데, 이는 토지이용 방식이 하천의 수질에 상당한 영향을 주기 때문이다(이상우, 2013 재인용).⁵⁾

한편 식 (1)과 (2)를 추정하는 과정에서 시차 종속변수가 설명변수에 포함됨으로 인해 발생할 수 있는 내생성 문제를 해결하고자, 2단계 시스템 일반화적률법(Two-step System Generalized Method of Moments, Sys-GMM)을 사용한다(Arellano and Bover, 1995; Blundell and Bond, 1998). Sys-GMM은 수준 방정식(Level Equation)과 1차 차분 방정식(First Difference Equation)을 하나의 시스템으로 추정하는 방법이다. 이때 시차 변수에 대한 내생성 문제를 해결하기 위해 사용되는 도구변수로는 수준 방정식에 있는 설명변수의 차분 시차변수와 1차 차분 방정식에 있는 설명변수의 수준 시차변수가 사용된다(Blundell and Bond, 1998; Bond et al., 2001). 이와 같이 식 (1)과 (2)를 Sys-GMM으로 추정하고 도구변수 선택의 적절성을 검토하기 위해 과도식별(Over-identification)에 대한 검정과 오차항의 2계 자기상관(Second-order Serial Autocorrelation)의 존재 여부를 검증하여 모형의 타당성 여부를 판단하게 된다.

2단계 추정방법을 통해 수질 환경부문 재정지출이 수질에 미치는 직접효과와 간접효과를 추정하게 되는데, 지방 재정지출이 수질에 미치는 총효과는 다음과 같이 분해하여 나타낼 수 있다.

$$\frac{d(\ln Y)}{d(GOV)} = \frac{\partial(\ln Y)}{\partial(GOV)} + \frac{\partial(\ln Y)}{\partial(\ln GRDP)} \frac{\partial(\ln GRDP)}{\partial(GOV)} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\frac{\partial(\ln Y)}{\partial(GOV)}$ 는 지방 재정지출이 수질개선에 미치는 직접효과를 나타내며, $\frac{\partial(\ln Y)}{\partial(\ln GRDP)} \frac{\partial(\ln GRDP)}{\partial(GOV)}$ 는 지방 재정지출이 경제성장을 통해 수질개선에 미치는 간접효과를 나타낸다. 이때 식 (3)에서의 직접효과와 간접효과는 지방 재정지출이 수질 개선에 미치는 단기효과(Short-run Effect)를 의미한다. 장기효과(Long-run Effect)를 고려하기 위해서는 식 (2)의 동태조정계수인 θ 를 이용하여 $\beta/(1-\theta)$ 를 계산한다(Ryu et al., 2021).

5) 이상우(2013)는 선행연구 검토를 통해 “도시화 면적, 불투수 면적, 도로, 포장면적, 건물 등을 포함하는 개발지역의 비율이 높으면 수질이 악화되고, 초지, 산림과 같은 식생지역의 비율이 높으면 수질 및 수생태 건강성이 개선된다(최운의 외, 2012; Weaver and Garman, 1994; Wang et al., 1997; Tong and Chen, 2002; Meador et al., 2005; Mehaffey, 2005; Tu and Xia, 2008; Park et al., 2011).”고 밝히고 있다.

IV. 실증분석 결과

1. 실증분석 결과

1) 1단계 추정 결과

<표 2>는 지방 재정지출이 수질개선에 미치는 영향을 분석하기 위한 1단계 추정 결과이며, 수질 환경부문 재정지출이 1인당 GRDP에 미치는 영향에 대한 분석 결과를 나타낸다. Sys-GMM 추정 시 견고한 표준오차(Robust Standard Error)를 사용하고자 Windmeijer (2005)의 표준오차 교정 방법을 이용하였다. 한편 동태패널모형을 Sys-GMM으로 추정 시, 도구변수와 오차항이 상관관계가 없다는 적률조건이 요구된다. 모형의 적합성을 확인하기 위해 도구변수들이 오차항과 상관관계가 없다는 적률조건이 충족되는지 여부와 오차항에 자기상관이 존재하는지를 검정해야 한다. 동태패널모형의 적합성을 확인하기 위해 Hansen-J 검정⁶⁾ 및 AR 검정 방법을 시행하였다. 도구변수 사용에 대한 과다식별

〈표 2〉 1단계 추정 결과

변 수	Pooled OLS	Fixed Effect	Sys-GMM
GRDP 시차항	0.973*** (0.005)	0.664*** (0.020)	0.926*** (0.027)
수질환경 재정지출	0.011* (0.007)	0.016 (0.012)	0.027** (0.012)
제조업 노동생산성	0.013*** (0.004)	0.126*** (0.011)	0.034** (0.016)
사업체 수	0.003 (0.002)	0.059* (0.033)	0.009* (0.005)
상수항	0.050** (0.025)	0.072 (0.275)	0.054 (0.050)
AR(1)/AR(2)			0.000/0.344
Hansen Test			0.328

주: 1) ()는 표준오차를 나타냄

2) *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미함

6) 과다식별(Over-identification) 검정은 Sagan 검정과 Hansen 검정이 주로 사용되며, 본 연구에서는 오차항에 이분산성이 존재하더라도 견고한 Hansen 검정을 사용한다.

(Over-identification) 검정시 귀무가설을 기각하지 않아 적률조건을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 자기상관 검정에서 AR(1) 검정은 귀무가설을 기각하였고, AR(2) 검정은 귀무가설을 채택하여 오차항에 2계 자기상관이 없음을 확인하였다(<표 2> 참조).

<표 2>에서는 내생성을 고려하지 않은 경우의 추정방법과 비교하고자 Sys-GMM의 추정결과와 함께 통합 OLS(Pooled OLS)와 고정효과(Fixed Effect) 모형의 추정결과를 포함하였다. Sys-GMM의 추정결과를 중심으로 살펴보면, GRDP의 시차항에 대한 추정치는 0.926으로써, GRDP의 동태적 조정 과정이 느리고, 현재의 GRDP가 지난 GRDP에 영향을 크게 받고 있음을 의미한다. 또한 수질 환경부문의 재정지출(0.027), 제조업 노동생산성(0.034), 사업체 수(0.009)의 증가는 GRDP의 증가에 기여하는 것으로 나타났다.

2) 2단계 추정 결과

<표 3>에서 보는 바와 같이 Sys-GMM 추정 결과 역시 과다식별과 2계 자기상관 문제가 발생하지 않는 것으로 나타났다. Sys-GMM의 추정결과를 중심으로 살펴보면, 1단계에서의 소득함수와 마찬가지로 각 오염원별에 대한 시차 종속변수 추정 결과는 BOD와 T-P 모두 0과 1 사이의 양(+)의 값으로 추정되었다. 이는 지난해 수질이 1% 개선되면, 현재 수질이 BOD와 T-P에서 각각 0.857%, 0.732% 개선되는 것을 의미하며, 수질오염의 동태적 조정 과정이 느리게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 수질 환경부문의 재정지출은 BOD와 T-P 개선에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, BOD(0.102)보다 T-P(0.265)에 미치는 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다.

다음으로 소득과 수질오염 사이의 비선형 관계를 분석하기 위해 환경쿠즈네츠곡선(EKC) 가설을 검토하였다. 실증분석 결과, BOD의 경우 소득의 계수는 양(+)의 값을 보였고, 소득 공급의 계수는 음(-)의 값을 보여 EKC 가설이 성립하는 것으로 나타났다. 즉 소득이 증가함에 따라 수질오염이 증가하다가, 이후 일정한 수준에서 감소하는 ‘역 U자형 관계’를 보였다. 추정치를 바탕으로 $\exp(-\beta_2/2\beta_3)$ 를 계산해 볼 때, 1인당 소득이 약 43.7백만 원 이상으로 증가할 경우 수질이 개선되는 것으로 나타났다. 그러나 T-P에 대해서는 소득과 통계적으로 유의한 영향을 확인할 수 없었다.

〈표 3〉 2단계 추정 결과

구분	[BOD]			[T-P]		
	Pooled OLS	Fixed Effect	Sys-GMM	Pooled OLS	Fixed Effect	Sys-GMM
수질 시차항	0.914*** (0.009)	0.407*** (0.025)	0.857*** (0.039)	0.887*** (0.011)	0.375*** (0.025)	0.732*** (0.069)
수질환경 재정지출	-0.019 (0.016)	0.061* (0.035)	-0.102** (0.041)	-0.034 (0.024)	0.107** (0.051)	-0.265*** (0.083)
GRDP	0.123 (0.095)	0.097 (0.357)	0.325** (0.164)	0.199 (0.141)	0.038 (0.524)	0.419 (0.429)
GRDP 제곱항	-0.017 (0.013)	-0.021 (0.052)	-0.043* (0.023)	-0.023 (0.019)	-0.018 (0.076)	-0.047 (0.060)
녹지면적	0.002 (0.005)	-0.150** (0.063)	-0.003 (0.008)	0.010 (0.007)	-0.269*** (0.094)	0.004 (0.017)
상수항	-0.198 (0.156)	2.812** (1.288)	-0.382* (0.228)	-0.915*** (0.238)	3.110 (1.893)	-1.687** (0.857)
AR(1)/AR(2)			0.000/0.109			0.000/0.161
Hansen Test			0.102			0.202

주: 1) ()는 표준오차를 나타냄

2) *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미함

한편 수질관리는 하천의 물 자체만이 아니라 하천 주변의 생태계를 종합적으로 관리함으로써 수질관리가 가능하다(최지용·신창민, 2002). 특히 수변 녹지의 경우 다양한 생물의 서식공간일 뿐만 아니라, 주변 토지에서 발생한 오염물질이 빗물에 섞여 하천이나 호소로 유입되는 과정에서 수질을 정화시키는 역할을 담당한다(한건연 외, 2007). 따라서 지역 내 녹지는 수질개선에 긍정적인 역할을 할 것으로 기대된다. 그러나 실증분석 결과, 녹지와 수질은 통계적으로 유의한 관계를 보이지 않았다. 이는 본 연구의 실증분석에 사용된 녹지는 하천 주변부에 한정된 개념이 아닌, 지역 내 총 녹지면적을 의미하는 것으로 선행연구에서의 녹지 개념과 차이를 보여, 녹지가 수질에 미치는 영향을 측정하는 데는 한계가 있는 것으로 보인다.

3) 지방 재정지출의 직접효과와 간접효과

<표2>와<표3>에 제시된 추정 결과를 바탕으로 <표4>는 수질 환경부문의 재정지출이 수질에 미치는 장단기 직접효과와 재정지출이 소득을 통해 수질에 미치는 장단기 간접효과를 나타낸다. 장단기 간접효과 추정 시 1인당 평균 GRDP를 사용하였으며, 장단기 직접효과와 함께 지방 재정지출이 수질에 미치는 장단기 총효과를 도출하였다. 분석 결과, 수질 환경부문의 1인당 재정지출이 증가하면 BOD는 단기적으로 0.102% 개선되며, 장기적으로는 0.711% 개선되는 것으로 분석되었다. 한편 수질 환경부문의 재정지출은 직접적으로 BOD를 개선시키지만, 경제성장을 통해서서는 오히려 BOD를 악화시키는 것으로 나타났다. 단기(0.001)와 장기(0.089)의 간접효과는 지역의 평균적인 장단기 소득이 경제성장의 전환점(Turning Point)에 도달하지 못하고 있는 상황을 나타내며, 지역 경제성장에 따른 소득효과로 인해 수질이 악화될 수 있음을 의미한다. 그러나 직접효과의 절대값이 간접효과의 절대값보다 크게 추정되어, 지방 재정지출의 수질개선 효과는 의미있는 것으로 나타났다. 단기(-0.101)와 장기(-0.621)의 총효과는 지역 경제성장에 따른 수질 악화로 인해 재정지출의 수질개선 효과가 어느 정도 상쇄되지만, 지방 재정지출은 결국 BOD를 개선하는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 수질오염에 대한 재정지출의 효과

구분		직접효과	간접효과	총효과
BOD	단기	-0.102*** (0.041)	0.001** (0.278)	-0.101*** (0.039)
	장기	-0.711*** (0.270)	0.089* (0.096)	-0.621** (0.274)
T-P	단기	-0.265*** (0.083)	0.003 (0.002)	-0.262** (0.080)
	장기	-0.991*** (0.318)	0.147 (0.117)	-0.844* (0.331)

- 주: 1) *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄
 2) 수질오염 재정지출의 장단기 효과는 System-GMM 모형에 한해 제시함
 3) 재정지출의 장단기 효과는 Bootstrap Method를 이용하여 추정하였음
 4) 간접효과는 1인당 GRDP의 표본 평균값으로 계산한 수치임

한편 수질부문 재정지출 증가는 단기적으로 T-P를 0.265% 개선하고, 장기적으로는 0.991% 개선시키는 것으로 추정되었으며, 수질부문 재정지출의 증가는 BOD에 비해 T-P를 직접적으로 개선하는 데 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 수질부문 재정지출의 직접효과는 단기보다 장기에 더욱 수질을 개선하는 것으로 나타났으나, 지역 경제성장을 통한 간접효과는 장단기 모두 유의하지 않았다. 그 결과 총효과의 경우 주로 직접효과에 의해 결정되며, 단기적으로는 0.262%, 장기적으로는 0.844% 수질을 개선시키는 것으로 나타났다. 수질 관련 재정지출의 직접효과가 크기 때문에, 총효과 역시 BOD에 비해 T-P를 개선하는 정도가 더욱 크게 나타났다.

V. 결론 및 시사점

수질개선이라는 정책 목표를 달성하기 위해서는 정부의 적절한 재정지출이 수반되어야 한다. 그러나 지금까지 정부의 재정지출과 수질개선 간의 관계 및 효과에 대한 실증연구는 아직 찾아보기 어려웠다. 특히 지방 재정지출이 지역 경제성장에도 영향을 준다는 측면에서 수질-재정지출-경제성장 간의 관계를 명확히 규명하고 수질 관련 지방 재정지출의 효과를 추정하는 것은 향후 수질개선 정책 수립에 있어 매우 중요한 의미를 갖는다. 이에 본 연구는 지방의 재정지출과 수질개선 간의 동태적 관계를 분석하고, 수질 환경부문에 대한 재정지출의 효과를 직접효과와 간접효과로 구분하여 추정하였다는 점에서 의의가 있다.

본 연구의 주요 실증분석 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다. 첫째, 수질 환경부문의 재정지출은 BOD 및 T-P 개선에 효율적으로 작용하며, BOD에 비해 T-P에 미치는 직접적인 효과가 더욱 크게 나타났다. 특히 지자체의 재정지출과 수질개선 효과는 단기적 효과에 머무르지 않고 장기적으로 그 효과가 커지는 것을 확인할 수 있다. 둘째, 수질개선을 위한 재정지출은 소득에 양(+의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 소득과 수질(BOD)은 ‘역 U자형’ 관계를 갖는 것으로 파악되었다. 그러나 BOD에 대해 지방 재정지출의 간접효과에 따라 수질이 악화되는 것으로 분석되었으며, 이는 평균적인 지역 경제수준이 아직 수질개선에는 기여하지 못하는 것을 의미한다. 셋째, BOD의 경우 수질개선에 대한 정부 재정지출 효과는 간접효과보다 직접효과가 컸으나, T-P의 경우 간접효

과는 유의하지 않고, 직접효과에 의해서만 총효과가 결정되었다. 이는 점오염원에 의한 오염도를 나타내는 BOD와 비점오염원에 의한 오염 정도를 나타내는 T-P는 구분하여 관리할 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 수질 환경부문의 재정지출이 수질개선에 효과적인지를 분석하기 위해 수질 변화의 동태적 변화를 반영하고, 단기 및 장기효과를 포함하여 재정지출의 직접효과와 간접효과로 나누어 분석하였다는 점에서 연구의 의의를 찾을 수 있다. 물론 본 연구에도 한계가 존재하는 데, 먼저 지방정부 수질 환경부문 예산 및 집행 구조가 복잡하게 구성되어 있음에도 불구하고, 자료의 한계로 인해 총지출액을 중심으로 수질개선 정도를 추정하였다. 수질 관련 예산 구조의 변화가 정책성과에 더욱 유의한 영향을 미칠 수 있으므로(López et al., 2011), 향후 연구에서는 수질 관련 예산의 비목별 변화에 따른 효과를 분석할 필요가 있다. 또한 수질오염 물질을 포함한 환경오염 물질은 공간적으로 서로 영향을 주고받는 특성을 가지므로, 본 연구에서는 수질의 공간적 특성을 반영하지 못한 한계를 가진다. 향후 연구에서는 공간적 의존성을 반영한 모형을 통해 재정지출의 수질개선 효과에 대한 보다 정교한 분석을 시도할 필요가 있다.

[References]

- 국회예산정책처, 「환경분야 물 부문 중기 재정소요 분석」, 2004.
- 국회예산정책처, 「환경분야 재정투입과 환경정책 성과의 연계성 연구」, 2012.
- 권혜연·정창훈·김용표, “지방정부의 대기환경예산 지출이 대기오염 정도에 미치는 영향”, 「한국대기환경학회지」, 제32권 제6호, 2016, pp. 583~592.
- 연익준·박성식·김창수·김송희·정지선, “공공하수처리시설의 처리공법별 방류수질 비교와 ARIMA 시계열 예측에 관한 연구”, 「한국환경기술학회지」, 2020, 제21권 제6호, pp. 458~466.
- 이상우, “공간지리 가중회귀모형(GWR)을 이용한 유역 녹지비율과 하천수질의 비균질적 관계 검증”, 「한국조경학회지」, 제41권 제6호, 2013, pp. 43~51.
- 전호철·이홍립·김현노, 「2019 국민환경의식조사」, 한국환경정책·평가연구원, 2020.
- 정수관·강상목, “소득 및 에너지소비와 환경오염의 관계에 대한 분석”, 「환경정책연구」, 제12권 제3호, 2013, pp. 97~122.

- 최윤의·천예준·전진형, “도시개발에 의한 하천 물리적 구조 변화에 관한 연구 - 고양시 창릉천 일대를 중심으로”, 한국조경학회 2012년도 춘계학술대회 논문집, 2012, pp. 211~215.
- 최지용·신창민, 「비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안」, 한국환경정책평가연구원, 2002.
- 한건연·김동일·박경옥, “낙동강 유역의 수변녹지 구성에 따른 비점오염원 저감효과 분석”, 「한국물환경학회」, 2007, pp. 428~431.
- 황덕연·박재현·박순애, “수질개선사업에 대한 자율환경관리와 정부주도관리 방식의 비용효과분석: 대포천과 양재천 사례를 중심으로”, 「한국지방자치학회보」, 2007, 제19권 제4호, pp. 241~258.
- Arellano, M., and O. Bover, “Another look at the instrumental variable estimation of error-components models,” *Journal of Econometrics*, Vol. 68, 1995, pp. 29~51.
- Bernauer, T., and V. Koubi, “States as providers of public goods: how does government size affect environmental quality?” *International Studies Association*, 2006, pp. 1~33.
- Blundell, R., and S. Bond, “Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models,” *Journal of Econometrics*, Vol. 87, 1998, pp. 115~143.
- Bond, S. R., A. Hoeffler, and J. R. Temple, *GMM estimation of empirical growth models*, Economics Papers, Economics Group, Nuffield College, University of Oxford, 2001.
- Chen, C. W., Y. R. Ju, C. F. Chen, and C. D. Dong, “Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan,” *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 113, 2016, pp. 318~324.
- Fang, T., S. Bao, X. Sima, H. Jiang, W. Zhu, and W. Tang, “Study on the application of integrated eco-engineering in purifying eutrophic river waters,” *Ecological Engineering*, Vol. 94, 2016, pp. 320~328.
- Frederik, C., and S. Lundström, *Political and economic freedom and the environment: the case of CO₂ emissions*, Department of Economics, Göteborg University, 2001.
- Halkos, G. E., and E. A. Paizanos, “The effect of government expenditure on the environment: An empirical investigation,” *Ecological Economics*, Vol. 91, 2013, pp. 48~56.
- Heyes, J. A., T. T. Bucknell, and C. J. Clark, “Water loss and quality loss during post-harvest storage of asparagus and broccoli: A magnetic resonance imaging study,” *International Society for Horticultural Science*, Vol. 553, 2001, pp. 491~493.

- Lawn, P. A., “Environmental Macroeconomics: Extending the IS-LM Model to Include an ‘Environmental Equilibrium’ Curve,” *Australian Economic Papers*, Vol. 42, 2003, pp. 118~134.
- López, R., G. I. Galinato, and A. Islam, “Fiscal spending and the environment: theory and empirics,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 62, 2011, pp. 180~198.
- López, R., and A. Palacios, “Why has Europe become environmentally cleaner? Decomposing the roles of fiscal, trade and environmental policies,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 58, 2014, pp. 91~108.
- Meador, M. R., J. F. Coles, and H. Zappia, *Fish assemblage responses to urban intensity gradients in contrasting metropolitan areas: Birmingham, Alabama, and Boston, Massachusetts*, In: Brown, L. R., R. H. Gray, R. M. Hughes, M. R. Meador(Eds.), *Effects of Urbanization on Stream Ecosystems*. American Fisheries Society, Bethesda, 2005, pp. 409~422.
- Mehaffey, M. H., “Linking land cover and water quality in New York City’s water supply watersheds,” *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 107, 2005, pp. 29~44.
- Park, S. R., H. J. Lee, S. W. Lee, S. J. Hwang, M. S. Byeon, G. J. Joo, K. S. Jeong, D. S. Kong, and M. C. Kim, “Relationships between land use and multi-dimensional characteristics of streams and rivers at two different scales,” *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, Vol. 47, 2011, pp.107~116.
- Ryu, J. Y., D. W. Kim, and M. K. Kim, “Household differentiation and residential electricity demand in Korea,” *Energy Economics*, Vol. 95, 2021, 105090.
- Sim, N. C. S., “Environmental Keynesian Macroeconomics: Some further discussion,” *Ecological Economics*, Vol. 59, 2006, pp. 401~405.
- Tong, S., and W. Chen, “Modeling the relationship between land use and surface water quality,” *Environmental Management*, Vol. 66, 2002, pp. 377~393.
- Tu, J., and Z. Xia, “Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: model design and evaluation,” *Science of the Total Environment*, Vol. 407, 2008, pp. 358~378.
- UN, *World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, 2020.
- Wang, L., J. Lyons, P. Kanehl, and R. Gatti, “Influences of watershed land use on habitat quality

- and biotic integrity in Wisconsin streams,” *Fisheries*, Vol. 22, 1997, pp. 6~12.
- Weaver, A. L., and G. Garman, “Urbanization of a watershed and historical changes in a stream fish,” *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 123, 1994, pp. 162~172.
- Windmeijer, F., “A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators,” *Journal of Econometrics*, Vol. 126, 2005, pp. 25~51.
- Wu, F. F., and X. Wang, “Eutrophication evaluation based on set pair analysis of Baiyangdian Lake, North China,” *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 13, 2012, pp. 1030~1036.
- Zhang, Q., S. Zhang, Z. Ding, and Y. Hao, “Does government expenditure affect environmental quality? Empirical evidence using Chinese city-level data,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 161, 2017, pp. 143~152.