

環境政策

제29권 제2호

2021. 6



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute



한국환경정책학회

한국연구재단 등재학술지인 **環境政策**은 한국환경정책학회와
한국환경정책·평가연구원이 공동으로 발간하는 학술지입니다.
環境政策 연 4회(3월 31일, 6월 30일, 9월 30일, 12월 31일)
발간합니다.

環境政策

제29권 제2호(2021. 6)

목 차

연구논문

분기 생산 활동의 미세먼지 배출유발효과 분석: 분기별 투입산출모형의 개발 / 김의준 · 문정혜	1
A Cost-Benefit Analysis for Extraction of Atmospheric Water by Direct Cooling in South Korea / 엑터이 파티마 · 변병설	31
소비자 지불의사액(WTP)에 기반한 종량제봉투 가격의 현실화 방안에 대한 연구 / 최은철 · 양준석	59
재생에너지 정책과 온실가스 감축분의 배출권 재활용 논쟁 재생에너지 정책과 온실가스 감축분의 배출권 재활용 논쟁 / 유종민	79
우리나라 해상·해안국립공원 미래 연구 방향 도출: 장기 연구 경향 변화 분석을 중심으로 / 천정운 · 이현규 · 김강선 · 정주영 · 김충기	99
도로용 3종 건설기계 통행발생 특성 분석 / 한진석	129
비용편익분석을 위한 도심하천복원 경제가치의 범위효과 검증: 조건부가치평가법과 선택실험 비교 / 최성록 · 성찬용 · 유영화	151
보전지역권 제도의 국내 보호지역 적용방안: 문경 돌리네습지를 대상으로 / 김선영 · 오충현	205
4대강 살리기 사업의 수질 개선 성과지표의 적절성 연구: 낙동강을 중심으로 / 김용기	235
복합재난 대응지역 설정을 위한 시공간 클러스터 분석 / 김효정 · 이성호	259

분기 생산 활동의 미세먼지 배출유발효과 분석: 분기별 투입산출모형의 개발*

Analyzing the Temporal Pattern of Particulate Matter Emission Multipliers: Development of the Quarterly Input-Output Model

김익준** · 문정혜***

Euijune Kim · Junghye Moon

요약: 본 연구에서는 분기 투입산출모형을 개발하여 산업부문 미세먼지 배출량이 계절별로 어떻게 달라지는지를 분석하는 것이다. Temporal EURO(T-EURO)기법을 활용하여 2010년도 연간 전국 산업연관표를 분기별 투입산출모형으로 변환하고, 이를 토대로 연간 및 분기 생산유발계수와 미세먼지 배출유발계수를 추정하였다. 주요 결과를 살펴보면, 생산유발계수가 전반적으로 높은 산업들은 1차 금속제품, 금속제품, 화학제품 및 운송장비 등이지만, 분기별로 수치가 상이하다는 점에서 수요 변화에 따른 경제적 파급효과는 발생 시점과 지속 기간에 따라 달라질 수 있었다. 또한, 분기별 미세먼지 유발효과가 큰 산업은 1차 금속제품, 비금속광물제품, 금속제품, 운송서비스, 건설 산업 등이며, 연간 배출유발계수 대비 분기 계수 편차는 최대 10.61%인 것으로 추산되었다. 마지막으로, 초미세먼지 배출유발효과는 4분기가 가장 높은 반면, 1분기는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

핵심주제어: 계절성, 미세먼지, 분기별 투입산출모형, 산업연관분석, T-EURO 기법

Abstract: This study analyzes the quarterly pattern of particulate matter emission embodied in inter-industry trade, developing a quarterly input-output model. It includes an estimate of the quarterly output and emission multipliers, using the temporal Euro method to disaggregate the annual input-output tables in its time dimension. The results reveal that because of the intra-year dynamic, sectors such as base and fabricated metal products, chemicals, and transportation equipment can have distinct economic effects, depending on its timing and duration. In addition, the annual and quarterly emission multipliers of base metal, non-metallic mineral, and fabricated metal products and the transportation equipment sectors are high. The quarterly coefficient deviation from the annual coefficient of those sectors is estimated to reach 10.61%. Lastly, particulate matter emission multipliers in Korea are the highest in the fourth quarter, whereas in the first quarter they are relatively low.

Key Words: Input-Output Model, Particulate Matter, Quarterly Input-Out Model, Seasonality, Temporal Euro Method

* 본 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017S1A3A2066771).

** 주저자, 서울대학교 농경제사회학부 및 융합전공 지역·공간분석학 교수 및 농업생명과학연구원 겸무연구원

*** 교신저자, 서울대학교 농경제사회학부 박사수료

I. 서론

World Economic Forum(2018)에 따르면, 세계 인구의 90% 이상이 세계 보건기구(WHO) 대기오염 권고수준을 초과하는 지역에서 거주하고 있으며, 우리나라도 미세먼지(Particulate Matter)¹⁾를 우리 사회가 직면한 재난²⁾으로 지정하여 2016년 6월 '미세먼지 관리 특별대책'을 시작으로 미세먼지 핵심배출원 감축 및 저감 정책³⁾을 추진하고 있다. 우리나라 초미세먼지의 조기사망률⁴⁾은 2010년 359명에서 2060년 1,109명으로 3.1배로 급증하여 OECD 국가 중 가장 높으며, 또한 미세먼지의 국내 경제 손실 비용은 연간 10조원으로 추산되었다(OECD, 2016; Health Effect Institute, 2017).

국내 초미세먼지의 요인을 살펴보면 2015년 기준 전체 배출량 중 36.8%인 제조업 연소, 비산먼지(17.5%), 비도로이용오염원(14.3%), 도로이용오염원(8.9%), 생산공정(5.2%), 에너지 산업연소(3.7%)순으로 나타나고 있다(국립환경과학원, 2018). 제조업연소, 생산공정 및 에너지 산업연소의 산업부문은 전체 미세먼지의 45.7%를 배출하며 최대오염원으로 볼 수 있기 때문에, 산업별로 미세먼지 배출량이 어느 정도인지 분석할 필요가 있다. 한편, 초미세먼지의 또 다른 특징은 '계절성'이다. 초미세먼지의 발생량 및 농도는 계절에 따라 뚜렷하게 다르다. 가을부터 봄(10월~5월)까지 초미세먼지 농도가 높은 반면, 여름철(6월~8월) 농도는 낮다(박순애·신현재, 2017). 이는 지역별로 초미세먼지의 평균 농도 차이가 있을 수 있지만, 전반적으로 계절적 추세는 대부분 지역에서 유사하다(박순애·신현재, 2017). 이에 정부는 2019년 12월부터 미세먼지 계절관리제⁵⁾를 시행하기

- 1) 지름이 10 μm 이하의 작은 입자상 물질로, 10 μm 보다 작은 미세먼지(PM₁₀)와 지름이 2.5 μm 보다 작은 초미세먼지(PM_{2.5})로 나뉜다.
- 2) 2013년 10월 세계보건기구(WHO)는 인간의 건강에 위협요인이 되고 있는 미세먼지를 1급 발암물질로 분류하였다.
- 3) 정부는 미세먼지 관리 종합대책(2017.9.)과 비상 상시 미세먼지 관리 강화 대책(2018. 1.)등을 연이어 발표했다.
- 4) 인구 100만 명당 조기 사망자 수를 나타낸다.
- 5) 미세먼지 고농도 시기에 평상시보다 강화된 저감 정책을 시행하는 것으로 미세먼지 농도가 높은 12월부터 이듬해 3월까지 4개월간 시행한다.

시작하였는데, 이러한 의미에서 산업 부분의 미세먼지 배출량이 기간별로 어떤 차이를 보이는지를 파악할 필요도 있다.

이와 같은 환경과 자연 재난을 경제적으로 분석하는 방법에는 산업연관 분석, 물질균형분석, 계량경제모형, 선형계획기법 등이 사용되고 있는데, 이 중에서 가장 대표적인 방법은 산업연관분석이다(정희성·강만옥·임현정, 2002). 이 방법은 산업 간 수요와 공급 관계를 수리적으로 파악하는 분석방법으로서, 특정 재화의 최종수요가 산업별 생산 활동에 미치는 경제적 파급효과를 측정할 수 있다(임응순·정군오, 2009). 투입산출모형과 환경문제를 결합하여 오염배출량을 분석할 경우, 특정 재화를 생산하기 위해 직간접적으로 배출되는 오염물질의 배출량을 추정하고, 생산자와 소비자 입장에서 배출경로를 확인할 수 있다. 그러나 미세먼지와 같이 계절성이 뚜렷한 경우에는 연 단위보다는 분기 단위의 단기간적 시각에서 분석하는 것이 중요하다. 봄과 겨울에 주로 발생하는 미세먼지의 영향력은 여름에 상대적으로 경미해지기 마련인데, 만약 기간 구분 없이 연 단위로 미세먼지의 경제적 파급효과를 분석할 경우, 분기별로 미세먼지의 경제적 파급효과에 대한 차별성을 파악할 수 없이 분석 결과가 왜곡될 수밖에 없다. 일반적으로 투입산출표는 연 단위로 집계된 재화와 용역의 생산과 관련된 거래를 토대로 작성한 것이기 때문에 투입계수는 산업별 생산구조의 연평균 특성만을 나타낸다. 반면, 분기별 투입산출표를 개발하여 미세먼지 배출량의 변화를 분석한다면, 분기별로 상이하게 발생하는 미세먼지 배출의 경제적 파급효과를 상대적으로 정확히 파악할 수 있다(Avelino, 2017). 기존 대부분 연구는 연간 투입산출표를 사용하여 미세먼지 배출량을 분석하였기 때문에 시간적인 영향력을 감안하지 못한 한계가 있었다(Guan et al., 2014; Huo et al., 2014; Meng et al., 2016; Yang et al., 2017; Wu et al. 2017; 김의준 등, 2019).

본 연구에서, 이러한 기존 연구의 한계를 고려하여 분기별 투입산출모형을 개발하여 산업별 생산 활동에 따른 미세먼지 배출량이 분기별로 어떤 차이가 있는지 분석하였다. 한국은행의 2010년 연간 투입산출표를 토

대로 Temporal EURO(T-EURO)기법을 적용하여 분기별 투입산출표를 개발한 후, 산업연관분석을 실시하였다. 분기별 투입계수와 미세먼지 배출계수를 이용하여 배출유발계수를 산정한 후, 산업별 미세먼지 배출량의 분기별 변화를 파악하였다. 본문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 미세먼지의 투입산출모형 선행연구와 분기별 투입산출모형 문헌을 정리하고, 3장에서는 분석 모형 및 결과를 분석하고, 마지막 장에서는 결론을 제시한 후 본 연구의 한계와 연구 과제를 논의한다.

II. 선행연구

1. 미세먼지의 산업연관분석 연구

미세먼지 배출의 경제 연구는 에너지집약, 인구, 경제성장 등 사회경제 요인이 미세먼지 배출에 미치는 연구와 교역에 따른 미세먼지 배출량을 생산기반 및 소비기반으로 분석한 연구로 구분된다. 우선 사회 경제적 요인이 미세먼지 배출량 변화에 미치는 영향은 주로 환경 투입산출모형을 이용하여 추산하였다(Guan et al., 2014; Huo et al., 2014). Guan et al.(2014)은 중국 환경 투입산출모형을 사용하여 1997년부터 2010년까지 소비를 기반으로 한 초미세먼지의 연간 배출량을 추정하였다. 구조분해분석을 통하여 경제 성장요인에 따른 초미세먼지의 연간 발생량을 경제주체 별로 분석하였다. 중국 초미세먼지 배출량의 68%는 도시의 생산기반에 기인되며, 나머지는 농촌 소비를 통해 이루어졌다. 자본형성 역시 초미세먼지를 발생시키는 주요 원인으로 나타났다. 수출 부분은 OECD 국가들이 중국의 수출품을 소비하기 때문에 중국의 저감 정책에도 불구하고 초미세먼지 배출량은 늘어났다. Huo et al.(2014)은 환경 투입산출모형을 사용하여 생산자와 소비자 간 오염이동을 분석하여 2010년 중국의 미세먼지를 비롯한 대기오염물질의 배출량을 추정하였다. 36개 산업부문의 연간 미세먼지 배출량과 국내총생산(GDP)의 관계도 분석하였는데, 생산기반으로의

기계 및 장비, 건설 등은 중국 대기오염의 주된 원인인 반면, 소비기반의 서비스 부문 영향력은 비교적 낮았다.

투입산출모형을 사용하여 국가간 및 지역간 교역을 통한 미세먼지 배출원의 이동을 분석한 연구를 살펴보면, Meng et al.(2016)은 다지역 투입산출모형을 적용하여 재화의 생산지역 배출량뿐만 아니라 재화 소비지역의 소비기반 배출량도 분석하여 교역을 통한 초미세먼지 배출량 이동을 평가하였다. 134개국 57개의 교역 자료를 사용하였는데, 2007년 산업 부분의 초미세먼지 배출량은 24 Teragram(Tg)로서, 브라질, 남아프리카, 인도 및 중국 수출 요인이 전체 초미세먼지 배출의 30%를 차지하였다. 국제교역을 통한 생산기반과 소비기반 분석은 국제협력을 통해 대기오염 저감 정책의 필요성을 유도할 수 있었다. Yang et al.(2017)은 7개 지역간 투입산출모형을 이용하여 중국 지역 경제 활동의 미세먼지 배출원을 분석하였다. 석탄 연소, 시멘트 제조업과 생산기반 초미세먼지 배출량은 양의 상관관계를 나타냈으며, 국내총생산(GDP), 인구, 자동차 소유 등 사회경제 요인도 소비기반 미세먼지 배출을 증가시켰다. 다른 지역 재화나 서비스 수입에 의존적인 중국 동부, 남서부, 남부 및 북서부 지역은 초미세먼지의 소비기반 배출량에 큰 영향을 미쳤다. Wu et al.(2017)는 다지역 환경 투입산출모형을 이용하여 2007년부터 2010년까지 중국 30개 지역간 교역을 통한 초미세먼지 배출량을 분석하였다. 동부의 최종소비와 중부, 북동부, 서부 등의 중간재 투입이 미세먼지 주요 배출의 원인으로 나타났으며, 이를 토대로 하여 미세먼지 저감을 위한 지역 협력과 관리를 강조하였다.

투입산출모형을 통한 미세먼지 배출분석에 관한 국내 연구는 김의준·문승운(2019)이 있다. 우리나라의 지역산업연관표와 지역별·배출원별 미세먼지 배출량 자료를 기반으로 환경 지역산업연관표를 구축하여 생산기반 배출량과 소비기반 배출량을 분석하였다. 우리나라의 수도권 및 대도시의 소비기반 배출량이, 전남 및 경북 등은 생산기반 배출량이 많았다. 미세먼지 문제는 미세먼지를 배출하는 지역뿐만 아니라, 교역을 통해 이동된 상품이 소비되는 지역에도 책임이 있기 때문에, 미세먼지 저감 정책

을 위해 지역간 형평성을 고려해야 한다고 주장하였다.

이와같이 투입산출모형과 환경 영향을 결합한 기존 연구는 생산지역과 소비지역 간 차별성을 비교하거나, 소비기반 배출량에 미치는 사회경제적 요인으로 분해하여 미세먼지 발생 기여도를 분석하였다. 그러나 선행연구는 연간으로 계산된 투입계수를 사용하여 미세먼지의 배출량을 분석하기 때문에 계절에 따라 달라지는 미세먼지 배출량을 이해하는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 분기별 산업연관모형을 사용하여 기간에 따라 발생 빈도가 다른 초미세먼지의 산업별 배출량이 분기별 어떻게 달라지는지 분석하는데, 이는 기존 연구와의 가장 차별화된 내용이라고 볼 수 있다.

2. 분기 투입산출모형 방법론

미세먼지 발생, 태풍, 지진 등 자연 재난은 일반적인 경제 모형에서 사용하는 연간 단위에 비해 짧은 기간에 충격과 영향력이 나타난다. 또한, 생산과 재고 등은 연중 변동하기 때문에, 한 해 동안 어떤 시기에 충격이 발생했는지에 따라 그 영향 범위와 크기가 결정된다(Avelino, 2017). Olashanshy et al.(2012)는 이를 시간 압축 현상(Time Compression)으로 설명하였다. 따라서 시간 압축 현상을 고려하여 환경문제에 따른 경제 구조의 변화와 영향을 분석하기 위해 투입산출모형에 시간적 특성을 설명하기 위한 모형이 개발되었다(Avelino, 2017; Galbusera and Giannopoulos, 2018). 투입산출모형에 시간 특성을 도입한 방법에는 동태 투입산출모형, 계량경제 투입산출모형, 계절성과 분절 특성을 고려한 투입산출모형 등이 있으나, 이 중에서 후자를 제외한 모형은 대체로 연간 모형이라고 볼 수 있다.

동태 투입산출모형은 자본 스톡과 투자 유량의 변화를 시간적으로 연동시킨 모형으로서 기본적으로 두 시점의 투입산출모형이 있어야만 개발 가능하다. 계량투입산출모형에서는 최종수요를 계량경제 모형을 추정하고 이를 투입산출모형에 연계시키는데, Donalgy et al.(2007)는 단기 충격 효과를 분석할 수 있는 연속 시간 지역간 계량투입산출모형(Continuous-Time Regional Econometric Input-Output Model)을 개발하였다. 이 모형은 기

존 충격에 의한 경제적 영향과 회복 과정이 동시에 발생한다고 가정하는 정태 투입산출모형과 달리, 충격과 회복이 여러 분기에 걸쳐 순차적으로 일어나는 과정의 효과를 계량화할 수 있다. 연간 모형에 시간의 이산적 특성을 부여하여 일시적으로 발생하는 충격의 비선형적 연속 복구과정 효과를 분기별로 추정할 수 있으나, 모형 개발에 필요한 분기 자료가 방대하여 실질적으로 개발하는데 한계가 있다.

경제 구조의 분절적 특성에 이용한 분기 투입산출모형은 양비례조정법(RAS) 또는 EURO방법을 이용하여 생산 능력과 재고의 변동, 부문별 충격 등에 대한 반응을 시간 단위별로 분석할 수 있는 모형이다(Holy and Safr, 2020; Avelino, 2017). Holy and Safr(2020)는 양비례조정법을 사용하여 분기별 투입산출표를 산정하였다. 양비례조정법에서는 중간재 구입의 대체 변화와 중간재 투입 비율의 변화를 반영하는 가공도 변화를 사용하여 투입산출표의 행과 열을 일률적으로 조정한다. Holy and Safr(2020)는 다차원 양비례조정법(Multidimensional RAS)을 투입산출표에 적용하여 체코의 분기 투입산출표를 추산하였다. 기간별로 분해된 투입산출표의 총합이 연간 투입산출표 값과 일치하지 않는 단점을 해결하였으나, 여전히 추정에 필요한 자료가 일반적으로 구득하기 어렵다는 단점도 있었다. 반면에, Avelino(2017)는 투입산출표의 내생부문과 외생부문 모두를 동시에 조정하여 총수요와 총공급이 일치될 수 있는 Temporal EURO(T-EURO)을 개발하였다. T-EURO방법론은 양비례조정법에 필요한 분기별 산업별 투입(구입액) 및 수요(판매액) 자료가 아닌, 산업별 부가가치, 최종수요, 수출 및 수입 등 일반적인 거시경제 자료를 사용한다는 점에서 분기모형의 실제적인 개발 가능성을 제고시킬 수 있었다. 이러한 점에서 미세먼지와 같이 계절성 문제를 분석하는데, T-EURO방법을 활용하는 것이 양비례조정법보다 타당하며, 본 연구에서도 이 방법을 이용하여 분기별 투입산출표를 작성하였다.

〈표 1〉 분기 투입산출모형 방법론

연구	모형	주요특성	주요 기여도
Donalgy et al. (2007)	연속 시간 지역간 계량투입산출모형 (Continuous-Time Regional Econometric Input-Output Model)	연간 투입산출모형	일시적 충격의 비선형적 연속 복구과정 효과의 분기별 추정
Holy and Safr (2020)	다차원 양비례조정법 (Multidimensional RAS)	분기 투입산출모형	기간별 투입산출표의 총합이 연간 투입산출표의 총합과 일치하지 않는 단점 극복
Avelino (2017)	Temporal EURO(T-EURO)	분기 투입산출모형	내생부문과 외생부문을 동시에 조정하여 총수요와 총공급이 일치 거시경제자료를 통한 분기모형의 실질적 개발 가능성 제고

III. 분석

1. 미세먼지 분기별 투입산출모형

본 연구는 Avelino(2017)의 T-EURO방법론을 연간 투입산출표에 적용하여, 분기별 투입산출표를 추산하였다. 계절성과 같은 분절적 특성을 고려하여 산업연관표를 작성하는 대표적인 방법론은 양비례조정법(RAS)과 T-EURO 방법론으로 구분할 수 있다. 먼저 양비례조정법(Stone and Brown, 1962)은 양비례성의 가정에 따라 대체효과와 가공도 변화 효과를 모든 요소에 대하여 일률적으로 조정하는 방법론이다. 양비례조정법의 행은 중간재구입의 대체에 다른 대체변화를 나타내며, 열은 한부문의 생산에 있어서 중간재투입 비율의 변화를 반영하는 가공도변화를 나타낸다. 양비례조정법은 기준년도의 투입계수 행렬(A_0)과 작성대상년도의 총산출 벡터(X_t), 중간수요계 벡터(Z_t) 및 중간투입계 벡터(W_t)의 정보를 사용하여, 기준년도의 투입계수표에서 작성대상년도의 투입계수표를 작성한다. 중간수요계 벡터(Z_t)와 중간투입계 벡터(W_t)는 식 (1)에 의해 계산한다.

$$Z_t = X_t - F_t \quad (1)$$

$$W_t = X_t - V_t$$

Y_t : 분석년도 최종수요벡터

v_t : 분석년도 부가가치 벡터

식 (1)을 통해 산출된 중간수요계 벡터와 중간투입계 벡터는 작성대상 년도의 중간거래행렬(M_t)의 행 합계 및 열 합계와 같기 때문에 합 벡터를 사용하여 식 (2)와 같게 된다.

$$W_t = M_t \cdot l' \quad (2)$$

$$Z_t = l \cdot M_t$$

$l = [1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1]$: 합 벡터

대체변화계수(r)의 행별 조정과 가공도변화계수(s)의 열별 조정은 식 (3)과 같다.

$$A_t = \hat{r} \cdot A_0 \cdot \hat{s} \quad (3)$$

A_t : 분석년도 투입계수 행렬

\hat{r} : 대체변화계수(r) 대각행렬

\hat{s} : 가공도 변화계수(s) 대각행렬

또한 분석년도 중간거래행렬(M_t)은 식 (4)와 같다.

$$M_t = A_t \cdot \hat{X}_t = (\hat{r} \cdot A_0 \cdot \hat{s}) \cdot \hat{X}_t \quad (4)$$

식 (2)에 식 (4)를 대입하여 분석년도 중간수요계 벡터와 중간투입계 벡터를 도출하면 식 (5)와 같다. 식 (5)의 행벡터와 열벡터 간 차이가 0에 수렴할 때까지 반복 계산한다. 이와같이 양비례조정법은 기준년도의 투입계수 행렬(A_0)과 작성대상년도의 총산출 벡터(X_t), 중간수요계 벡터(Z_t) 및 중간투입계 벡터(W_t)의 정보를 사용하는 방법론이기 때문에, 분기별 투입산출표를 추산하기 위해서는 각 분기의 중간수요(판매액)와 중간투입(구입액) 자료가 필수적이다. 그러나, 우리나라의 경우 분기별 투입산출표를 추산하기에 필요한 분기별 중간수요와 중간투입 자료가 제한되어있기 때문에, 분기별 투입산출표를 양비례조정법으로 작성하기 어려운 실제적인 문제점이 있다.

$$Z_t = M_t \cdot l = \hat{r} \cdot (A_0 \cdot \hat{X}_t) \cdot s \quad (5)$$

$$W_t = l' \cdot M_t = r' \cdot (A_0 \cdot \hat{X}_t) \cdot \hat{s}$$

본 연구는 산업별 부가가치, 최종수요, 수출 및 수입과 같은 분기별 거시경제자료만을 사용하여 작성하도록 고안된 T-EURO 방법론을 사용하여 분기별 투입산출표를 추산하였다. 투입산출표(생산자가격)는 산업간 중간재수요(Z), 최종수요(Y), 수출(e), 수입(m), 부가가치(v), 총공급 및 총수요로 구성된다. 각 변수 표기에서 대문자는 행렬을 나타내며, 소문자는 벡터를 나타낸다. 위첨자는 기간(t), 반복계산횟수($k = 1, 2, \dots$), 비율(s) 및 외부자료(E)를 각각 나타내며, 아래첨자 i 와 j 는 행과 열을 의미한다. T-EURO 방법론을 적용하기 위한 첫 번째 단계는 식 (6)과 같다.

$${}^s V^{t,1} = E \widehat{v}^t \times (E \widehat{v}^0)^{-1}, \quad (6)$$

$${}^s m^{t,1} = E m^t \times (E m^{0,1*})^{-1},$$

$${}^s e^{t,1} = E e^t \times (E e^{0,1*})^{-1},$$

$${}^s Y^{t,1} = E \widehat{Y}_{*j}^t \times (E \widehat{Y}_{*j}^0)^{-1}$$

${}^s V^{t,1}$: 산업별 부가가치 열벡터의 분기별 비율

${}^s m^{t,1}$: 수입 열벡터의 분기별 비율

${}^s e^{t,1}$: 수출 행벡터의 분기별 비율

${}^s Y^{t,1}$: 최종수요 행렬의 분기별 비율

$E \widehat{v}^t$: 분기별 경제활동별 부가가치 열벡터

$(E \widehat{v}^0)^{-1}$: 연간 투입산출표의 부가가치 열벡터

$E m^t$: 분기별 수입 열벡터

$(E m^{0,1*})^{-1}$: 연간 투입산출표의 수입부분 열벡터

${}^s e^t$: 분기별 수출 열벡터

$(E e^{0,1*})^{-1}$: 연간 투입산출표의 수출부분 열벡터

$E \widehat{Y}_{*j}^t$: 분기별 최종수요 행렬

$(E \widehat{Y}_{*j}^0)^{-1}$: 연간 투입산출표의 최종수요 행렬

식 (6)을 근거로 하여 분기별 산업별 항목별 수치는 식 (7)과 같다.

$$Z^{t,1} = 0.5 \times [(S V^{t,1} \times E Z^0) + (E Z^0 \times S V^{t,1})], \quad (7)$$

$$m^{t,1} = 0.5 \times [(S m^{t,1} \times E m^0) + (E m^0 \times S V^{t,1})],$$

$$Y^{t,1} = 0.5 \times [(S V^{t,1} \times E Y^0) + (E Y^0 \times S Y^{t,1})],$$

$$e^{t,1} = 0.5 \times [(S V^{t,1} \times E e^0) + (E e^0 \times S e^{t,1})]$$

$$v^{t,1} = E V^0 \times S V^{t,1}$$

$Z^{t,1}$: 분기별 산업간 중간재수요 행렬

${}^E Z^0$: 연간 투입산출표 중간재수요 행렬

식 (7)에서 행렬의 앞과 뒷부분에 곱해진 분기별 실제비율은 대체효과와 가공도 변화효과를 의미한다. 그러나, 식 (7)을 통해서 추정된 분기별 투입산출표는 각 분기의 총공급 합과 총수요 합이 동일하지 않은⁶⁾(internally inconsistent) 초기 단계의 투입산출표이다. 식 (7)을 통해 추정된 분기별 투입산출표의 중간투입, 수입 및 부가가치의 투입구조의 합을 $q_j^{t,1} = Z_{j*}^{t,1} + m_{1j}^{t,1} + v_{1j}^{t,1}$ 로 정의한다. 식 (8)의 레온티에프 역행렬식과 식 (9)를 사용하여 각 분기별 투입산출표의 총공급의 합과 총수요의 합을 일치시킬 수 있지만, 모든 분기의 총공급합과 총수요합이 일치가 되지 않는 분기별 투입산출표를 도출한다.

$$X^{t,1} = (I - (Z^{t,1} \times (\hat{q}^{t,1})^{-1}))^{-1} \times ((Y^{t,1} \times \iota) + e^{t,1}) \quad (8)$$

$$Z^{t,1} = Z^{t,1} \times (\hat{q}^{t,1})^{-1} \times \hat{X}^{t,1}, \quad (9)$$

$$m^{t,1} = m^{t,1} \times (\hat{q}^{t,1})^{-1} \times \hat{X}^{t,1},$$

$$v^{t,1} = v^{t,1} \times (\hat{q}^{t,1})^{-1} \times \hat{X}^{t,1},$$

마지막 단계에서는 분기별 투입산출표들의 각 요소의 합계가 연간 투입산출표의 거래량과 일치하는 분기별 투입산출표를 도출하며, 이는 식 (10)⁷⁾과 같다. 분기별 투입산출표의 합과 기간적 불일치 투입산출표의 비율을 연간 투입산출표에 곱해서 기간적으로 일치될 수 있는 분기별 투입산출표를 작성하며, 동일한 값이 도출될 때까지 반복 조정한다.

6) $(Z_{i*}^{t,1} + Y_{i*} + e_i^{t,1}) \neq (Z_{j*}^{t,1} + m_{j*}^{t,1} + v_{j*}^{t,1})$.

7) 선형대수학에서, 아다마르 곱(Hadamard product)은 같은 크기의 두 행렬의 각 성분을 곱하는 연산으로 \otimes 로 나타내며, 나눗셈은 \oslash 로 나타낸다.

$$OIT^{t,1} = {}^E IOT^0 \otimes (OIT^{t,1} \oslash (OIT^{1,1} + OIT^{2,1})), \forall t. \quad (10)$$

$OIT^{t,1}$: 식(4)를 통해서 구해진 투입산출표

${}^E IOT^0$: 연간투입산출표

$OIT^{1,1}$, $OIT^{2,1}$: 각 분기별 투입산출표

분기별로 총공급과 총수요가 일치되고, 모든 분기의 총공급합과 총수요합이 일치되는 분기별 투입산출표가 만들어지면, 식 (6)의 과정을 통해 새로운 분기별 산업별 부가가치, 수입, 수출, 최종수요 비율을 계산한다. 이전 단계의 비율과의 편차를 이용하여, 보정계수(correction factors)를 구한 후, 각 분기별 추정된 결과가 허용 오차 내의 값을 얻을 때까지 반복 계산⁸⁾을 통해 최종 분기별 투입산출표를 도출한다. 추정된 분기별 투입산출표는 각 분기의 산업간 거래관계를 나타내기 때문에 분기별 생산구조로 해석할 수 있다. 먼저, 분기별 투입산출표를 사용하여 투입계수와 생산유발계수를 도출하는데, 투입계수란 최종수요 한 단위 증가에 따른 특정 산업의 중간수요 요구량을 의미한다. 식 (11)에서 A 는 분기별 투입계수행렬로 분기의 산업별 중간수요를 분기의 총산출로 나눈 값을 나타낸다. 식 (11)에서 L 은 레온티에프 역행렬이라 하며, 이는 생산유발계수⁹⁾를 나타낸다. 단위행렬(I)에서 투입계수행렬을 뺀 값에 역행렬을 취한 것으로 레온티에프 역행렬의 각 성분이 생산유발계수이다. 생산유발계수는 연간 혹은 분기별 특정 산업의 최종수요 한 단위 변화를 충족시키는데 직간접적으로 필요한 산업별 생산액을 의미한다.

$$L = (I - A)^{-1} \quad (11)$$

8) 허용오차는 0.005로 하였다.

9) 생산유발계수를 이용하여 산업연관분석을 할 경우, Hawkins-Simon의 조건을 만족해야한다. 본 연구의 투입계수는 0과 1사이의 값을 보이며 이 조건을 만족했다. 레온티에프 역행렬의 대각 요소 또한 1보다 크거나 같다는 조건을 만족하였다.

분기별 생산유발계수에 배출계수를 결합하여 미세먼지 분기별 배출량을 계산한다. 본 연구는 식 (11)에서 계산된 생산유발계수에 산업별 미세먼지 배출량을 기초로 산출된 산업별 미세먼지 배출계수를 적용함으로써, 식 (12)과 같은 분기별 산업별 미세먼지 배출유발계수를 계산한다.

$$P = F(I - A)^{-1} \quad (12)$$

식 (12)에서 F 는 배출계수로 미세먼지의 직접 배출량을 의미한다. 전국의 산업별 미세먼지 배출량을 분기별 산업별 총 산출액으로 나눈 계수의 행벡터를 대각요소로 하는 정방행렬로써 단위 생산당 발생하는 미세먼지의 양을 나타낸다. P 는 산업연관관계를 통해 각 산업이 투입한 중간재까지 고려한 미세먼지 배출량을 나타내는 미세먼지 배출유발계수이다. 이는 산업별 산출액 한 단위당 직간접으로 발생하는 미세먼지의 배출량을 의미한다.

2. 분석 자료

본 연구에서는 한국은행에서 제공하는 2010년 연간 투입산출표와 거시 통계자료를 사용하여 분기별 투입산출표를 작성하였다. 2010년 투입산출표는 산업 대분류에 따라 30개의 산업으로 구성된 생산자가격 총 거래표이다. 거시 통계자료는 한국은행 국민계정에서 제공하는 분기별 경제활동별 총부가가치, 분기별 최종소비지출(가계 및 가계봉사비영리단체), 일반정부소비지출 및 분기별 총저축과 총투자의 국내총자본형성이 사용되었다. 수출액과 수입액은 한국무역협회에서 제공하는 2010년 우리나라의 수출입총괄 분기별 자료를 사용하였다. 미세먼지 배출량은 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량서비스¹⁰⁾(National Air Pollutants Emission

10) 국가대기오염물질 배출량 서비스는 8가지 대기오염물질(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOC, NH₃)의 배출량과 에너지산업연소, 비산업연소, 제조업 연소, 생산공정, 비도로이용오염원 및 도로이용오염원 등 총 13개 배출원대분류의 배출량

Service)에서 제공하는 2014년 대기오염물질 배출량 통계자료를 토대로 산정되었다. 본 연구에서는 특히 산업부문에 연구의 초점이 맞추어진 만큼 초미세먼지의 배출량을 산정하기 위해 비도로이용오염원, 비산업연소, 생산공정, 에너지산업연소, 제조업연소 및 폐기물처리의 산업부문과 관련된 6개 배출원대분류¹¹⁾의 배출량을 사용하였다.

〈표 2〉는 본 연구에서 사용된 전국 산업별 미세먼지 배출량과 배출계수¹²⁾를 보여준다. 초미세먼지는 비도로이용오염원, 비산업연소, 생산공정, 에너지산업연소, 제조업연소 및 폐기물처리의 6개 배출원(대분류)으로부터 총배출량 56,569톤이 발생되었다. 특히, 1차 금속제품 산업에서 26,849톤이 발생되어 우리나라 전체 초미세먼지 발생량의 47.46%를 차지하였다. 그 뒤를 이어 운송서비스가 10,301톤(18.21%), 건설이 5,563톤(9.83%), 비금속광물제품 4,292톤(7.59%), 그리고 전력,가스,수도 및 폐기물 외가 3,633(6.42%)톤으로 미세먼지를 많이 발생시켰다.

배출계수(f)는 각 산업의 총 산출액에 대한 단위 생산 당 미세먼지 배출량을 나타낸다. 산업부문을 미세먼지 최대 배출원이기 때문에, 어떤 산업이 미세먼지를 다량 배출하는지 확인하기 위해 산업별로 살펴보는 것이 필요하다. 산업별 미세먼지 배출계수를 추정하기 위해, 2010년 연간 투입산출표의 산업별 총 산출액을 19개 산업분류에 따라 재분류 한 후, 산업별 미세먼지 배출량을 산업별 총 산출액으로 나눈다. 2014년 기준 우리나라 전 산업의 초미세먼지 배출계수는 0.0174로, 단위 생산당 0.0174 kg/미세먼지를 발생시켰다. 미세먼지 배출계수가 가장 높은 산업은 1차 금속 산업으로 단위 생산당 0.1305 kg/백만 원의 미세먼지를 배출하였으며, 비

자료를 연도별로 제공한다.

- 11) 투입산출표의 산업분류체계와 대기오염물질 배출원 분류체계가 다르기 때문에 미세먼지 배출량 자료를 투입산출표의 산업분류체계를 기준으로 분류한다.
- 12) 산업 대분류에 따라 총 30개 산업으로 분류된 투입산출표를 주요 배출원에 따라 19개의 산업으로 재분류한다. 전력, 가스 및 증기서비스(16)와 수도, 폐기물 및 재활용 서비스(17)를 하나의 산업으로 통합한다. 농림수산물, 광산물, 식료품 및 운송서비스 등 기존 17개의 산업은 기존의 체계로 유지시킨다. 총 18개의 산업 구분을 제외한 도소매서비스, 음식점 및 숙박서비스 등 나머지 서비스 업종은 기타서비스업으로 통합 분류하였다.

〈표 2〉 산업별 미세먼지 배출량과 배출계수

산업분류		배출량(톤)		배출계수(F)(kg/백만원)
1	농림수산물	1,526.19	2.70%	0.0288
2	광산품	1.41	0.00%	0.0004
3	음식료품	1.52	0.00%	0.0000
4	섬유 및 가죽제품	799.85	1.41%	0.0127
5	목재 및 종이, 인쇄	18.67	0.03%	0.0005
6	석탄 및 석유 제품	76.49	0.14%	0.0006
7	화학제품	940.85	1.66%	0.0042
8	비금속광물제품	4,291.54	7.59%	0.1185
9	1차 금속제품	26,848.58	47.46%	0.1305
10	금속제품	84.52	0.15%	0.0010
11	기계 및 장비	3.45	0.01%	0.0000
12	전기 및 전자기기	2.57	0.00%	0.0000
13	정밀기기	0.47	0.00%	0.0000
14	운송장비	8.65	0.02%	0.0000
15	기타 제조업	2,191.92	3.87%	0.0426
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	3,632.55	6.42%	0.0384
17	건설	5,563.13	9.83%	0.0285
18	운송서비스	10,300.61	18.21%	0.0806
19	기타 서비스업	276.02	0.49%	0.0002

자료: 국립환경과학원(2016)

금속광물산업 0.1185 kg/백만원, 운송서비스 0.080 kg/백만 원의 순서로 높았다. 이 산업들은 미세먼지 다량 배출산업이라 할 수 있다.¹³⁾

3. 분기별 투입산출모형

본 연구에서는 연간 생산유발계수와 분기별 생산유발계수의 비교¹⁴⁾를

13) 환경부의 '미세먼지 다량배출사업장 배출허용기준 최대 2배 강화' 보도자료(2018.6)에 따르면 상위 20대 사업장은 석탄화력발전소, 제철, 시멘트 및 석유화학 등 산업단지가 차지하고 있다.

14) Avelino(2017)는 브라질의 생산유발계수를 사용하여 산업의 분기별 생산유발계수의 분기 변화를 설명하였다. 특히, 농림수산물, 광산품, 금융서비스, 공공행정서비스 부문의 경우에 연간 생산유발계수 대비 각 분기별 생산유발계수의 편차가 0.5%에서

통해 분기별로 생산구조가 어떤 차이를 보이는지 살펴보았다. 연간 및 분기별 산업별 생산유발계수의 열 합 및 연간 생산유발계수 대비 분기별 생산유발계수 가중평균의 편차는 <표 3>와 같다. 연간 생산유발계수와 분기별 생산유발계수는 동일하게 1차 금속제품, 금속제품, 화학제품, 운송장비, 기계및장비, 그리고 전기 및 전자기기 순으로 높은 값을 나타냈다. 그러나, 분기별 생산유발계수는 각 기간 별로 상이한 수치를 보였다. 생산유발계수가 가장 높은 1차 금속제품의 경우, 연간 투입산출표를 적용한다면 1차 금속의 최종수요가 한 단위 증가함에 따라 직간접적으로 연간 4.0471 단위의 생산이 유발된다. 반면, 분기별 투입 산출표를 사용하면, 2010년 1분기에는 연중 가장 낮은 수치인 4.0500 단위의 생산유발이 이루어지고, 4분기에는 가장 높은 4.0888 단위의 생산이 유발되었다. 연간 생산유발계수 대신 분기별 생산유발계수를 사용하여 파급효과를 분석한다면, 1차 금속 산업의 연중 생산구조가 어떻게 변동하는지 파악할 수 있다.

연간 생산유발계수 대비 각 분기별 생산유발계수의 편차¹⁵⁾가 가장 크게 나타나는 석탄 및 석유제품 산업의 경우, 1분기 1.71%, 2분기 -1.73%, 3분기 -2.33% 및 4분기 1.32% 결과 값을 보였다(부록 <표 1> 참조). 또한, 석탄 및 석유제품 산업의 분기별 생산유발 계수 간 변동을 살펴본다면 1분기와 2분기의 차이는 -3.50%, 2분기와 3분기는 -0.59%, 3분기와 4분기는 3.57% 및 4분기와 1분기의 차이는 0.39%로 추산되었다(부록 <표 2> 참조). 석탄 및 석유 산업제품 산업의 경우, 생산구조에 영향을 주는 외부 충격이 발생했을 때, 충격이 발생한 시점 및 그 영향의 지속기간에 따라 경제에 미치는 파급효과의 크기가 다르게 나타난다는 것을 의미한다. 이와 같이 분기별 투입산출표는 연간 투입계수로는 파악이 불가능한 계절성, 분기별 생산변동 및 단기현상을 파악함으로써, 기간에 따라 상이한 생

4%사이로 상대적으로 다른 산업의 편차에 비해 높다. ((연간 생산유발계수-분기별 생산유발계수)/연간생산유발계수)*100를 통해 분기별 생산유발계수대신 연간 생산유발계수를 사용할 경우 양의 편차는 과대평가(overestimation) 그리고 음의 편차는 과소평가(underestimation)를 의미한다.

15) ((연간 생산유발계수-분기별 생산유발계수)/연간생산유발계수)*100.

산구조가 경제에 미치는 파급효과를 분석할 수 있다.

〈표 3〉 연간 및 분기별 생산유발계수

	산업분류	연간(A)	분기					편차 ((B-A)/A)*100
			1분기	2분기	3분기	4분기	가중평균 (B)	
1	농림수산물	2.2879	2.3174	2.2773	2.2879	2.2898	2.2922	0.19%
2	광산물	2.2198	2.2239	2.2096	2.2616	2.2102	2.2254	0.25%
3	음식료품	2.8966	2.8983	2.9105	2.9075	2.8981	2.9036	0.24%
4	섬유 및 가죽제품	3.1632	3.1615	3.1680	3.1869	3.1781	3.1737	0.33%
5	목재 및 종이, 인쇄	3.1018	3.1152	3.1057	3.1524	3.1395	3.1271	0.82%
6	석탄 및 석유 제품	2.8003	2.7524	2.8487	2.8655	2.7633	2.8060	0.20%
7	화학제품	3.4449	3.4487	3.4769	3.4752	3.4629	3.4664	0.63%
8	비금속광물제품	2.9752	3.0164	2.9506	3.0021	3.0012	2.9901	0.50%
9	1차 금속제품	4.0471	4.0500	4.0778	4.0872	4.0888	4.0773	0.75%
10	금속제품	3.4607	3.5047	3.5022	3.5056	3.5151	3.5072	1.34%
11	기계 및 장비	3.3735	3.3570	3.3753	3.3835	3.4750	3.3975	0.71%
12	전기 및 전자기기	3.3731	3.3893	3.4000	3.3694	3.3951	3.3882	0.45%
13	정밀기기	3.1105	3.0950	3.1387	3.0995	3.1533	3.1219	0.37%
14	운송장비	3.4258	3.4103	3.4334	3.4479	3.4826	3.4442	0.54%
15	기타 제조업	2.6694	2.6463	2.6997	2.7010	2.6667	2.6790	0.36%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	2.7664	2.7493	2.7972	2.7710	2.7829	2.7748	0.30%
17	건설	2.8885	2.9516	2.9034	2.8966	2.8828	2.9063	0.61%
18	운송서비스	2.7964	2.7863	2.8139	2.8110	2.7982	2.8025	0.22%
19	기타 서비스업	1.9964	1.9895	2.0054	1.9992	2.0054	2.0001	0.18%

〈표 4〉은 산업별 초미세먼지의 연간 및 분기별 배출유발계수와 연간 배출유발계수 대비 분기별 배출유발계수 편차를 정리하였다. 연간 및 분기에 따른 산업별 미세먼지 배출유발계수는 1차 금속제품, 비금속광물제품, 금속제품, 운송서비스 및 건설 산업 순으로 높다. 1차 금속제품, 비금속광물제품, 운송서비스, 건설 산업 등 초미세먼지 배출량과 배출계수가 높게 나타난 산업은 배출유발계수 또한 높은 수치를 나타냈다.¹⁶⁾ 이러한 산업

16) 산업별 생산유발계수와 비교 한 결과, 생산유발계수가 높은 수치를 보인 산업 중 배출유발계수도 높은 수치를 보인 산업은 1차 금속제품과 금속제품이다.

들은 다량의 초미세먼지를 직접 배출할 뿐만 아니라, 다른 산업이 이 산업의 재화를 사용함에 따라 간접적으로 유발되는 양도 크기 때문에 초미세먼지 다량 배출산업으로 분류할 수 있다. 또한, 모든 산업에서 분기별 배출유발계수는 매 분기별로 상이한 수치를 나타낸다. 예를 들어, 연간 투입산출표를 적용할 경우에 2014년 기준 초미세먼지 배출유발계수가 가장 높은 1차 금속제품의 재화 1단위 생산은 국내에 0.3428(kg/백만원)의 초미세먼지가 발생시킨다. 반면, 분기별 투입산출표를 적용할 경우, 1분기 0.3392(kg/백만원), 2분기 0.3444(kg/백만원), 3분기 0.3434(kg/백만원) 및 4분기 0.3503(kg/백만원)로 분기별로 다르게 발생된다. 이 결과는 계절성이 뚜렷한 초미세먼지의 산업별 배출량이 분기별로 차이가 있다는 것을 보인다.

〈표 4〉 연간 및 분기별 초미세먼지 배출유발계수

산업분류	연간(A)	분기					가중평균(B)	편차 ¹⁷⁾ (((B-A)/A)*100
		1분기	2분기	3분기	4분기			
1	농림수산물	0.0474	0.0475	0.0473	0.0473	0.0478	0.0475	0.24%
2	광산품	0.0306	0.0303	0.0303	0.0315	0.0310	0.0308	0.64%
3	음식료품	0.0338	0.0332	0.0343	0.0339	0.0344	0.0340	0.53%
4	섬유 및 가죽제품	0.0527	0.0522	0.0528	0.0528	0.0541	0.0530	0.51%
5	목재 및 종이, 인쇄	0.0311	0.0308	0.0306	0.0322	0.0327	0.0315	1.44%
6	석탄 및 석유 제품	0.0275	0.0264	0.0281	0.0289	0.0275	0.0277	0.71%
7	화학제품	0.0412	0.0405	0.0418	0.0414	0.0427	0.0416	1.11%
8	비금속광물제품	0.1867	0.1859	0.1870	0.1871	0.1886	0.1872	0.29%
9	1차 금속제품	0.3428	0.3392	0.3444	0.3434	0.3503	0.3448	0.57%
10	금속제품	0.1366	0.1364	0.1384	0.1366	0.1444	0.1392	1.88%
11	기계 및 장비	0.0922	0.0892	0.0918	0.0899	0.1019	0.0932	1.12%
12	전기 및 전자기기	0.0640	0.0632	0.0658	0.0617	0.0672	0.0645	0.88%
13	정밀기기	0.0458	0.0444	0.0470	0.0442	0.0491	0.0462	0.89%
14	운송장비	0.0769	0.0743	0.0768	0.0757	0.0835	0.0777	1.00%
15	기타 제조업	0.0912	0.0889	0.0918	0.0910	0.0940	0.0915	0.41%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	0.0725	0.0715	0.0732	0.0724	0.0737	0.0727	0.34%
17	건설	0.1017	0.1021	0.1031	0.1005	0.1040	0.1025	0.78%
18	운송서비스	0.1195	0.1188	0.1199	0.1198	0.1201	0.1197	0.16%
19	기타 서비스업	0.0150	0.0147	0.0152	0.0150	0.0156	0.0151	0.66%

17) 연간 배출유발계수 대비 분기별 배출유발계수 가중평균의 편차는 모든 산업에서 분기별 배출유발계수의 가중평균이 더 높은 값을 나타낸다.

연간 배출유발계수 대비 각 분기별 배출유발계수의 편차를 비교해보면, 모든 산업에서 초미세먼지 연간 배출유발계수 대비 분기 배출유발계수의 편차 변동은 최소 0.02%에서 최대 10.61% 범위로 나타났다(부록 <표 3> 참조). 예를 들어, 금속제품 산업의 연간 배출유발계수 대비 분기 배출유발계수 편차는 1분기 0.16%, 2분기 -1.28%, 3분기 0.02%, 4분기 -5.65% 등으로 비교적 크다. 이는 2분기와 4분기에 금속제품 산업의 생산 활동을 통한 초미세먼지 배출유발량의 경우, 분기별 배출유발계수는 연간 배출유발계수에 비해 더 높은 배출량을 제시한다. 반면, 1분기와 3분기 배출유발량은 연간 배출유발계수를 사용했을 경우보다 낮게 측정되었다. 또한, 분기별 배출유발계수 간 변동을 살펴본다면 1분기와 2분기 차이는 -1.44%, 2분기와 3분기는 -1.29%, 3분기와 4분기는 -5.67%, 4분기와 1분기 차이는 5.50%로 시간의 변동 폭이 큰 것으로 보인다(부록 <표 4> 참조). 따라서, 미세먼지 배출유발계수가 높게 나타난 금속제품 산업의 경우, 연간투입산출표를 사용한다면 큰 차이를 보이는 분기단위의 초미세먼지 배출량의 변화를 파악하지 못하게 된다. 즉, 계절성이 뚜렷한 초미세먼지와 같은 환경문제는 연간 단위에 비해 짧은 기간에 충격과 영향이 나타나고 있으며, 연중 어떤 시기에 충격이 발생했는지에 따라 그 영향 범위와 크기가 결정된다. 연 단위보다는 분기 단위 단기적인 시각의 분석이 중요하기 때문에 산업별 초미세먼지 배출량을 분석하기 위해서는 연간 투입산출모형보다는 분기별 투입산출모형을 사용할 필요가 있다.

우리나라의 분기 배출유발계수를 비교하면, 광산품, 석탄 및 석유 제품 등을 제외한 모든 산업에서 4분기 배출유발계수가 가장 높게 나타났으며, 1차 금속제품, 비금속광물제품, 금속제품, 운송서비스 및 건설 산업 순으로 높다. 반면, 1분기는 대부분 산업에서 분기별 초미세먼지 배출유발계수가 가장 낮게 나타났다. 또한, 연간 배출유발계수 대비 분기별 배출유발계수 편차의 경우, 역시 광산품과 석탄 및 석유제품 산업을 제외한 전 산업의 4분기 편차가 음수로 나타났다. 즉, 각 산업 4분기에 발생하는 초미세먼지 배출량은 산업별 연평균 초미세먼지 배출량 추세보다 낮다는 것을

의미한다. 반면에 1분기의 경우, 대부분 산업에서 양의 값을 보인다.

우리나라 초미세먼지 발생에 영향을 주는 요인은 크게 중국에서 발생하는 미세먼지의 유입과 국내요인¹⁸⁾으로 구분된다. 특히, 국내 요인 중에서는 전국적으로 산재되어 있는 제조업 중심의 산업부분이 주된 요인 중 하나로 간주된다. 본 연구의 결과에 따르면, 국내 산업부분들은 주로 4분기에 생산 활동을 통해 초미세먼지를 많이 배출한다. 또한, 1분기에는 국내 산업부분들의 초미세먼지 배출 유발량이 상대적으로 낮다는 점에서 이 시기에 발생하는 초미세먼지의 원인은 중국의 영향이나 석탄 화력발전과 경유 소비량과 같은 국내의 다른 요인에서 찾을 수 있다. 국립환경과학원(2019)에 따르면, 국내 초미세먼지의 51.2%가 국내 요인이고, 32%가 중국의 요인에 기인하지만, 고농도 시기(12월~3월)에는 중국의 영향력이 70%로 확대되는 것으로 분석하였다. 김종희 등(2016)에 따르면, 2014년 2월에서 3월까지 서울의 미세먼지 발생 원인을 분석한 결과 중국의 영향은 39.77%에서 53.19%로 타나났고, 국내 요인은 15.37%에서 37.10%로 나타났다. Vellingiri et al(2015)는 2013년 서울 용산 지역의 미세먼지의 이동 경로를 분석한 결과, 1월에는 카자흐스탄, 몽골, 중국으로부터 미세먼지 유입이 발생하고 3월에는 몽골과 중국에서 미세먼지 유입이 일어난다는 결과를 제시하였다. 우리나라의 경우 1분기 산업의 생산 활동에 따른 초미세먼지 배출량이 연평균 수치보다 낮은 본 연구의 결과는 이들 선행연구들과 일치하며 고농도 기간인 1분기에는 제조업 중심의 산업부분보다는 발전소, 경유차 등 국내의 다른 요인이나 중국의 영향력이 높다는 것을 의미한다.

2010년 투입산출표를 기준으로 산업 활동에 따른 초미세먼지의 분기별 배출량을 분석한 결과, 배출유발계수가 높은 산업들에서 연간 배출유발계수 대비 각 분기별 배출유발계수의 편차가 분기별로 높게 나타났다. 또한,

18) 국회예산정책처의 '미세먼지 대응 사업 분석'(2019.9)에 따르면 전국적으로는 사업장 배출(39.5%), 건설기계 등(15.6%), 자동차(13.5%), 발전소(13.4%), 생활주변오염원(9.3%) 등의 순이고, 수도권은 자동차(29.4%), 건설기계 등(18.5%), 사업장(11.3%), 냉난방 등(10.3%), 발전소(9.0%) 등의 순이다.

대부분의 산업부분이 4분기에 초미세먼지를 상대적으로 많이 배출하는 반면 1분기에는 대부분의 산업이 초미세먼지를 상대적으로 적게 배출하였다. 경제 구조 내의 분절적 특성을 파악하는데 한계를 나타내는 연간 투입산출모형 대신 분기별 투입산출모형을 사용하여 계절성을 강하게 띄고 있는 초미세먼지 배출량의 분기별 변화와 영향을 분석하여야 한다. 또한, 2019년 12월부터 미세먼지 계절관리제가 시행되고 있는 상황에서, 분기별 투입산출 모형을 이용한 본 연구의 결과는 4분기에는 국내 제조업 부분의 효율적인 미세먼지 저감 및 관리를 위한 정책이 필요하며, 미세먼지 고농도 시기인 1분기에는 중국과의 국제협력을 통한 미세먼지 저감 정책이 요구된다.

IV. 결론

본 연구의 목적은 분기별 투입산출모형을 추정하여 산업부분의 미세먼지 배출량이 계절별로 어떻게 차이를 보이는지 분석하는 것이다. T-EURO 방법론을 적용하여 2010년도 연간 전국 산업연관표를 분기별 투입산출모형으로 변환하고, 이를 토대로 하여 산업별 생산유발계수와 산업별 미세먼지 배출유발계수의 연간 및 분기간 차이를 분석하였다.

분석 결과 생산유발계수 측면에서 보면 연간 및 분기별 생산유발계수는 동일하게 1차 금속제품, 금속제품, 화학제품, 운송장비 및 기계및장비 순으로 높았다. 그러나, 분기별 생산유발계수는 각 기간 별로 상이한 수치를 나타내며, 생산구조에 영향을 주는 외부 충격이 발생했을 때, 발생시점과 지속기간에 따라 파급효과의 크기가 다르다는 것을 보였다. 미세먼지의 분기별 배출유발량을 분석한 결과, 연간 배출유발계수와 동일하게 1차 금속제품, 비금속광물제품, 금속제품, 운송서비스 및 건설 산업 순으로 높았다. 배출유발계수가 높은 상위 10개 산업의 연간 배출유발계수 대비 분기 배출유발계수 편차는 3%에서 최고 10.61%로 나타났으며, 4분기에는 산업

의 초미세먼지 배출유발량이 높은 반면, 1분기에는 상대적으로 적게 나타났다. 본 연구의 결과는 4분기에는 국내 제조업 부분의 효율적인 미세먼지 저감 및 관리를 위한 정책이 필요하며, 미세먼지 고농도 시기인 1분기에는 중국과의 국제협력을 통한 미세먼지 저감 정책이 강화되어야 한다는 것을 의미한다.

본 연구의 한계 및 향후의 연구는 다음과 같다. 우선, 본 연구는 우리나라의 산업별 초미세먼지 배출량이 분기별로 어떤 차이를 보이는지 분석하였다. 그러나 미세먼지의 발생량은 지역별로 상이한 차이를 보일 뿐만 아니라, 월경성 오염물질인 미세먼지는 대기를 통해 지역 간 이동하기 때문에, 지역 분석이 상당히 중요하다. 지역별 분기별 산업연관모형의 발전을 통해 지역의 분기별 산업의 미세먼지 배출량 분석이 시행되어야 할 것이다. 더 나아가 분기별 산업연관표의 자료로써의 활용가치를 사용하여 우리나라의 분기별 연산일반균형(Computable General Equilibrium) 모형을 발전시킬 수 있을 것이다. 이를 이용하여 계절성이 중요하게 고려되는 관광 등 다양한 산업의 미세먼지로 인한 영향 및 장기적으로 경제성장에 미치는 부정적 긍정적인 요인을 분석할 수 있을 것이다. 다음으로, 본 연구는 2010년도 연간 투입산출표를 사용하여 분석한 한계를 지닌다. 향후 2015년 연간 투입산출표 및 연장표를 사용하여 분기별 미세먼지 배출량 분석이 시행된다면, 이를 활용하여 분기별 미세먼지 배출량의 동태적 분석도 가능할 것이다. 마지막으로, 산업부문에서 발생하는 미세먼지 배출량 이외에 발전소, 경유차 등의 다른 국내 요인과 중국의 영향으로 생성되는 미세먼지 배출량은 감안하지 못하였기 때문에, 향후 이에 대한 확장된 방법론을 통한 연구가 진행되어야 할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 국립환경과학원, 2016, 『2014 국가 대기오염물질 배출량』, 인천: 국립환경과학원.
 _____, 2018, 『2015 국가 대기오염물질 배출량』, 인천: 국립환경과학원.

- _____, 2019, 『동북아 장거리이동 대기오염물질 국제공동연구(LTP) 요약 보고서』, 인천: 국립환경과학원.
- 국회예산정책처, 2019, 『미세먼지 대응 사업 분석』, 서울: 국회예산정책처.
- 김의준·문승은, 2019, “미세먼지의 지역별 생산기반 배출량과 소비기반 배출량,” 『한국지역개발학회지』, 31(1), pp.101-122.
- 김중희·최대련·구윤서·이재범·박현주, 2016, “2014년 2월 서울의 고농도 미세먼지 기간 중에 CMAQ-DDM을 이용한 국내외 기여도 분석,” 『한국대기환경학회지』, 32(1), pp.82-99, DOI: 10.5572/KOSAE.2016.32.1.082.
- 박순애·신현재, 2017, “한국의 초미세먼지(PM_{2.5})의 영향요인분석: 풍향을 고려한 계절성 원인을 중심으로,” 『환경정책』, 25(1), pp.227-248, DOI: 10.15301/jepa.2017.25.1.227.
- 임응순·정근오, 2009, “지역산업연관표를 이용한 충청지역 산업분석,” 『한국산학기술학회논문지』, 10(6), pp.1361-1368.
- 정희성·강만옥·임현정, 2002, 『지속가능성 평가를 위한 지역 생태-경제 모형 개발연구 (I)』, (연구보고서; 2002-RE-01), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 한국무역협회, 2010, 『수출입총괄』, 서울: 한국무역협회.
- 한국은행, 2014, 『2010년 산업연관표』, 서울: 한국은행.
- 환경부, 2018.6.28., “미세먼지 다량배출사업장 배출허용기준 최대 2배 강화,” 보도자료.
- Avelino, A. F. T., 2017, “Disaggregating input-output tables in time: The temporal input-output framework,” *Economic Systems Research*, 29(3), pp.313-334, DOI: 10.1080/09535314.2017.1290587.
- Donaghy, K. P., N. Balta-Ozkan, and G. J. D. Hewings, 2007, “Modeling unexpected events in temporally disaggregated econometric input-output models of regional economics,” *Economic Systems Research*, 19(2), pp.125-145, DOI: 10.1080/09535310701328484.
- Galbusera, L. and G. Giannopoulos, 2018, “On input-output economic models in disaster impact assessment,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30, pp.186-198, DOI: 10.1016/j.ijdrr.2018.04.030.
- Guan, D., X. Su, Q. Zhang, G. Peters, Z. Liu, and Y. Lei et al., 2014, “The socioeconomic drivers of China’s primary PM_{2.5} emissions,” *Environmental Research Letters*, 9, 024010, DOI: 10.1088/1748-9326/9/2/024010.
- Holy, V. and K. Safr, 2020, “Disaggregating input-output tables by the multidimensional RAS method,” arXiv:1704.07814, Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1704.07814.pdf>.
- Huo, H., Q. Zhang, D. Guan, X. Su, H. Zhao, and K. He, 2014, “Examining air pollution in China using production-and consumption-based emissions

- accounting approaches,” *Environmental Science and Technology*, 48, pp.14139-14147, DOI: 10.1021/es503959t.
- Meng, J., J. Liu, Y. Xu, D. Guan, Z. Liu, and Y. Huang et al., 2016, “Globalization and pollution: Tele-connecting local primary PM_{2.5} emissions to global consumption,” *Proceedings of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 472(2195), 20160380, DOI: 10.1098/rspa.2016.0380.
- OECD, 2016, *The economic consequence of outdoor air pollution*, Paris: OECD Publishing.
- Olshansky, R., L. Hopkins, and L. Johnson, 2012, “Disaster and recovery: Processes compressed in time,” *Natural Hazards Review*, 13, pp.173-178, DOI: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000077.
- Stone, R. A. and A. Brown, 1962, *A computable model of economic growth*, London: Chapman and Hall.
- Vellingiri, K., K. H. Kim, C. J. Ma, C. H. Kang, J. H. Lee, and I. S. Kim et al., 2015, “Ambient particulate matter in a central urban area of Seoul, Korea,” *Chemosphere*, 119, pp. 812-819, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.049.
- World Economic Forum, 2018, *The global risks report 2018*. (13th Ed.), Geneva: World Economic Forum.
- Wu, L., Z. Zhong, C. Liu, and Z. Wang., 2017, “Examining PM_{2.5} emissions embodied in China’s supply chain using a multiregional input-output analysis,” *sustainability*, 9, 727, DOI: 10.3390/su9050727.
- Yang, S. and B. Chen, 2017, “Driving forces of particulate matter emissions in China,” *Energy Procedia*, 105, pp.4601-4606, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.995.
- 국립환경과학원 국가대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>, [2018.7.2]
- Health Effect Institute, 2017, <https://www.stateofglobalair.org>, [2018.9.4]

부록

〈표 1〉 연간 대비 분기별 생산유발계수 편차

(단위: %)

산업분류		분기			
		1분기	2분기	3분기	4분기
1	농림수산물	-1.29%	0.46%	0.00%	-0.09%
2	광산품	-0.19%	0.46%	-1.89%	0.43%
3	음식료품	-0.06%	-0.48%	-0.38%	-0.05%
4	섬유 및 가죽제품	0.05%	-0.15%	-0.75%	-0.47%
5	목재 및 종이, 인쇄	-0.43%	-0.13%	-1.63%	-1.22%
6	석탄 및 석유 제품	1.71%	-1.73%	-2.33%	1.32%
7	화학제품	-0.11%	-0.93%	-0.88%	-0.52%
8	비금속광물제품	-1.38%	0.83%	-0.90%	-0.87%
9	1차 금속제품	-0.07%	-0.76%	-0.99%	-1.03%
10	금속제품	-1.27%	-1.20%	-1.30%	-1.57%
11	기계 및 장비	0.49%	-0.05%	-0.30%	-3.01%
12	전기 및 전자기기	-0.48%	-0.80%	0.11%	-0.65%
13	정밀기기	0.50%	-0.91%	0.35%	-1.37%
14	운송장비	0.45%	-0.22%	-0.64%	-1.66%
15	기타 제조업	0.86%	-1.14%	-1.18%	0.10%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	0.62%	-1.11%	-0.16%	-0.60%
17	건설	-2.18%	-0.52%	-0.28%	0.20%
18	운송서비스	0.36%	-0.63%	-0.52%	-0.07%
19	기타 서비스업	0.34%	-0.45%	-0.14%	-0.45%

〈표 2〉 분기간 생산유발계수 변화

(단위: %)

산업분류		분기			
		1,2분기	2,3분기	3,4분기	4,1분기
1	농림수산물	1.73%	-0.46%	-0.09%	-1.21%
2	광산품	0.65%	-2.36%	2.28%	-0.62%
3	음식료품	-0.42%	0.11%	0.32%	-0.01%
4	섬유 및 가죽제품	-0.20%	-0.60%	0.27%	0.52%
5	목재 및 종이, 인쇄	0.30%	-1.50%	0.41%	0.77%
6	석탄 및 석유 제품	-3.50%	-0.59%	3.57%	0.39%
7	화학제품	-0.82%	0.05%	0.35%	0.41%
8	비금속광물제품	2.18%	-1.74%	0.03%	-0.51%
9	1차 금속제품	-0.69%	-0.23%	-0.04%	0.95%
10	금속제품	0.07%	-0.09%	-0.27%	0.30%
11	기계 및 장비	-0.54%	-0.25%	-2.70%	3.40%
12	전기 및 전자기기	-0.32%	0.90%	-0.76%	0.17%
13	정밀기기	-1.41%	1.25%	-1.73%	1.85%
14	운송장비	-0.68%	-0.42%	-1.01%	2.08%
15	기타 제조업	-2.02%	-0.05%	1.27%	0.77%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	-1.74%	0.94%	-0.43%	1.21%
17	건설	1.63%	0.24%	0.47%	-2.39%
18	운송서비스	-0.99%	0.10%	0.45%	0.43%
19	기타 서비스업	-0.80%	0.31%	-0.31%	0.79%

〈표 3〉 연간 대비 분기별 배출유발계수 편차

(단위: %)

산업분류		분기			
		1분기	2분기	3분기	4분기
1	농림수산물	-0.21%	0.15%	0.04%	-0.91%
2	광산품	1.05%	1.01%	-3.11%	-1.50%
3	음식료품	1.78%	-1.39%	-0.47%	-1.81%
4	섬유 및 가죽제품	1.06%	-0.15%	-0.21%	-2.58%
5	목재 및 종이, 인쇄	0.84%	1.61%	-3.41%	-5.24%
6	석탄 및 석유 제품	4.11%	-2.15%	-5.05%	0.15%
7	화학제품	1.68%	-1.53%	-0.49%	-3.72%
8	비금속광물제품	0.41%	-0.18%	-0.21%	-1.01%
9	1차 금속제품	1.05%	-0.46%	-0.16%	-2.19%
10	금속제품	0.16%	-1.28%	0.02%	-5.65%
11	기계 및 장비	3.17%	0.41%	2.44%	-10.61%
12	전기 및 전자기기	1.19%	-2.78%	3.50%	-5.06%
13	정밀기기	3.01%	-2.71%	3.43%	-7.19%
14	운송장비	3.42%	0.10%	1.53%	-8.56%
15	기타 제조업	2.45%	-0.66%	0.14%	-3.12%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	1.37%	-1.08%	0.08%	-1.77%
17	건설	-0.42%	-1.35%	1.21%	-2.31%
18	운송서비스	0.58%	-0.36%	-0.28%	-0.50%
19	기타 서비스업	2.46%	-1.20%	0.00%	-3.59%

〈표 4〉 분기간 배출유발계수 변화

(단위: %)

산업분류		분기			
		1,2분기	2,3분기	3,4분기	4,1분기
1	농림수산물	0.36%	-0.11%	-0.95%	0.69%
2	광산품	-0.03%	-4.16%	1.55%	2.51%
3	음식료품	-3.22%	0.91%	-1.33%	3.52%
4	섬유 및 가죽제품	-1.23%	-0.06%	-2.37%	3.55%
5	목재 및 종이, 인쇄	0.78%	-5.10%	-1.77%	5.77%
6	석탄 및 석유 제품	-6.52%	-2.85%	4.95%	3.97%
7	화학제품	-3.26%	1.03%	-3.21%	5.20%
8	비금속광물제품	-0.59%	-0.03%	-0.80%	1.41%
9	1차 금속제품	-1.52%	0.29%	-2.03%	3.17%
10	금속제품	-1.44%	1.29%	-5.67%	5.50%
11	기계 및 장비	-2.85%	2.04%	-13.38%	12.46%
12	전기 및 전자기기	-4.02%	6.11%	-8.88%	5.95%
13	정밀기기	-5.90%	5.98%	-10.99%	9.52%
14	운송장비	-3.43%	1.43%	-10.25%	11.03%
15	기타 제조업	-3.18%	0.80%	-3.26%	5.39%
16	전력, 가스, 수도 및 폐기물 외	-2.48%	1.15%	-1.85%	3.08%
17	건설	-0.92%	2.52%	-3.56%	1.85%
18	운송서비스	-0.94%	0.08%	-0.23%	1.07%
19	기타 서비스업	-3.75%	1.18%	-3.59%	5.84%

김의준: Cornell University에서 Regional Science 박사학위를 취득한 후, 현재 서울대학교 농경제사회학부 및 융합전공 지역·공간분석학 교수 및 농업생명과학연구원 겸무연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 도시 및 지역경제학, 공간정책분석, 지역경제성장, 인프라 투자효과 분석 및 CGE 모형개발이다(euijune@snu.ac.kr).

문정혜: University of Illinois, Urbana-Champaign에서 Economics와 Applied Mathematics 석사학위를 취득한 후, 현재 서울대학교 농경제사회학부 지역정보 전공에서 박사과정을 수료하였다. 주요 관심분야는 지역경제학, 경제성장 및 격차, 노동시장, 그리고 미세먼지 등이다(epret96@snu.ac.kr).

투 고 일: 2021년 01월 29일
 심 사 일: 2021년 02월 04일
 게재확정일: 2021년 02월 21일

A Cost-Benefit Analysis for Extraction of Atmospheric Water by Direct Cooling in South Korea

한국의 직접 냉각에 의한 대기 수자원 추출의 비용 편익 분석

Fatemeh Yektaie* · Byung Seol Byun**
엘타이 파티마 · 변병설

Abstract: In this study, the aim is to first determine the atmospheric water potential, as a sustainable water resource, in the six major cities of South Korea. Thus, a cost-benefit analysis was performed to assess the economic feasibility of atmospheric water in three scenarios: Inbound, Outbound, and Hybrid. The findings from the empirical results show that all six South Korean cities had a positive net present value (NPV) less than a year after the use of air water generator (AWG) devices in Inbound and Hybrid scenarios. Finally, considering the drinking capacity of atmospheric water, this study examined the potential reduction in CO₂ emissions through a reduced consumption of water bottles. The results show that using a single AWG device will reduce on average the consumption of 5421.5-liter water bottles in a five-year period, equivalent to 135.76 Kilograms of GHG emission reduction.

Key Words: Atmospheric Water Harvest, Sustainable Water Management, Renewable Water Resource, GHG Emission Reduction, Cost-Benefit Analysis

요약: 본 연구는 먼저 대한민국 6개 도시(서울, 인천, 대전, 대구, 부산, 제주도)에서 지속 가능한 수자원으로써 대기 수자원의 잠재력을 파악하는 것을 목표로 한다. 두 번째로 본 연구 방법의 타당성을 경제적으로 평가하기 위해 인바운드, 아웃바운드 및 하이브리드의 세 가지 시나리오에서 비용 편익 분석을 수행한다. 실증적 결과에 따르면 한국의 6개 주요 도시 모두 인바운드 및 하이브리드 시나리오에서 AWG 장치를 사용한 후 1년 이내에 양의 순현재가치(NPV)를 갖는다. 세 번째로 대기 수자원의 응용량과 관련하여 물병 소비량 감소를 통한 잠재적 CO₂ 배출량 감축 가능성을 조사하였다. 본 연구 결과는 단일 AWG 장치를 사용하면 1.5 리터 물병 소비량의 평균 5421.5개를 줄일 수 있음을 보여준다. 이는 5년 동안 135.76 kg의 GHG 배출 감소와 동등한 효과이다. 토론 부분에서는 한국의 대기 수자원 관리에 대한 향후 정책 입안을 개선하기 위해 여러 안건을 다루었다.

핵심주제어: 대기 수자원 추출, 지속가능한 물 관리, 재생가능한 수자원, 온실가스 배출량 감소, 비용편익 분석

* First author, Ph.D. student, Department of Sustainability Management, Inha University

** Corresponding author, Professor, Department of Sustainability Management, Inha University

I. Introduction

Water is considered a vital factor for the life of human beings and other organisms on the planet earth. Despite the abundance of water on earth (71% of the earth's surface), only a tiny portion consists of freshwater, whereas the significant part (96.5%) is held within the ocean as saline water (USGS, 2021). Unfortunately, water resources have been threatened seriously by population growth, urbanization, and water stock overuse. Moreover, climate change caused by excessive carbon emissions from human actions aggravates the shortage of water resources (Hoff, 2009; Vörösmarty et al., 2010). Considering the unsustainability of the global water system, the enhancement of the existing water resource management and finding alternative freshwater resources are urgent. A sustainable water system promotes the coordinated development and management of water, land, and related resources. Furthermore, it leads to economic and social welfare equitably without harming the biosphere stability (Kim et al., 2018; Loukas et al., 2007).

The surrounding atmosphere of the earth contains a high proportion of renewable water (approximately 13,000 km³ which can be used as a new freshwater resource. The amount of this atmospheric water reservoir exceeds the amount of the total freshwater in rivers, marshes, and wetlands in the world. More specifically, in most places of the earth, one square kilometer of atmospheric air contains 10,000 to 30,000 m³ of pure water. The atmospheric water is mostly (98%) in vapor form and the remaining 2% in liquid (cloud droplets and fog) form, which can be considered as a sustainable freshwater source. Although it is easier to collect the

liquid form, its low occurrence rate limited to specific coastlines makes it a less accessible resource rather than the vapor form (Beysens and Milimouk, 2000). While numerous studies were conducted to study various extraction methods in the past decades, a straightforward extraction method is direct cooling in which energy is actively consumed to cool down the humid air below its dewpoint. In this method, vapor condensation happens, consequently, as a result of exceeding the moisture saturation capacity of the chilled air (Gido et al., 2016). Notably, water extraction from the air is considerably affected by ambient temperature and relative humidity (RH). As an example, the dew temperature of the air at 20°C and 80% relative humidity is 18°C while the dew temperature falls to 10°C if the RH is only 25% (Beysens and Milimouk, 2000). Therefore, the metrological features of a region play a fundamental role in the feasibility of using atmospheric water as a sustainable water source.

Furthermore, based on previous water analysis which compares the features of tap water, distilled water and sky water in Sydney, it can be concluded that the atmospheric water possesses high quality and can be treated easily to achieve the potable water quality standard regarding PH and electrical conductivity (Milani et al., 2014). As this study showed, sky water (5.50) possesses a lower PH, compared to tap water (7.4) and distilled water (5.90), and has acidic characteristic and needs to be neutralized before use. In case of water electrical conductivity, sky water (0.23 mS/m) has a comparable conductivity with distilled water (0.40 mS/m) but a very low conductivity compared to tap water (39.5 mS/m) (Milani et al., 2014). Electrical conductivity (EC) is a measure of dissolved solids in water that enables it to transmit current. Based on WHO standards a range of 0–40 mS/m is

considered as the good drinking water for humans (Meride and Ayenew, 2016). Therefore, atmospheric water has great potentials to be used as a sustainable potable water resource as well.

In this study, the aim is, first, to determine the atmospheric water potentials, as a sustainable water resource in six cities of South Korea (Seoul, Incheon, Daejeon, Daegu, Busan, and Jeju Island). Second, a cost-benefit analysis is performed to assess the feasibility of this method economically in three different scenarios (Inbound, Outbound, Hybrid). Third, considering the drinking capacity of atmosphere water, the potential CO₂ emissions reduction through less consumption of water bottles is examined. Finally, based on the empirical finding, this paper recommends a need for policymaking regarding the usage of the atmospheric water resource management in South Korea.

II. Background Studies

1. Drinking Water Bottle Carbon Footprint

Carbon emission is defined as the total greenhouses gases (GHG) emissions released into the atmosphere which is expressed as carbon dioxide equivalent. Based on Choi et al. (2017), a 1.5-liter water bottle creates 250 grams of CO₂. In other words, a household consumes 800 bottles of drinking water per year, which creates 160 kg CO₂ emission. The CO₂ emission is quantified based on polyethylene GHG emissions in a 1.5-liter water bottle production process, and the transportation-related emission is excluded. <Table 1> shows the carbon emission for a single 1.5-liter bottle and the total worldwide amount of bottled water as well as its share from the total CO₂ emissions.

〈Table 1〉 The carbon emission for different water bottle quantities
(Boucher et al., 2019, Corp, Dormer et al., 2013, Zheng and Suh, 2019)

Category	CO ₂ emission
1.5-liter bottle	250 Grams
Total bottled water	80 Billion Kilograms
Total bottled water from total CO ₂ emission	0.21%

2. Atmospheric Water Potential in Korea

Water extraction from the air is notably affected by ambient temperature and relative humidity (RH) (Beysens and Milimouk, 2000). The Air-Water-Generator (AWG) devices can operate in a wide range of ambient temperatures approximately between 10~43°C and at relative humidity as small as 28% (AW solution Inc., 2021). However, higher relative humidity values enhance the AWG device efficiency. Relative Humidity (RH) is the ratio of the actual water vapor pressure to the saturation water vapor pressure at the prevailing temperature. In other words, the amount of water vapor present in the air is expressed as a percentage of the amount needed for saturation at the same temperature. At dew point temperature, the actual water vapor content of the air is equal to the saturation water vapor pressure. If the air is gradually cooled while maintaining the moisture content constant, the relative humidity will rise until it reaches 100%. Therefore, in dew point temperature, the moisture content in the air will saturate the air, and if the air is cooled further, some of the moisture will condense (Beysens and Milimouk, 2000).

〈Figure 1〉 shows the yearly mean metrological data from 2013 to 2018 for six major cities in Korea. In addition, based on Korean statistical organization data in KOSIS (2021), we found that the yearly air temperature is in a range between -17.8 to 39.6 in Seoul, -17.1

to 35.9 in Incheon, -17 to 39.4 in Daejeon, -13.9 to 39.2 in Daegu, -10.2 to 36.4 in Busan and -5.8 to 36.7 in Jeju Island. The average six-years minimum RH varies from 57% in Seoul, 65.3% in Incheon, 67.2% in Daejeon, 55.8% in Daegu, 56.1% in Busan and 70.12% in Jeju Island. The relative humidity in all six cities is over 55.8%, which is quite favorable for AWG devices.

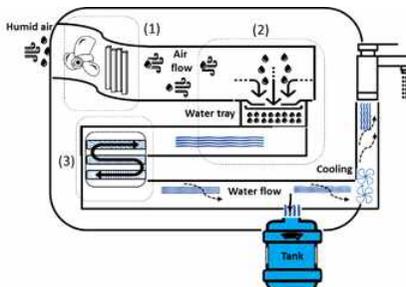
〈Figure 1〉 Yearly air temperature and relative humidity from 2013 to 2018 for six cities in Korea (KOREA, 2021)



3. Atmospheric Water Generator Model

〈Figure 2〉 clarifies the process of generating freshwater from atmospheric water through the following steps: (1) air purification, (2) dehumidification, and (3) water purification.

〈Figure 2〉 The process of generating drinking water using AWG (AW solution Inc., 2021, p.4)



In step (1), all air pollutants such as dust, dirt, small particles are removed thoroughly in a way that only pure air passes into the AWG. In stage (2), the purified air passes through the channel of the heat exchanger and cooler. In the dew point state, the condensation process occurs, and liquid water is collected. In step (3), the water is directed into a multi-level filtering process intending to remove impurities and add minerals while sustaining freshwater taste. In the last step, the water with high quality is stored in a built-in or external tank. Previous Literature suggested that Membrane Bioreactors (MBR) are efficient in microbial removal without the need for disinfection (Pidou et al., 2007). We will discuss the operational cost of the total heat interaction on the energy consumption of AWG devices.

4. Literature Review on Atmospheric Water

Relevant previous 3. Atmospheric water potential in Koreaon worldwide usage of AWG device for drinking water is described in Figure 3. In terms of the input data, the previous researches wrote by Gido et al. (2016), the proposed paper, Asiabanpour et al. (Asiabanpour et al., 2019; Moghimi et al., 2021), and Salehi et al. (2020) studied the atmospheric water generation by using collected data such as RH, temperature and Dewpoint. In terms of outputs data such as MHI, Energy consumption, Cost of water, NPV each paper results is shown in <Table 2>, respectively.

〈Table 2〉 Relevant previous literature on usage of atmospheric water

Author(s), YoP ¹	Inputs	Outputs	SD ² , CPoR ³	RS ⁴
The proposed paper	RH, Temperature, and Dewpoint	MHI, Energy consumption, Cost of water, NPV, CO ₂ reduction, Bottle reduction, Generated water	6 cities Korea-2014-2019	quantitative
Gido et al. (2016)	RH, Temperature, and Dewpoint	Energy consumption, Cost of water, Generated water	30 cities world wide-2005-2014	quantitative
Asiabanpour et al. (2019), Moghimi et al. (2021)	RH, Temperature, and Dewpoint	Energy consumption, NPV, Generated water	San Marcos, 2019	quantitative
Salehi et al. (2020)	RH, Temperature, and Dewpoint	Energy consumption, Generated water	30 cities world wide-1981~2017	Review

¹ Year of publication (YoP) ² Sample data (SD) ³ Corresponding period of research (CPoR)

⁴ Research methodology (RS)

The proposed paper outputs the result related to CO₂ reduction and the number of bottle reduction, which enable the proposed paper to not only shows the net present value (NPV) of costs (capital, and operational but it also indicates the benefits (generated water) based on a financial assessment that show the sustainability effect of using atmospheric water as a source for drinking water in the household scale in Korea.

Moisture Harvesting Index (MHI) indicates the proportion of the energy consumed for the water condensation method to the total energy consumed in the cooling of the condensable as well as the incondensable gasses in the air bulk. The total heat interaction in the condensation process (q) is calculated by the sum of the sensible heat and the latent heat whereas sensible heat is associated with the temperature change of the air and vapor, and the latent heat is associated with the vapor enthalpy of condensation. The paper wrote by Gido et al. (2016) suggested the Moisture Harvesting Index (MHI) for facilitating the assessment of moisture harvest potentials as well as process efficiency and cost-effectiveness (Gido et al., 2016). In a

steady-state situation, the portion of the latent heat out calculated by dividing the enthalpy of condensation, ENT_{vapor} , by q . This quotient is designated MHI,

$$MHI = \frac{ENT_{vapor}}{q} \tag{1}$$

III. Research Methods

This section describes various categories of added costs and benefits considered in this study. Five years is considered for the life cycle analysis. Moreover, multiple correlation analyses were performed to identify influential factors that make usage of AWG more economically viable. Three types of scenarios are chosen in this study to perform a cost-benefit analysis for inbound, hybrid, and outbound atmospheric water (Table 3).

〈Table 3〉 The assumptions for AWG’s scenarios specifications

AWG’s scenarios	AWG’s Installation location	Expected Temperature	Expected RH
Inbound	Indoor	22°C	Inside RH~Outside RH
Outbound	Outdoor	Outside Temperature	Outside RH
Hybrid	Mixed Indoor and Outdoor	Highest Value	Outside RH

1. Inbound

In the Inbound scenario, AWG is installed inside the residential unit where the temperature is fixed at a specific range between 19°C and

25°C. In this paper, an average temperature of 22°C is considered as the Inbound scenario constant temperature. Furthermore, Inbound temperature is used to calculate the water content generation and energy consumption by AWG based on Equations (10-14). Finally, a total added cost and benefit of Inbound scenario is calculated using Equations (10-14).

2. Outbound

In the Outbound scenario, AWG is installed outside the residential unit where the temperature varies based on the environment temperature. In this paper, the average environment temperature and humidity for six major Korean cities are considered as the Outbound scenario temperature and humidity respectfully. Furthermore, Outbound temperature and humidity is used to calculate the water content generation and energy consumption AWG based on Equations (10-14). Finally, a total added cost and benefit of Outbound scenario is calculated using Equations (10-14).

3. Hybrid

In low temperatures, the AWG device is not economically efficient. In the hybrid scenario, AWG is installed outside the residential unit when the temperature is in the expected range of working for devices, whereas AWG is installed inside the residential unit when the outside temperature is in lower than expected range as described in Equation. (2). WGP_H denotes as the water generated product using a hybrid scenario, whereas WGP_{\in} and WGP_{OUT} denote as the water generated product using Inbound and outbound scenarios.

Therefore, a combination of Outbound and Inbound temperature is used to calculate the water content generated based on Equations (10-14) and energy consumed by AWG based on Equations (10-14).

$$WGP_H = \begin{cases} WGP_{\in} & WGP_{OUT} < WGP_{\in} \\ WGP_{OUT} & WGP_{OUT} \geq WGP_{\in} \end{cases} \quad (2)$$

1) Added Costs

The added costs include capital, operational, maintenance, and repair costs. This study compares the cost of the water from the AWG to the cost of purchasing an equivalent amount of water in bottle freshwater, Inbound AWG, Outbound AWG, and hybrid AWG scenarios. water bottles that are available in convenience Korean stores for 2.14 USD per 10 liters (Chang et al., 2017). The net present value (NPV) of costs (capital and operational) and benefits (generated water) is used for a financial assessment. This study compares the cost of the water from the AWG to the cost of purchasing an equivalent amount of water in three different scenarios. The estimated AWG system's useful life is 25 years (Asiabanpour et al., 2019; Moghimi et al., 2021).

2) Capital Costs

Capital costs include the purchase and installation costs of treatment AWG units. Selected AWG provides water storage (tanks), cooling system for vapor collection, atmospheric water deacidification, and microorganism filtering membrane. The initial cost of a commercially available A type of the AWG system including tax and

shipping cost: 2,000 USA Dollars (USD) and the expected installation cost of treatment AWG unit is 100 USD (Asiabanpour et al., 2019).

3) Operational Costs

Operational costs include the repairs and energy costs and maintenance (e.g., filter exchange) for the selected five years. Maintenance and repair costs for the AWG, including filters exchange, estimated to be 100 USD /year in Korea (Asiabanpour et al., 2019; Moghimi et al., 2021).

Energy costs calculation. The total heat interaction in this process (q) is calculated by the sum of the sensible heat, associated with the temperature change of the air and vapor, and the latent heat associated with the vapor enthalpy of condensation (Vörösmarty et al., 2010).

〈Table 4〉 Notation list for AWG energy costs calculation

Notation	Description
\overline{Q}	Yearly total heat interaction
q	Total heat interaction
$q_{sensible}$	Sensible heat
q_{latent}	Latent heat
M	Mass of the air
C	Specific heat
T_{ambi}	Environmental Temperature
$T_{Dew - point}$	Dew Temperature
$\Delta\theta$	Difference between ambient and dewpoint temperature
ENT_{air}	Air Enthalpy
ENT_{vapor}	Water vapor Enthalpy
WC_{air}	The water content of air

⟨Table 4⟩ shows the notations with their descriptions used to estimate the costs of energy consumption (3~8) at home in Korea.

$$\bar{Q} = \frac{1}{5 \times 356 \times 24} \sum_{k=2014}^{2019} \sum_{j=1}^{356} \sum_{i=1}^{24} q \tag{3}$$

$$q = q_{sensible} + q_{latent} \tag{4}$$

$$q_{sensible} = MC\Delta\theta \text{ where, } \Delta\theta = T_{ambi} - T_{Dew-point} \tag{5}$$

$$q_{latent} = ENT_{air} + ENT_{vapor} \tag{6}$$

$$ENT_{air} = 1.007(T) - 0.026 \tag{7}$$

$$ENT_{vapor} = WC_{air} \cdot (2501 + 1.84(T)) \tag{8}$$

⟨Table 5⟩ The AWG specifications and cost in Korea

Types	Usage	Price	Water Generation Capacity
A	Home	2000 USD	15~20 L/D
B	Building	15000 USD	450 L/D
C	Large Area	250000 USD	3120 L/D

⟨Table 5⟩ shows AWG specifications and cost in Korea, where Type A is the one for household scale. Moreover, this paper provides additional findings regarding cost such as AWG average daily energy consumption, average local energy price and Korea average inflation rate as follows,

- AWG’s average daily energy consumption is 10.25 Kilo Watt per Hour (KWH) to generate room temperature water.
- AWG energy increases by 25% to convert inbound water’s temperature to cold water.
- AWG average daily energy is $10.25 \times 1.25 = 14.06$ KWH to generate cold water.

- The average local energy price is USD 0.113/KWH (KOREA, 2021).
- Korea average inflation rate is 1.8% (KOREA, 2021).

The EWA technology can be adjusted to any required capacity up to 1,000 m³/d.

In this study, the direct benefit is considered as the value of purchasing bottle water. In another word, the direct benefit of atmospheric water generation is to lower household costs for drinking water by using a decentralized cost-efficient sustainable alternative. Once the AWG devices are widely used in a city, the need for high-quality water treatment site as well as potable water pipelines and infrastructure is withdrawn from the water distribution network. Besides, an indirect benefit estimated in this study is the amount of plastic bottle 2 reduction. As shown in Table 5, the AWG specifications and application differs from the household (Type A) to the building (Type B) and Large Area (Type C). In this study, the household (Type A) is used as a reference which accounts for a daily average between 15 and 20 liters of water generation in a 10°C and 35°C range of ambient temperature.

(Table 6) The notations used to estimate the costs of scenario (1) and (2)

Notation	Description	Value
E_{rate}	Energy cost (KW.H) in the base year	5.61 USD
$E_{\infty - rate}$	Average yearly inflation ration	0.018
CPC	The capital cost of devices	1500 USD
P_i	Average benefits from generating AWG water in year-i	Varied
C	AWG system energy consumption	Varied
R	Energy rate in the base year	Varied
F	Average energy inflation rate	Varied
WGP	Amount of water generated in year-i	Varied
MVW	The market value of water in the base year	0.214 USD
$AAOC$	AWG system operation cost	215 USD

〈Table 6〉 shows the notations with their descriptions and values used to estimate the costs of scenario (1), (2), and (3) in the household scale in Korea. The present value for each year calculated and shown in the results section considering all energy-saving benefits and investment cost (KOREA, 2021).

$$Benefit\ for\ year\ i = (P_i - C) \times R \times (1 + F)^{i-1} \tag{9}$$

The breakeven point for each scenario is calculated by equation 2. Net Present Value (NPV) method considers the difference between the total discounted benefits minus the total discounted costs. Projects with positive net benefits are considered to be viable and a project with a lower NPV is measured to be less lucrative.

$$NPV = \sum_{i=1}^n PV [WGP \times MVW \times (1 + E_{\infty - rate})^{i-1}] \tag{10}$$

$$- (CPC + \sum_{i=1}^n PV [AAOC + E \times E_{rate} \times (1 + E_{\infty - rate})^{i-1}])$$

In other words, the higher the NPV, the greater the calculated benefits of the project. Besides, PV is Present Value, and n is the first year that the NPV equation sign turns from negative to positive.

Payback Period. This is the period required for the total discounted costs of a project to be surpassed by the total discounted benefits. The payback period of an AWG device is calculated through cumulative discounted benefit and cost for five-consecutive-year. The year that the cumulative benefits exceed the cumulative costs is the payback period year of the project. In other words, the year following the project payback period net profits or benefits of the project could be exploited.

Carbon footprint analysis. The total Carbon emission for drinking water bottles (TCE) is calculated using Equations (11-12) by the sum of the daily carbon emission created by daily total drinking water bottle (TB) used by citizens (Chang et al., 2017; CU Co., 2021; Salehi et al., 2020).

$$TCE_{city} = \sum_{i=2014}^{2019} \sum_{j=1}^{12} TB_{city,i,j} \times UCE \times 30 \tag{11}$$

$$TB_{city,year,month} = \frac{\overline{WC}_{city,year,month}}{1.5} \tag{12}$$

IV. Results

〈Table 7〉 shows the monthly assessment of MHI and energy consumption for atmospheric water potentials based on the given metrological data for six major cities in Korea.

〈Table 7〉 The monthly assessment of MHI and energy consumption in Korea

City	Month of the year	AV. 5 year mean Rel. humidity (%)	AV. 5 year mean air temp. (°C)	AV. 5 year mean dew point temp. (°C)	Energy consumption (KW.H/L)	MHI
Seoul	Jan.	52.40	2.12	11.18	N/A*	N/A
	Feb.	52.40	0.26	9.22	N/A	N/A
	Mar.	52.60	7.12	2.96	N/A	N/A
	Apr.	55.20	13.66	3.42	2.08	0.42
	May	56.60	19.02	8.96	0.97	0.44
	Jun.	63.20	23.34	15.08	0.59	0.51
	Jul.	72.60	26.56	20.74	0.37	0.58
	Aug.	69.40	26.84	20.16	0.44	0.58
	Sep.	62.40	22.24	13.94	0.61	0.50

	Oct.	60.00	15.34	6.94	0.89	0.46
	Nov.	60.40	7.62	0.32	N/A	N/A
	Dec.	55.40	0.52	9.02	N/A	N/A
Incheon	Jan.	63.80	1.60	7.92	N/A	0.61
	Feb.	64.60	0.38	6.02	N/A	0.52
	Mar.	69.00	6.30	0.36	N/A	0.51
	Apr.	70.00	12.36	6.14	0.66	0.52
	May	73.60	17.36	11.82	0.40	0.55
	Jun.	81.00	21.72	17.82	0.23	0.60
	Jul.	87.80	25.38	22.94	0.14	0.66
	Aug.	83.80	26.24	22.86	0.21	0.64
	Sep.	75.00	22.18	16.98	0.34	0.58
	Oct.	70.20	15.52	9.56	0.46	0.51
	Nov.	68.80	8.08	2.14	1.35	0.52
	Dec.	63.60	0.20	6.36	N/A	N/A
Busan	Jan.	46.80	3.76	7.46	N/A	N/A
	Feb.	50.20	5.22	5.28	N/A	N/A
	Mar.	58.20	9.64	0.92	N/A	0.41
	Apr.	64.00	14.62	7.04	0.76	0.48
	May	67.20	18.72	11.82	0.52	0.52
	Jun.	77.00	21.42	16.92	0.27	0.58
	Jul.	82.60	25.36	21.92	0.21	0.64
	Aug.	77.20	26.58	21.92	0.28	0.61
	Sep.	74.80	22.44	17.40	0.32	0.58
	Oct.	66.60	17.84	11.10	0.51	0.51
	Nov.	60.20	12.34	4.14	1.27	0.46
	Dec.	50.20	5.60	5.60	N/A	N/A
Daegu	Jan.	51.00	1.02	9.10	N/A	N/A
	Feb.	49.00	3.18	7.66	N/A	N/A
	Mar.	52.40	8.96	1.96	N/A	N/A
	Apr.	55.20	15.14	4.32	1.83	0.40
	May	53.20	20.58	9.08	1.22	0.44
	Jun.	3.20	23.32	14.84	0.62	0.51
	Jul.	70.60	26.92	20.40	0.42	0.58
	Aug.	72.40	26.48	20.40	0.39	0.58
	Sep.	72.60	21.50	15.74	0.38	0.56
	Oct.	68.20	15.86	9.16	0.55	0.50
	Nov.	63.60	9.34	1.70	2.41	0.47

Jeju	Dec.	54.00	2.48	6.86	N/A	N/A
	Jan.	65.00	6.26	0.08	N/A	N/A
	Feb.	64.20	5.66	1.02	N/A	N/A
	Mar.	64.60	9.80	2.78	1.35	0.47
	Apr.	68.20	14.94	8.20	0.61	0.51
	May	68.60	18.86	12.20	0.49	0.52
	Jun.	78.60	22.08	17.76	0.26	0.59
	Jul.	83.00	26.38	23.04	0.20	0.64
	Aug.	80.80	26.76	22.90	0.24	0.63
	Sep.	77.60	22.94	18.54	0.27	0.60
	Oct.	70.00	19.28	13.40	0.41	0.55
	Nov.	70.60	12.52	6.88	0.53	0.53
Daejeon	Dec.	68.00	7.00	1.16	2.14	0.49
	Jan.	68.00	0.86	6.52	N/A	N/A
	Feb.	61.20	1.38	6.08	N/A	N/A
	Mar.	59.40	7.70	0.92	N/A	N/A
	Apr.	62.60	14.16	5.74	1.05	0.47
	May	62.60	19.50	11.00	0.72	0.50
	Jun.	69.40	23.38	16.72	0.45	0.56
	Jul.	81.20	26.58	22.78	0.23	0.63
	Aug.	78.00	26.70	22.04	0.29	0.62
	Sep.	75.80	21.60	16.62	0.31	0.57
	Oct.	75.60	14.90	10.10	0.36	0.56
	Nov.	74.40	8.04	3.20	0.71	0.54
Dec.	70.20	0.90	4.42	N/A	N/A	

The empirical results show that cities like Seoul, Daegu, and Busan have, on average, twice of MHI index, compared to those of the Jeju, Incheon, and Daejeon in <Table 7>. Also, the cities like Incheon, Daejeon, and Busan have a 35.4% lower energy consumption, compared to those of the Jeju Island and Seoul, and have a 48.7% lower energy consumption, compared to the Daegu city. The finding shows that Daegu has the highest energy consumption among all six major Korean cities.

Table 8 shows the assessment of the yearly average applicable MHI

and total applicable energy consumption for six major cities in Korea.

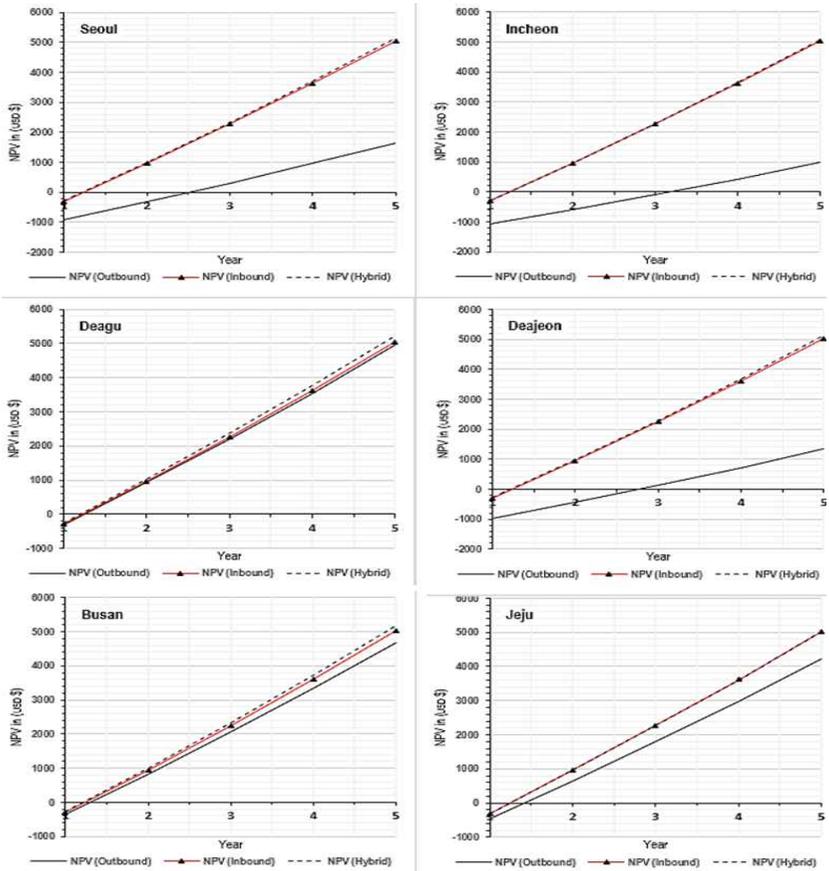
〈Table 8〉 The assessment of the yearly average applicable MHI and total energy consumption in Korea

City	The number of favorable months per year	Favorable times (%) (MHI > 0.3)	Yearly energy consumption (KW.H/L)	Avg. MHI
Seoul	7	58	5.953264958	0.49857435
Incheon	8	67	3.783271879	0.565113752
Daejeon	8	67	4.118579979	0.554940252
Daegu	8	67	7.829513164	0.506006684
Busan	8	67	4.140372639	0.52980597
Jeju Island	10	83	6.48676126	0.553039605

In 〈Table 8〉, in terms of the number of favorable months per year, cities like Incheon, Daegu, Daejeon, and Busan have the average eight months (~67%) among all months in the year, whereas those of Jeju Island and Seoul have in average seven months (~58%) and ten months (~83%), respectively.

The finding shows that practically Jeju Island is the most favorable city, and Seoul is the least favorable city among all six major Korean cities when using AWG devices. However, the finding shows that Jeju Island has a relatively a high MHI index and only two months not applied for calculation due to shallow temperatures in the month of the January and February.

〈Figure 3〉 The assessment of the yearly NPV for the given scenarios in Korea



〈Figure 3〉 shows the assessment of the yearly NPV for the Inbound, Outbound, and Hybrid scenarios of in Korea. In figure 3, the empirical results show that all six major Korean cities will have NPV positive less than a year after the usage of the AWG devices in case of the Inbound and Hybrid scenarios. However, in case the Outbound scenario, the cities like Daegu, Jeju Island, and Busan cities will have NPV positive less than a year, whereas Seoul and Daejeon cities will have NPV positive less than three years after the usage of the AWG

devices and Incheon city will have NPV positive after three years of the usage of the AWG devices.

〈Figure 3〉 also shows that the Outbound Scenario is the worst scenario for the usage of the AWG devices among Inbound and Hybrid scenarios. However, even the Outbound scenario will have NPV positive after three years of the usage of the AWG devices.

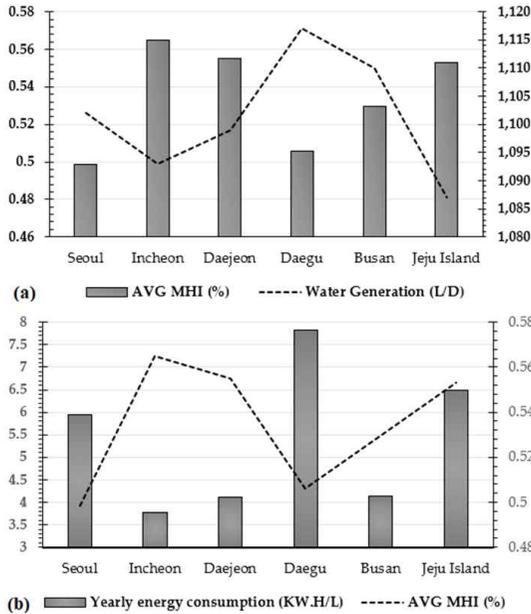
〈Table 9〉 The overall 5-years result of using AWG devices in Korea

City	AWG's Scenario	CO ₂ reduction	Bottle reduction	Water Generation (L/D)	Recommendation
Seoul	Outbound	88958.00	355	532.68	Low
	Inbound	181985.45	726	1,089.73	High
	Hybrid	184067.18	735	1,102.20	High
Incheon	Outbound	84894.51	339	508.35	Low
	Inbound	181607.75	725	1,087.47	High
	Hybrid	182599.64	729	1,093.41	High
Daejeon	Outbound	93436.61	373	559.50	Low
	Inbound	181685.86	725	1,087.94	High
	Hybrid	183694.13	733	1,099.96	High
Daegu	Outbound	179608.71	717	1,075.50	High
	Inbound	181954.96	726	1,089.55	High
	Hybrid	186626.18	745	1,117.52	High
Busan	Outbound	173439.30	692	1,038.56	High
	Inbound	181836.85	726	1,088.84	High
	Hybrid	185436.73	740	1,110.40	High
Jeju	Outbound	162554.53	649	973.38	High
	Inbound	162554.53	649	973.38	High
	Hybrid	181636.33	725	1,087.64	High

V. Discussion

Water scarcity is one of the emerging problems in the world. This study aims to suggest a new water management system (in South Korea) in which the present vapor in the atmosphere is accumulated, filtered, and used as a new resource of freshwater. The atmospheric water can be used not only as a sustainable water resource but also as a potable one. Currently, a significant portion of drinking water is distributed in plastic bottles, which consequently produces lots of waste. Furthermore, besides the GHG emissions of the polyethylene production process, product transportation has a remarkable carbon emission share as well. The more the GHG emissions, the higher the global temperature rises, and the worse the global warming consequences will be in the upcoming decades. Nowadays, GHG emissions reduction is widely considered by governments to reduce the risks to a minimum. In case of Korea environmental policy stringency has significantly increased from 2002 and generally more stringent compared to the OECD average (Yun and Yoon, 2016; Lee and Park, 2020). However, it is still far from the designed goal. The proposed paper highlighted the findings and their implications in the broadest context.

〈Figure 4〉 The effect of the MHI on water generation (a) and energy consumption (b) in Korea



〈Table 9〉 shows that the overall 5-years recommendation of using AWG devices in Korea reaches 83% high. The implementation of AWG is not recommended in the outbound scenario of Seoul, Incheon and Daejeon due to significant lower water generation capacity. Based on the paper finding illuminated in Table 9, on average, usage of an AWG device in Korea will reduce CO₂ by a minimum of 84.894 Kg in Incheon (Outbound) and a maximum of 186.626 Kg Daegu (Hybrid) in a five-year period. Based on figure 4(a) empirical results, there is a significant negative relationship between MHI and water generation due to having a correlation coefficient of -0.6167, and there is even a higher negative relationship between energy consumption and MHI index due to having a correlation coefficient of -0.71199.

The implementation of AWG devices for potable water generation reduces GHG emissions and urban planning costs by eliminating the need for water treatment sites, pipelines and infrastructure, water production factories, water Supply chain and transportation, waste management, and recycling (water bottles). In this study, the GHG emissions produced by the water bottle process is only quantified. Future research is necessary to determine the exact amount of GHG emissions water treatment sites, pipelines and infrastructure, water production factories, water Supply chain, and transportation. Due to the abundant surface water resources and a massive amount of rainfall Korea was traditionally known to have no water shortage problem. However, the rapid industrialization that began in the 1960s has resulted in an annual rainfall per capita of one-sixth of the world average now (Chang et al., 2017). The water treatment site and its transportation to remote areas cost a lot. Moreover, this process itself and the wastes created afterwards consume much energy leading to higher GHG emissions. Therefore, the application of this technology in future urban planning is very beneficial for improving the GHGs reduction scheme. Furthermore, by extracting the atmospheric water, the humidity is reduced, and the need for the usage of dehumidifiers is eliminated, which lessen the GHG emissions. Also, less humidity leads to a cleaner air environment by removing the growth possibility of multicellular fungus (mold) on walls. These microorganisms are the reason for some respiratory problems and allergies (Yang et al., 2015). Therefore, the AWG devices application in Korea can improve air sanitation to a meaningful extent as well.

VI. Conclusion

The atmosphere holds a tremendous amount of water, which can be used as an alternative and sustainable freshwater resource. Furthermore, the atmospheric water possesses high quality and can be treated efficiently to achieve the potable water quality standard. This study is the first research to address the possibility of using atmospheric water as a sustainable potable water resource in South Korea. Furthermore, in the present study the relationship between atmospheric water harvest and GHG emission reductions was examined. Based on the empirical paper finding, on average, an AWG device in a single household in Korea can generate water content equal to 656 L/D in a period of five years. Furthermore, AWG will reduce CO₂ by a minimum of 84.894 Kg in Incheon (Outbound) and a maximum of 186.626 Kg Daegu (Hybrid) in a five-year period. The implementation of AWG is highly recommended in all scenarios except the outbound scenario of Seoul, Incheon and Daejeon. Overall, the assessment of the atmospheric water harvest in different cities of South Korea indicates that this country is a desirable location for the implementation of this technology. Therefore, considering the huge drinking bottle consumption in Korean major cities, it is highly recommended that Korean government provides funds for household owners to buy AWG devices to significantly reduce bottle consumption and relative waste management costs. Globally, the application of AWG technology can play a fundamental role in water management in dry regions (including South Mediterranean countries), as well as countries suffering from polluted water, including tropical countries, and the countries located far from the seashores where long-pipe systems are not available. The combination of renewable

energies such as solar energy can enhance the environmentally friendly and economical aspects of AWG devices (LaPotin et al., 2021). In this study, the GHG emissions produced by the water bottle process is only quantified. Future research is necessary to determine the exact amount of GHG emissions water treatment sites, pipelines and infrastructure, water production factories, water supply chain, and transportation.

■ References ■

- Asiabanpour, B., N. Ownby, M. Summers, and F. Moghimi, 2019, Atmospheric water generation and energy consumption: An empirical analysis, *2019 IEEE Texas power and energy conference (TPEC)*, College Station, pp.1-6.
- Atmospheric water (AW) solution Inc., 2021, *AquaBoy pro II-Air to water generator*, Cooper City: Atmospheric Water Solutions, Available from https://www.atmosphericwatersolutions.com/uploads/1/0/8/8/108835513/aquaboy_pro_ii_quickstart_guide_trilingual_20170104.pdf.
- Beysens, D. and I. Milimouk, 2000, "The case for alternative fresh water sources," (T. Fuller, Trans.), "Pour les ressources alternatives en eau," *Secheresse*, 11(4), pp.281-288.
- Boucher, J., C. Dubois, A. Kounina, and P. Puydarrieux, 2019, *Review of plastic footprint methodologies*, (Report No. 2831719909), Gland, Switzerland: IUCN.
- Chang, J., W. Lee, and S. Yoon, 2017, "Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea," *Journal of Cleaner Production*, 141, pp.728-736, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.131.
- Choi, I. C., H. J. Shin, T. Nguyen, and J. Tenhunen, 2017, "Water policy reforms in South Korea: A historical review and ongoing challenges for sustainable water governance and management," *Water*, 9, 717, DOI: 10.3390/w9090717.
- Dormer, A., D. P. Finn, P. Ward, and J. Cullen, 2013, "Carbon footprint analysis in plastics manufacturing," *Journal of Cleaner Production*, 51, pp.133-141, DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.01.014.

- Gido, B., E. Friedler, and D. M. Broday, 2016, "Assessment of atmospheric moisture harvesting by direct cooling," *Atmospheric Research*, 182, pp.156-162, DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.07.029.
- Hoff, H., 2009, "Global water resources and their management," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), pp.141-147, DOI: 10.1016/j.cosust.2009.10.001.
- Kim, Y., I. Kong, H. Park, H. J. Kim, I. J. Kim, and M. J. Um et al., 2018, "Assessment of regional threats to human water security adopting the global framework: A case study in South Korea," *Science of the Total Environment*, 637, pp.1413-1422, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.420.
- LaPotin, A., Y. Zhong, L. Zhang, L. Zhao, A. Leroy, and H. Kim et al., 2021, "Dual-Stage atmospheric water harvesting device for scalable solar-Driven water production," *Joule*, 5(1), pp.166-182, DOI: 10.1016/j.joule.2020.09.008.
- Lee, M. and H. Park, 2020, "The impact of the environmental policy stringency on Korean exports of environmental goods," *Journal of Environmental Policy and Administration*, 28(1), pp.1-22, DOI: 10.15301/jepa.2020.28.1.1.
- Loukas, A., N. Mylopoulos, and L. Vasiliades, 2007, "A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece," *Water Resources Management*, 21, pp.1673-1702, DOI: 10.1007/S11269-006-9120-5.
- Meride, Y. and B. Ayenew, 2016, "Drinking water quality assessment and its effects on residents health in Wondo genet campus, Ethiopia," *Environmental Systems Research*, 5(1), pp.1-7, DOI: 10.1186/s40068-016-0053-6.
- Milani, D., A. Qadir, A. Vassallo, M. Chiesa, and A. Abbas, 2014, "Experimentally validated model for atmospheric water generation using a solar assisted desiccant dehumidification system," *Energy and Buildings*, 77, pp.236-246, DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.03.041.
- Moghimi, F., H. Ghodduzi, B. Asiabanpour, and M. Behroozikhah, 2021, "Is Cwater generation an economically viable solution?," *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(2), pp.1-18, DOI: 10.1007/s10098-020-02015-6.
- Pidou, M., F. A. Memon, T. Stephenson, B. Jefferson, and P. Jeffrey, 2007, "Greywater recycling: Treatment options and applications," *Proceedings of the institution of civil engineers-Engineering sustainability*, pp.119-131, DOI: 10.1680/ensu.2007.160.3.119.
- Salehi, A. A., M. Ghannadi-Maragheh, M. Torab-Mostaedi, R. Torkaman, and M. Asadollahzadeh, 2020, "A review on the water-energy nexus for drinking

- water production from humid air,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109627, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109627.
- Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, and P. Green et al., 2010, “Global threats to human water security and river biodiversity,” *Nature*, 467, pp.555-561, DOI: 10.1038/nature09440.
- Yang, W. S. and J. S. Choi, 2015, “IC4-3 A study on the dehumidifier in consideration of the Korean living environment,” *The Japanese Journal of Ergonomics*, 51, S446-S449, DOI: 10.5100/jje.51.S446.
- Yun, K. J. and E. Yoon, 2016, “The international climate change regime and evolution of South Korea’s climate change policy,” *Journal of Environmental Policy and Administration*, 24(1), pp.71-107, DOI: 10.15301/jepa.2016.24.1.71.
- Zheng, J. and S. Suh, 2019, “Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics,” *Nature Climate Change*, 9, pp.374-378, DOI: 10.1038/s41558-019-0459-z.
- CU Co., 2021, “CU convenience store product list in Korea,” <http://cu.bgfretail.com/product/pb.do?category=product&depth2=1&sf=N>, [2021.2.17]
- USGS, 2021, “How much water is there on earth?,” https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects, [2021.2.17]
- KOSIS, 2021, “Statistics of meteorological observation,” http://kosis.kr/eng/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ETITLE&parmTabId=M_01_01#SelectStatsBoxDiv, [2021.2.18]

Fatemeh Yektaie: PhD student at Sustainability Management of Inha University. Her research interests are Sustainable Water Management and Smart Waste Management (fatemeh@inha.edu).

Byung Seol Byun: Professor at department of Urban Planning at Inha University. His research interests are Urban Planning, Public Administration and Urban Metabolism (byun@inha.ac.kr).

투 고 일: 2021년 02월 23일
심 사 일: 2021년 02월 26일
게재확정일: 2021년 03월 07일

소비자 지불의사액(WTP)에 기반한 종량제봉투 가격의 현실화 방안에 대한 연구*

A Study on the Realization Plan of the Price of Standard Garbage based on Consumer's Willingness to Pay (WTP)

최은철** · 양준석***

Eun Chul Choi · Jun Seok Yang

요약: 생활폐기물 처리 비용은 오염원인자 부담원칙에 따라 종량제 봉투의 판매수입으로 충당되어야 한다. 그러나 처리비용의 일부는 지자체 예산으로 충당하고 있으며 그 부담은 가중되는 실정이다. 생활폐기물 처리비용의 증가세에 비해 종량제 봉투 가격의 인상률은 낮은 수준을 유지하고 있기 때문이다. 이에 본 연구에서는 종량제 봉투 가격 현실화에 대한 구체적인 정량자료를 제공하기 위해 대전광역시 시민들을 대상으로 종량제 봉투 가격에 대한 추가적인 지불의사액을 추정하였다. 그 결과, 현행 가격 대비 약 44.1% 수준의 가격 인상을 수용할 의향이 있는 것으로 나타났다.

핵심주제어: 쓰레기종량제봉투, 생활폐기물, 지불의사액

Abstract: Currently, the cost of disposing of household waste is covered by the revenue from fees for garbage bags and local government budgets. However, compared to the recent increase in the cost of disposing of household waste, the fee for a standard garbage bag is maintained at a low level, which places a greater burden on the local governments' budgets. Therefore, this study applied a WTP approach to Daejeon Metropolitan City to provide basic quantitative data on the fee adjustment for a standard garbage bag. As a result, it was found that city residents were willing to pay an additional 44.1% of the current price per standard garbage bag.

Key Words: A Standard of the Garbage Bag, Household Waste, Willingness to Pay

* 본 논문은 대전세종연구원의 2020년 정책과제 “생활쓰레기 종량제 수수료 개선 방안”의 일부 내용을 발전시켜 작성하였다. 본 논문에 대하여 귀중한 조언을 주신 익명의 심사자 분들께 감사의 뜻을 표한다. 본 논문의 내용은 오직 저자들의 견해이며, 저자들이 속한 기관의 공식적인 견해와는 무관함을 밝혀둔다.

** 주저자, 고려대학교 4단계 BK21 경제학교육연구단 연구교수

*** 교신저자, 대전세종연구원 연구위원

I. 서론

우리나라의 폐기물관리법에는 배출자 부담 원칙에 따라 생활폐기물 처리비용은 오염원인자가 부담하도록 하고 있다. 종량제 봉투는 이러한 비용을 부과하는 수단으로 배출자는 종량제 봉투를 구입하여 생활폐기물을 담아서 처리해야 한다. 그러나 종량제 봉투 수입으로는 생활폐기물 처리비용을 충당하지 못하여 지방정부의 예산 부담은 가중되고 있는 실정이다. 이같은 현상이 나타나는 원인은 종량제 봉투가격의 인상률은 매우 낮은 반면 처리 비용은 매년 상승하기 때문이다. 환경부에 따르면 생활폐기물 처리비용은 2012년 1.7조원에서 2018년 2.8조원으로 연평균 8.5%씩 상승한 것으로 나타났다.¹⁾ 이는 같은 기간 전체 지자체 예산 증가율인 5.7%를 훨씬 상회하는 수치이다. 이에 반해 종량제 봉투가격의 인상폭은 2% 인상에 그치고 있다. 생활폐기물 처리를 위한 전체 비용에서, 종량제 봉투 판매수입이 차지하는 비중을 주민부담율이라고 부르는데, 2018년 기준 주민부담률은 32.3%에 불과하여, 비용의 상당부분을 지방정부의 예산으로 충당하고 있다. 즉, 주민부담률 감소는 쓰레기 처리에 소요되는 지방예산의 가중을 의미하며, 이는 자원순환 인프라 부족, 도시 청결과 환경미화원 근무 여건 악화 등 여러 문제를 야기한다. 또한, 재활용품 처리, 배출자를 특정하기 어려운 거리 청소 등 지역자치단체의 예산으로만 처리되는 공공 청소 서비스 공급에도 부정적인 영향을 미치게 된다(한국환경정책·평가연구원, 2018).

이러한 문제를 해결하기 위해서는 종량제 봉투 가격의 현실화가 필요하다. 그러나 종량제 봉투의 경우 생활에 있어 필수재라는 점에서 급격하게 가격이 인상되는 경우 주민들의 반발에 부딪히게 된다. 따라서 종량제 봉투 가격의 현실화를 위해서는 이 문제에 대한 실제 주민들의 인식을 조사하고, 이에 기반한 객관적인 정보를 제시하는 것이 우선적으로 필요하다. 이에 본 연구에서는 단순히 주민들의 종량제 봉투 가격 현실화에 대한 인

1) 환경부, 쓰레기 종량제 현황, 각년도(2013~2019).

식을 조사하는 것이 아니라, 경제학적 방법론을 통해 실제 종량제 봉투 가격에 대한 가격 수용력을 지불의사액(Willingness to Pay, WTP)으로 정량화하고자 한다. 본 연구의 분석 결과는 종량제 봉투의 적정 가격뿐만 아니라 향후 공공 청소 서비스 관련 정책 수립과 관련하여 기초적인 자료로도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이후의 본고는 다음과 같이 구성된다. II장에서는 연구의 배경 및 선행연구가 제시되어 있으며, III장에서는 연구방법론, IV장에서는 분석 결과를 제시하였다. 마지막으로 V장은 분석 결과를 기반으로 연구의 결론을 제시하였다.

II. 연구의 배경 및 선행연구

1. 국내 쓰레기 종량제 현황

현재 쓰레기 종량제 봉투는 일반용 봉투를 기준으로 1 L부터 100 L까지 다양한 종류가 사용되고 있다. 이중 본 연구에서는 판매량이 가장 많은 20 L 봉투를 기준으로 국내 쓰레기 종량제 봉투 현황을 살펴보고자 한다.

다음 <표 1>에는 지역별 20 L 봉투 가격이 제시되어 있다. 2018년을 기준으로 경북지역의 경우 316.7원, 부산의 경우 813원으로 나타나 지역 간 가격 격차가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 종량제 봉투 가격의 인상률 역시 지역별로 상이한 것을 알 수 있다. 전국적으로 연평균 가격 인상률은 약 2% 수준이며, 일부 지역(부산, 광주, 대전, 울산, 제주)의 경우 2012년 이후 봉투 가격이 유지되었다.

〈표 1〉 지역별 종량제 봉투 가격 현황 (20 L 일반용 봉투 기준)

(단위: 원)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
서울	362.1	364.8	365.4	426.4	444.4	488.0	490.0
부산	812.5	812.5	812.5	812.5	812.5	812.5	812.5
대구	430.0	430.0	430.0	430.0	560.0	560.0	560.0
인천	577.4	580.1	584.5	596.4	619.0	632.0	632.0
광주	740.0	740.0	740.0	740.0	740.0	740.0	740.0
대전	660.0	660.0	660.0	660.0	660.0	660.0	660.0
울산	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0
세종	340.0	340.0	340.0	340.0	340.0	540.0	540.0
경기	485.5	491.6	503.5	524.2	531.9	538.1	547.7
강원	332.8	346.1	350.6	353.3	374.4	384.1	387.5
충북	305.4	303.6	300.9	300.9	303.6	307.3	310.9
충남	330.2	335.3	341.3	351.3	377.3	381.3	361.1
전북	296.4	302.8	304.3	304.3	332.9	340.7	373.6
전남	297.8	295.2	298.7	311.7	315.0	322.4	325.9
경북	292.9	295.5	299.3	301.5	313.0	316.8	316.7
경남	450.2	454.4	467.8	490.0	508.6	521.7	543.3
제주	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
전국	425.6	428.8	433.8	449.4	465.9	477.5	480.2

자료: 환경부, 쓰레기 종량제 현황 각년도

주: 해당 시도에 포함된 시군구의 20 L 일반용 봉투 판매단가의 평균값이며, 20 L 일반용 봉투가 판매되지 않는 시군구의 경우 10 L 일반용 봉투의 판매단가의 L당 가격을 기준으로 20 L 가격을 환산

한편, 주민부담률은 생활폐기물 처리 비용에서, 종량제 봉투 판매 수입이 차지하는 비중으로 정의된다. 즉 주민부담률이 높을수록, 생활폐기물 처리에 있어 추가적인 예산이 투입되지 않기 때문에, 본 제도의 취지인 배출자 부담원칙에 부합한다고 볼 수 있다.

다음 〈표 2〉에는 2012~2018년의 지역별 생활폐기물 처리 비용 및 주민부담률이 제시되어 있다. 이에 따르면, 매년 폐기물 처리 비용 상승률은 전국적으로 연 평균 8.5%로, 종량제 봉투 가격 인상률에 비해 높은 수준으로 나타났다. 그 결과, 주민부담률은 2018년 기준 32.3%로, 생활폐기물 처리 비용의 상당 부분이 추가적인 예산을 통해 처리되고 있다.

〈표 2〉 지역별 생활폐기물 처리 비용 및 주민부담률 (단위: 십억 원, %)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
서울	236 (40.0)	262 (39.0)	262 (46.5)	333 (48.0)	342 (54.9)	349 (62.7)	357 (62.8)
부산	91 (41.0)	95 (48.8)	104 (34.7)	98 (49.0)	102 (58.7)	113 (53.6)	117 (53.3)
대구	39 (37.0)	41 (37.6)	60 (25.4)	89 (31.0)	75 (46.1)	75 (50.7)	81 (49.3)
인천	68 (34.0)	78 (33.1)	88 (36.3)	87 (42.0)	89 (49.4)	90 (53.1)	101 (51.0)
광주	51 (29.0)	42 (35.1)	44 (39.8)	60 (43.0)	55 (46.2)	56 (45.2)	64 (41.2)
대전	43 (38.0)	48 (36.5)	52 (34.8)	65 (43.0)	70 (41.0)	60 (49.5)	64 (47.1)
울산	23 (54.0)	29 (56.3)	31 (58.0)	34 (53.0)	34 (60.5)	35 (59.9)	37 (59.3)
세종	5 (12.0)	5 (18.8)	9 (11.8)	13 (15.0)	16 (14.0)	19 (15.7)	14 (28.0)
경기	406 (25.0)	489 (23.1)	544 (25.3)	596 (26.0)	644 (27.3)	671 (27.2)	779 (26.0)
강원	82 (18.0)	93 (14.1)	88 (17.5)	105 (18.0)	125 (18.3)	121 (20.8)	128 (20.6)
충북	78 (14.0)	85 (14.9)	87 (12.9)	106 (21.0)	97 (22.1)	91 (24.6)	112 (21.4)
충남	113 (13.0)	129 (11.9)	130 (13.9)	171 (23.0)	156 (15.8)	169 (16.2)	176 (16.5)
전북	88 (11.0)	92 (12.6)	100 (13.8)	124 (30.0)	150 (17.6)	131 (22.8)	132 (25.3)
전남	109 (11.0)	130 (10.2)	117 (13.5)	137 (32.0)	146 (15.3)	169 (12.5)	179 (12.6)
경북	133 (13.0)	146 (12.9)	144 (15.6)	195 (9.0)	189 (13.9)	189 (16.9)	206 (15.2)
경남	114 (29.0)	129 (30.1)	154 (28.1)	151 (46.0)	158 (37.2)	166 (41.0)	173 (36.4)
제주	20 (15.0)	27 (14.2)	39 (11.8)	52 (13.0)	45 (15.3)	73 (13.4)	61 (16.9)
전국	1700 (25.2)	1920 (24.9)	2052 (26.3)	2414 (29.0)	2494 (31.0)	2578 (33.3)	2780 (32.3)

자료: 환경부, 쓰레기 종량제 현황 각년도

본 절의 내용을 종합하면, 폐기물 처리 비용에 비해 봉투 가격 인상률은 낮은 수준을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이로 인해, 주민부담률은 30% 수준에 불과하며, 특·광역시 지역의 경우도 평균적으로 50%에 불과하다. 한국환경정책·평가연구원(2018)에 따르면, 이 문제를 해결하기 위해서는 수집, 운반 비용의 개선이 필수적이지만 이 비용은 경제 성장에 따른 인건비 상승에 연동되어 지속적으로 증가할 것으로 예상되기 때문에, 종량제 봉투 가격 현실화가 필수적인 것으로 나타났다.

2. 선행연구

서론에서 언급하였듯이, 쓰레기 종량제의 운영을 위해서는 적절한 수준의 종량제 봉투 판매수입을 보장하여 안정적으로 예산이 확보되어야 한다. 따라서 청소행정의 추진 주체이며 종량제 수수료의 결정권자인 기초자치단체가 적절한 수준으로 종량제 봉투가격을 결정하는 것은 중요한 과제이다. 여기서 적정 수준은 종량제의 정책효과, 즉 가격의 변화가 폐기물을 얼마나 감소시킬 것인지, 그리고 그러한 가격을 주민들이 얼마나 수용할 것인지가 중요한 고려사항이 될 것이다. 국내 종량제를 주제로 하는 기존 연구들은 대부분 전자에 초점을 맞추고 있다. 신상헌(2001), 정광호 등(2007), 홍성훈(2001, 2015), 한국환경정책·평가연구원(2018) 및 조하은·우영진(2020) 등의 연구에서 종량제의 정책효과를 다루고 있다. 이 연구들은 종량제 봉투의 가격 변화 또는 종량제 도입 전후 생활폐기물 배출량, 재활용품 배출량 등의 변화를 추정하여, 종량제의 실효성을 분석하고 있다. 대체로 종량제 정책은 생활폐기물 감소에 긍정적인 영향을 미치는 결과를 보인다. 홍성훈(2001)의 경우 종량제 도입 이후 쓰레기 배출량은 감소하였으나, 제도가 정착된 이후 종량제 봉투의 가격변화로 인한 쓰레기 배출량의 변화는 확인되지 못했다. 정광호 등(2007)의 실증연구에서도 종량제 시행 이후 폐기물 발생량은 감소하고 재활용량은 증가하는 것을 보였으나, 종량제 봉투의 가격의 영향에 대해서는 다루고 있지 않다. 그러나 데이터의 시간적 범위를 연장한 홍성훈(2015), 한국환경정책·평가연구

원(2018) 등 후속연구들은 종량제 봉투 가격 인상이 폐기물 감소에 유효하다는 결과를 제시하고 있다. 조하은·우영진(2020)는 종량제 봉투가격이 공간적 연관성을 가지고 있음을 보였다. 즉, 어떤 지역의 종량제 봉투가격이 증가할 때 인접 지역의 가격이 함께 증가하고, 인접 지역의 폐기물 수거량도 같이 감소하는 간접효과가 발생하게 된다. 한국환경정책·평가연구원(2018)은 종량제 봉투의 적정 가격을 직접적으로 제시한다는 점에서 본 연구와 큰 유사성을 갖는다. 그러나 이 연구에서는 주민부담률, 지방정부 예산 자립도 개선과 같은 정책 목표 달성을 위한 인상안을 제안하고 있어, 실제 이를 소비하고 있는 주민들의 가격수용력을 고려하지 않았다는 한계가 있다.

이에 반해 본 연구에서는 기존에 다루지 않았던 종량제 봉투에 대한 주민들의 가격수용력에 주안을 두고 문제에 접근한다. 구체적으로 적정 수준의 종량제 봉투 가격에 관한 설문조사를 통하여 주민들의 추가적인 WTP를 산정하고자 한다. WTP 추정 방법론은 주로 환경 분야에서 환경재화 및 정책의 가치추정에 주로 적용되어 왔으며, 최근에는 도시재생, 공공정책 등 다양한 분야에서 적용되고 있다(정재영 등, 2017; 한국개발연구원, 2012; 김재홍, 2009). 또한, 설문조사 디자인 과정에서 대상 재화, 지불 수단 등 다양한 요소를 유연하게 적용할 수 있다는 장점 덕분에, 문화, 관광시설 등의 적정 입장료 설정에 있어서도 적용되어왔다. 예를 들어, 옥성수(2011)는 창덕궁의 입장료를, 박찬열·송화성(2016)은 수원화성, 현이조 등(2020)은 한라산의 적정 입장료 산정에 WTP 추정 방법론을 적용하였다. 그러나 현재까지 적정 종량제 봉투 가격 설정에 있어 WTP 추정 방법론을 적용한 연구는 찾아보기 어려웠으며, 이러한 점에서 본 연구는 적정 종량제 봉투 가격 설정을 위해 WTP 추정 방법론을 적용한 최초의 시도라는 점에서 학술적·정책적 의미를 가진다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 설문조사 지역 및 방법

본 연구에서는 다음과 같은 기준을 통해, 설문조사 대상지를 설정하였다. 첫째, 상대적으로 주거 지역이 밀집되어 있어, 수집 및 운반 비용이 낮고 종량제 봉투 인상 효과가 상대적으로 큰 특·광역시 지역을 고려하였다. 둘째, 가격 인상률이 낮으면서 상대적으로 주민부담률이 떨어지는 지역을 고려하였다.

이러한 기준 하에 본 연구에서는 대전광역시를 설문조사 대상 지역으로 선정하였다. 대전광역시의 경우, 생활폐기물 배출량의 증가와 함께 처리비용도 증가하는 추세이다. 2012년 430억 원이던 생활폐기물 처리비용은 2016년 700억 원으로 최고점을 기록한 이후 2018년에는 640억 원으로 기록했다. 그러나 종량제 봉투가격은 20리터 기준 660원으로 2005년 이후로 동일하게 유지되고 있다. 생활폐기물 처리비용에서 종량제 봉투 판매 수입이 차지하는 비중을 나타내는 주민부담률은 대전의 경우 2018년 47.1%를 기록하였는데, 이는 7대 특·광역시 중에서 2번째로 낮은 수치로 지속적인 개선이 필요한 실정이다.

설문조사는 전문조사기관에 의뢰하여 2020년 4월 첫째 주와 둘째 주에 온라인조사로 진행되었다. 조사대상은 대전광역시에 거주하고 있는 만19세에서 65세 사이의 세대주 또는 세대주 배우자로, 대전광역시 5개 기초자치단체별 인구에 따라 비례 할당하여 총 1,000명을 조사하였다. 표본추출은 조사기관에 등록된 온라인패널에게 무작위로 메일을 보내 유효표본을 추출하는 방식을 사용했다. 해당 조사기관에 등록된 온라인패널은 대략 130만 명이고, 우리나라 실제 인구구성과 유사하게 구성되어 있어 대표성 있는 표본을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

2. 지불의사 유도방법 및 제시금액

설문조사를 통해 응답자들의 WTP를 유도하기 위해서는 우선 응답자들이 이해하기 용이하며, 설문조사 과정에서 현실적으로 받아들일 수 있는 시나리오를 제시하는 것이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 다음과 같이 설문 문항을 구성하였다. 우선 응답자들에게 종량제 봉투 구매와 관련된 일반적인 질문을 제시하고 종량제 제도의 취지와 현재 대전광역시의 20리터 쓰레기 종량제 봉투 가격 등 청소 및 공공 미화서비스의 현황을 제시하였다.

다음 단계로 응답자들에게, 현행 종량제 봉투 가격이 유지될 경우, 생활 폐기물 처리 비용 증가로 인해, 청소 및 공공 미화 서비스 수준이 악화될 수 있음을 제시하였다. 즉, 응답자들은 현재 서비스 수준을 유지하기 위해, 현행 20리터 종량제 봉투 가격에서 추가적으로 지불할 수 있는 금액에 대해 응답하였다.

지불의사 유도 방식을 선정함에 있어서는 우선, 응답하기 용이하며, 전략적 행위로 인한 편의를 최소화할 수 있는 방식을 고려할 필요가 있다. 이에 상당수 WTP 관련 연구에서는 주로 양분선택(DC, dichotomous choice) 모형을 활용하고 있다. DC 모형은 사전적으로 응답자들의 지불의사금액을 설정하고, 이에 대한 지불용의를 묻는 방법이다. 예컨대, '청소 및 공공 미화서비스의 수준을 유지하기 위해 100원을 추가적으로 지불할 용의가 있는가?'에 대한 물음에, 응답자가 '예' 또는 '아니오'로 대답함으로써 WTP를 유도할 수 있다.

한편, DC 모형을 적용함에 있어서, 제시금액을 두 번 제시하는 이중 양분선택형(double bounded dichotomous choice, DBDC) 모형의 경우 한 번 질문만 하는 SBDC(single bounded dichotomous choice, SBDC) 모형에 비해 동일한 설문자료에 비해 더 많은 정보를 얻는 동시에, 효율적인 추정량을 얻을 수 있다는 장점이 있어 널리 활용되고 있다(Hanemann et al., 1991). 그러나 두 번째 질문에 대한 응답이 첫 번째 질문에 영향을 받음으로써 다양한 편이가 발생하게 되어, 유인 일치성(incentive compatible)을

상실할 가능성이 존재한다(한국개발연구원, 2012). 이에 본 연구에서는 설문조사 과정에서는 DBDC 모형을 적용하여 응답자의 지불의사를 유도한 후, WTP 분석 과정에서는 처음 제시금액에 대한 답변 자료를 활용하였다. 추가적으로 WTP가 0인 응답자, 즉 두 번의 제시금액에 대해 지불의사가 없는 응답자들을 대상으로 추가적인 WTP가 전혀 없는지에 대해 질문하였다.

제시금액의 경우 본조사에 앞서, 100명을 대상으로 사전조사를 진행하였다. 20리터 종량제 봉투를 구입하기 위해 최대 얼마까지 지불할 수 있는지 설문하였고, 그 범위는 최소 200원에서 최대 3,000원으로 나타났다. 비합리적인 응답결과를 배제하기 위해 15%에서 85% 범위에서 추리면 660원에서 1,000원으로 도출이 되었다. 현재의 가격 660원을 제하면, 추가적으로 지불할 수 있는 금액은 0원에서 340원의 범위이다. 본조사에서는 추가적인 지불의사액을 직접적으로 설문하였다. 사전조사 결과를 참조하여 본 조사에 적용된 제시금액은 최소 33원(5%)부터 최대 330원(50%)까지 총 4개의 초기 제시금액으로 결정되었으며, 이 금액을 전체 응답자에 대해 무작위로 구분한 4개 소그룹에 각각 할당하였다.

〈그림 1〉 응답자들에게 제시된 설문지

「폐기물관리법」상 우리가 버리는 생활쓰레기의 처리에 소요되는 비용은 우리가 구입하는 종량제 봉투의 판매수입으로 충당하게 되어 있습니다.

2020년 기준 대전의 쓰레기종량제 봉투 가격은 20L 기준 660원으로 지난 2005년 이후 15년간 인상 없이 유지되고 있습니다. 그러나 쓰레기의 운반·처리 등에 필요한 설비, 인력 등 비용은 계속해서 증가하고 있어, 지방자치단체의 재정 부담은 커지고 있습니다.

이처럼 청소 예산 부족으로 지방자치단체가 제공하는 청소서비스의 수준이 낮아질 가능성도 있습니다. 쓰레기 수거 횟수가 감소할 수도 있으며, 거리 청소가 제대로 이루어지지 않을 수도 있습니다. 청소 예산의 증액으로 다른 공공서비스가 축소될 가능성도 있습니다.

따라서 대전시의 쾌적한 도시환경 조성 및 원활한 재정 운영을 위해 쓰레기 종량제 봉투 판매가격의 현실화가 요구됩니다. 이에 따라, 주민 여러분의 쓰레기 종량제 봉투 가격에 대한 의견을 수렴하여 적정가격 책정에 적극 반영하고자 본 설문조사를 진행하게 되었습니다.

귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도(식비, 의복비, 주거비 등)로 지출되어야 한다는 사실을 염두에 두시고 설문에 답해주시길 부탁드립니다.

3. 추정 방법론

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 DBDC 모형을 통해 응답자의 지불의사를 유도한 후, WTP 분석과정에서는 처음 제시금액(A_i^s)에서 '예' 혹은 '아니오'라고 응답한 자료를 활용한다. 그러나, 설문조사 과정에서 A_i^s 보다 낮은 제시금액에서 '예'라고 응답하거나 단 1원의 지불의사도 없는가에 대한 질문에서 '지불의사가 있다'고 응답한 응답자들이 다수 분포하는 것으로 나타났다. 즉, A_i^s 에서 '아니오'라고 응답한 응답자들은 WTP가 0인 그룹과 WTP는 양(+)이지만 A_i^s 에 비해 낮은 응답자들로 양분된다.

이를 통계적으로 처리하기 위해 본 연구에서는 Kriström(1997)이 제안한 스파이크 모형을 적용하고자 한다. 다음 식 (1)에는 WTP 산정을 위한 로그-우도 함수가 제시되어 있다.²⁾

$$\ln L = \sum_i^n (I_i^{YY} + I_i^{YN}) \ln(1 - G_{WTP}(A_i^s; a, b)) + \quad (1)$$

$$(I_i^{NY} + I_i^{NN}) \ln(G_{WTP}(A_i^s; a, b) - \ln G_{WTP}(0; a, b)) +$$

$$I_i^{NNN} \ln(G_{WTP}(0; a, b))$$

$$\begin{cases} I_i^{YY} = 1 (i \text{ 번째 응답자의 응답이 '예' - '예'}) \\ I_i^{YN} = 1 (i \text{ 번째 응답자의 응답이 '예' - '아니오'}) \\ I_i^{NY} = 1 (i \text{ 번째 응답자의 응답이 '아니오' - '예'}) \\ I_i^{NNY} = 1 (i \text{ 번째 응답자의 응답이 '아니오' - '아니오' - '예'}) \\ I_i^{NNN} = 1 (i \text{ 번째 응답자의 응답이 '아니오' - '아니오' - '아니오'}) \end{cases}$$

2) 한국개발연구원(2012)에서는 0의 지불 의사 비율이 높을 경우, 0의 응답을 제외한 후 로그-로지스틱 모형을 적용할 것을 제안하고 있다. 그러나 본 연구에서는 설문조사 결과 0의 지불의사비율이 17.1%로 타 연구에 비해 크지 않다는 점, 그리고 설문자료를 분석 과정에서 전부 활용할 수 있다는 점 등을 고려하여, SBDC-스파이크 모형을 적용하였다. 로그-로지스틱 등 다양한 실증 모형 간의 비교·분석과 관련된 문제는 후속 연구에서 고려해볼 수 있는 주제로 판단된다.

여기서, a 는 상수항, b 는 제시금액에 대한 파라미터를 의미한다. 본 연구에서는 $G_{WTP}(\cdot)$ 을 다음과 같이 로지스틱 분포로 가정한다.

$$G_{WTP}(A; a, b) = \begin{cases} 1/(1 + \exp(a - bA)) & \text{if } A \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

최종적으로 스파이크는 $1/(1 + \exp(a))$ 로 계산되며, 평균 WTP는 다음 식 (3)과 같이 계산된다.

$$WTP = (1/b) \ln(1 + \exp(a)) \quad (3)$$

IV. 분석결과

1. 설문조사 결과

다음 <표 3>에는 응답자의 사회, 경제적 특성이 제시되어 있다. 응답자의 월소득은 평균 458만원으로 나타났으며 연령은 41세, 교육수준은 평균 15.3년으로 전문대졸 이상으로 나타났다. 전체 응답자의 61%가 여성으로 조사되었으며, 1인 가구 비중은 27%로 나타났다.

<표 3> 응답자의 사회, 경제적 특성

변수	정의	평균 (표준편차)
소득	응답자의 월평균 세전소득 (단위: 만 원)	457.7000 (280.2932)
연령	응답자의 연령 (단위: 세)	40.5340 (9.7385)
교육수준	응답자의 교육수준 (단위: 교육년수)	15.2920 (1.9283)
성별	응답자의 성별 (여성 = 1, 남성 = 0)	0.6100 (0.4880)
1인가구 여부	1인가구 여부 (1인가구 = 1, 그 외 = 0)	0.2700 (0.4442)

WTP 분석을 위한 제시금액과 각 금액별 표본 및 응답 결과는 다음 <표 4>와 같다. 쓰레기 종량제 봉투에 대한 추가적인 지불의사액이 없는 응답자는 전체 응답자의 17.1%인 171명으로 나타났다.

<표 4> 지불의사분포

첫 번째 제시금액	예-예	예-아니오	아니오-예	아니오-아니오-예	아니오-아니오	계
33원 (5%)	141	45	17	7	40	250
66원 (10%)	102	77	23	7	41	250
198 (30%)	62	93	36	18	41	250
330 (50%)	44	64	51	42	49	250
계	349	279	127	74	171	1,000

2. 분석 결과

분석 결과는 다음 <표 5>에 요약되어 있다. Wald 통계량으로 볼 때, 추정 계수들의 값이 모두 0이라는 귀무가설은 유의수준 1%에서 통계적으로 기각되었다. 또한 제시금액 추정계수가 양수로 추정되었는데, 이는 제시금액이 높아질수록 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하며, 동시에 설문조사가 제대로 수행되었음을 시사한다. 스파이크 역시 통계수준 1%에서 유의한 것으로 도출되었다.

WTP 분석 결과, 평균 WTP는 약 291원으로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. WTP의 95% 신뢰구간은 설문 과정에서의 불확실성을 반영하기 위해, Krinsky and Robb(1986)이 제시한 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하였다. 이 방법론은 (a, b) 의 추정치와 이에 대한 분산-공분산 행렬을 통해, (a, b) 의 값을 랜덤하게 5,000회 발생시켜 평균 WTP를 계산한다. 이렇게 생성된 P 개의 평균 WTP 값을 크기 순으로 정렬한 후, 양 끝에서, 각각 2.5%를 제거하면 95% 신뢰구간을 구할 수 있다.

〈표 5〉 분석 결과

변수	추정결과 (<i>t</i> -값)
상수항	1.5045 (18.8715)***
제시금액	0.0585 (17.1296)***
스파이크	0.1818 (15.2773)***
평균 WTP	291.2966*** [265.8226 - 322.0134]
관측치 개수	1,000
로그-우도값	-894.4988
Wald 통계량 (<i>p</i> -value)	419.7196 (0.0000)***

주: ***는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의미함을 의미함

또한 추가적으로 지불의사에 영향을 줄 수 있는 공변량을 분석하였는데, 소득이 높을수록, 1인 가구일수록 주어진 제시금액에 지불의사가 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 즉, 소득이 낮을수록, 상대적으로 쓰레기 배출량이 많은 2인 이상의 가구에서 주어진 제시금액에 지불의사가 낮은 것으로 나타났다.

〈표 6〉 공변량 분석 결과

변수	추정결과 (<i>t</i> -값)
상수항	-1.0224 (-1.3202)
제시금액	0.0590 (17.1234)***
소득	0.0005 (1.7242)*
연령	-0.0033 (-0.4183)
교육수준	0.0519 (1.4161)
성별	0.0308 (0.2163)

1인가구 여부	0.3246 (1.7780)*
관측치 개수	1,000
로그-우도값	-891.5488
Wald 통계량 (p-value)	434.1448 (0.0000)***

주: *, ***는 각각 유의수준 10%, 1%에서 통계적으로 유의미함을 의미함

3. 결과의 확장

본 연구의 분석 결과, 약 80%의 응답자가 현행 공공 청소 및 미화 서비스 질 유지를 위해 쓰레기 종량제 봉투 가격 인상의 필요성에 공감하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 이들의 추가적인 평균 WTP는 현행 가격의 44.1% 수준인 291원 수준으로 도출되었다. 이에 본 절에서는 우선, 한국환경정책·평가연구원(2018)에서 제시한 주민부담률, 생활폐기물 개선 효과를 준용하여 본 연구에서 도출한 44.1% 인상안의 효과를 제시하고자 한다.

한국환경정책·평가연구원(2018)에서는 종량제 봉투 연간 판매 수입과 인구 수에 기반하여 1인당 월 평균 종량제 봉투 지출 비용을 제시하고 있다. 이에 따르면, 2019년 기준 대전광역시의 종량제 봉투 판매 금액은 15,101백만 원이며, 인구는 148만 9,936명으로 월 평균 1인당 부담금액은 약 845원 수준을 지출한다. 여기에 2019년 대전광역시의 평균 가구원 수인 2.3명을 곱할 경우, 가구당 월 평균 1,943원을 지출하는 것으로 나타났다. 즉, 봉투 가격이 44.1% 인상 될 경우, 가구당 월 평균 2,799원을 지출하게 되어, 매달 약 856원의 추가 부담금액을 지출하게 된다..

한편, 종량제 봉투 가격이 1% 상승하면, 주민부담률은 가격 인상 이전과 비교하여, 0.6% 수준 증가하게 되며, 생활폐기물 발생량은 0.15% 감소하는 것으로 나타났다. 이를 적용할 경우, 종량제 봉투 가격 44.1% 상승 시, 주민부담률은 약 59.6%로 기존 47.1%에서 약 12.5% 수준 증가할 것으로 예상된다. 생활폐기물의 경우, 6.6% 감소할 것으로 예상되는데, 가구당 월 856원 수준의 추가적인 부담금은 쓰레기 종량제 봉투 인상에 따른 최대 부담금으로 예상된다.

〈표 7〉 종량제 봉투 가격 인상에 따른 기대 효과

종량제 봉투 가격 1% 인상시 ¹⁾		가격 인상률	주민부담률 개선율	생활폐기물 감소율	가구 당 월 최대 추가 부담 금액
주민부담률 개선율	생활폐기물 발생 감소율				
0.6%	0.15%	44.1%	12.5%	6.6%	856원

1) 종량제 봉투 가격 1% 인상에 따른 주민부담률 개선 및 생활폐기물 발생 감소율은 한국환경정책·평가연구원(2018)의 자료를 활용하였음

한편, 이러한 기대 효과에도 불구하고, 본 연구의 분석 결과는 정책결정자들이 종량제 봉투 가격을 인상함에 있어 신중한 접근이 필요함을 시사한다. 특히, 한국환경정책·평가연구원(2018)에서 특·광역시급의 종량제 봉투 가격을 단기적으로 현행 가격 대비 70% 수준까지 인상할 것을 제안하였는데, 이는 실제 소비자들의 지불의사에 비해 다소 높은 수준인 것으로 나타났다. 또한, 응답자들의 사회·경제적 특성, 특히 소득 수준과 가구원 구성의 특성에 따라 구체적인 지불의사는 상이한 것으로 나타났다. 이러한 점을 고려해볼 때, 지역 주민들의 종량제 봉투 가격에 대한 인식 및 사회·경제적 특성을 고려하지 않은 가격 인상은 주민들의 반발을 야기할 수 있다.

따라서, 종량제 봉투 가격 인상안을 수립함에 있어, 단순히 주민부담률 개선과 같은 정책 목표 달성을 목적으로 하기보다는 주민들의 의견을 최대한 수렴하여 반영할 필요가 있다. 또한, 주민부담률 개선을 위해 현재 생활폐기물 비용의 상당 부분을 차지하고 있는 쓰레기 수집 및 운송 비용 절감을 위한 방안들을 모색할 필요가 있다.

V. 결론

현행 쓰레기 종량제는 배출자 부담원칙에 의거하여 운영되고 있음에도 불구하고, 특·광역시 지역의 경우에도 주민부담률이 평균적으로 50% 수준에 머물고 있다. 따라서, 제도의 취지에 부합하기 위해서는 현재 낮은 수준에 머물고 있는 종량제 봉투 가격 인상이 필요하다. 그러나 종량제

봉투의 경우, 생활에 있어 필수적인 재화이기 때문에, 급격한 가격 인상에 대한 주민들의 우려 역시 존재한다. 이러한 우려를 불식시키고 관련 정책 수립의 당위성을 담보하기 위해서는 주민들의 가격수용력에 기반하여 종량제 봉투 가격 인상안을 도출할 필요가 있다. 이에 본 연구는 대전광역시 주민들의 쓰레기 종량제 봉투 가격 현실화에 대한 인식을 조사하고 이에 기반한 구체적인 가격 인상안을 도출하였다.

본 연구의 분석 결과는 다음과 같다. 우선, 응답자의 80%가 지불의사관점에서 쓰레기 종량제 봉투 가격 현실화에 공감하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 추가적으로 지불 가능한 금액은 약 291원으로, 현행 가격 대비 44.1%의 인상안을 수용할 수 있을 것으로 나타났다. 그리고 이를 통해 주민부담률 개선 및 생활폐기물 배출량 감소 효과 역시 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 소득이 낮을수록, 또 가구원 수가 2인 이상 일수록 지불의사가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이 결과는 주민들의 사회·경제적 특성에 따라 이 사안에 대한 지불의사가 상이함을 의미하며, 정책 수립 시 이에 대한 고려가 필수적인 것을 의미한다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 종량제 봉투와 같이 정책적으로 가격이 결정됨과 동시에 생활에 있어 필수재인 재화의 경우, 가격 변동에 대한 주민들의 인식을 조사하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 이와 관련하여 주민들의 인식을 조사하고, 실제 정책에서 활용할 수 있는 정량적 정보를 제공한다. 둘째, 본 연구에서 도출한 주민들의 가격수용력에 기반한 인상안의 경우, 주민부담률 개선과 같은 정책 목표 달성을 위해 제시된 기존 인상안에 비해 낮은 수준으로 나타났다. 즉, 단순히 정책 목표 달성을 위한 가격 인상은 주민 반발과 같은 부작용을 일으킬 수 있다. 따라서, 이러한 부작용을 최소화하기 위해 주민들의 의견이 반영된 인상안을 마련할 뿐만 아니라, 효율적인 폐기물 처리를 통한 비용 절감과 같은 대안들을 종합적으로 검토할 필요가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 김재홍, 2009, “다항선택형 조건부가치측정법을 이용한 태화강 수질개선의 경제적 가치 추정,” 『지방정부연구』, 13(2), pp.137-154.
- 박찬열·송화성, 2016, “CVM을 활용한 역사관광자원의 입장료 지불가치 추정: 수원화성을 중심으로,” 『지방정부연구』, 20(2), pp.255-271, DOI: 10.20484/klog.20.2.11.
- 신상헌, 2001, “생활폐기물 종량제 실태와 개선방향,” 『환경정책』, 9(2), pp.119-134.
- 옥성수, 2011, “CVM을 이용한 창덕궁입장료 추정의 유효성에 관한 연구,” 『문화경제연구』, 14(1), pp.77-94.
- 정광호·서재호·홍준형, 2007, “쓰레기 종량제 정책효과 실증분석: 광역시도를 중심으로,” 『한국행정학회보』, 41(1), pp.175-201.
- 정재영·이주석·최은철, 2017, “베이지안 접근법을 활용한 서울시 도시재생 사업의 편익 산정,” 『Journal of The Korean Data Analysis Society』, 19(2), pp.743-753, DOI: 10.37727/jkdas.2017.19.2.743.
- 조하은·우영진, 2020, “쓰레기 종량제가 생활폐기물 배출에 미치는 영향: 생활폐기물 수거서비스 수요함수를 중심으로,” 『도시행정학보』, 33(1), pp.107-122, DOI: 10.36700/KRUMA.2020.3.33.1.107.
- 한국개발연구원, 2012, 『예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구』, 서울: KDI 공공투자관리센터·한국환경경제학회.
- 한국환경정책·평가연구원, 2018, 『전국 쓰레기 종량제 봉투 판매가격 균등화를 위한 연구』, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 현이조·김송이·정철, 2020, “가상가치평가법(CVM)을 이용한 국립공원 한라산 입장료 지불가치 추정,” 『관광학연구』, 44(3), pp.89-107, DOI: 10.17086/JTS.2020.44.3.89.107.
- 홍성훈, 2001, “도시생활쓰레기 절감을 위한 가격유인: 쓰레기 종량제의 효과,” 『경제학연구』, 49(1), pp.203-221.
- _____, 2015, “종량제 가격이 생활폐기물, 음식물쓰레기, 재활용품 수거서비스 수요에 미치는 영향,” 『자원·환경경제연구』, 24(4), pp.747-761, DOI: 10.15266/KEREA.2015.24.4.747.
- 환경부, 2013, 『쓰레기 종량제 현황(2012년도)』, 과천: 환경부.
- _____, 2014, 『쓰레기 종량제 현황(2013년도)』, 세종: 환경부.
- _____, 2015, 『쓰레기 종량제 현황(2014년도)』, 세종: 환경부.
- _____, 2016, 『쓰레기 종량제 현황(2015년도)』, 세종: 환경부.
- _____, 2017, 『쓰레기 종량제 현황(2016년도)』, 세종: 환경부.
- _____, 2018, 『쓰레기 종량제 현황(2017년도)』, 세종: 환경부.
- _____, 2019, 『쓰레기 종량제 현황(2018년도)』, 세종: 환경부.

- Hanemann, M., J. Loomis, and B. Kanninen, 1991, "Statistical efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation," *American Journal of Agricultural Economics*, 73(4), pp.1255-1263, DOI: 10.2307/1242453.
- Krström, B., 1997, "Spike models in contingent valuation," *American Journal of Agricultural Economics*, 79(3), pp.1013-1023, DOI: 10.2307/1244440.
- Krinsky, I. and A. L. Robb, 1986, "On approximating the statistical properties of elasticities," *The Review of Economics and Statistics*, 68(4), pp.715-719, DOI: 10.2307/1924536.

최은철: 고려대학교 경제학과에서 경제학 박사학위를 취득하고 현재 고려대학교 4단계 BK21 경제학교육연구단에 재직 중이다. 주요 관심 분야는 소비자 편익 및 수요 분석이다(aidster@korea.ac.kr).

양준석: 성균관대학교 경제학과에서 경제학 박사학위를 취득하고 현재 대전세종연구원 연구위원으로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 산업조직론, 미시계량경제학이다(jsyang@dsi.re.kr).

투 고 일: 2021년 02월 17일
심 사 일: 2021년 02월 28일
게재확정일: 2021년 03월 09일

재생에너지 정책과 온실가스 감축분의 배출권 재활용 논쟁*

Reusing Renewable Credits under RPS/RE100 in ETS as Offsets

유종민**
Jongmin Yu

요약: 재생에너지 정책에서 저감되는 온실가스의 배출권거래제 활용을 두고 오랜 동안 파상적인 논쟁이 이어져 왔다. 발전 사업자는 재생에너지 진흥 정책에 따라 제공되는 경제적 이익 외에도 온실가스 저감을 인정할 경우 추가적인 정책 수혜를 받게 된다. 그러나 정책당국 입장에서는 국제 협약에의 저축, 중복혜택, 배출권 시장 교란 혹은 실질가치(integrity) 훼손, RE100과의 혼동 등을 우려하고 있다. 본고에서는 온실가스 저감 인정의 법적/경제적 추가성 개념과 배출권 할당제도를 종합하여 정책 간의 관계를 정리한 결과, 현재 배출권 할당정책 하에서는 신재생에너지의무화제도 및 RE100의 녹색프리미엄제 하 실적은 배출권으로 인정되기 어렵다고 결론 내린다.

핵심주제어: 배출권거래제, 신재생에너지의무화제, 온실가스, 기후변화, RE100

Abstract: There has been a long debate about recycling the reduced emissions due to renewable energy policies. On top of the economic benefits resulting from renewable energy policies, power companies would also gain additional policy benefits if recycling was allowed. However, policymakers are concerned about potential violations of international agreements, overlapping policy benefits, disruptions of emission markets, an impairment of integrity regarding remission reductions, and additionality. Considering the legal and economic additionality of greenhouse gas reduction and the permit allocation system, the credits from the renewable portfolio standard (RPS) and the RE100's green premium system are difficult to include as emission permits.

Key Words: Emission Trading Scheme, Renewable Portfolio Standard, Greenhouse Gases, Climate Change, RE100

* 본고에 소중한 조언을 주신 서울대학교 홍종호 교수님, The ITC 김진효 변호사님, 대한상공회의소 이시형 박사님, 데이터 수집에 도움을 준 홍익대학교 경제학부 고현명, 이강찬 조교, 그리고 익명의 심사자 분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

** 홍익대학교 경제학부 부교수

I. 서론

기후변화를 막기 위한 온실가스 저감정책의 일환으로 한국에서는 2015년부터 배출권거래제(이하 ETS: Emission Trading Scheme)를 시행하고 있으며 현재 2차 계획기간(2018~2020)을 마무리하고 3차 계획기간을 운영하는 중이다. 온실가스 ETS는 발전사들을 포함한 국내 온실가스 다배출 사업장들을 대상으로 배출량에 한도(CAP)를 설정하여 배출할 권리를 제공하고, 잉여나 부족분의 배출량을 배출권거래시장을 통해 거래하도록 하는 제도이다. 또한, 국내 발전사들의 발전량 일부를 재생에너지로 발전하도록 독려하기 위해 2012년부터 신재생에너지공급의무화제도(이하 RPS: Renewable Portfolio Standard)를 시행하고 있다. 본 제도는 재생에너지 발전량의 증가 자체가 목표로서 ETS의 목표인 온실가스 감소라는 부수적인 효과를 얻을 수 있다. 발전사 입장에서는 두 제도가 모두 초기 설비투자비 및 인건비 증가를 유발하고, RPS제도 또한 간접적으로 온실가스 감축에 기여할 수 있기에, RPS제도 인증서인 신재생에너지 인증서(이하 REC: Renewable Energy Certificate)와 ETS의 배출권을 동시에 인정해 줄 것을 요구하고 있다. 최근 연구에서는 REC와 배출권의 상호 교환가능성이 발전사들의 이중부담을 경감시킬 수 있는 측면과 신재생에너지 보급 측면의 장점이 있으나, REC 거래시장과 배출권거래시장의 건전성을 훼손할 수 있는 가능성이 존재한다는 의견이 존재해 왔다(Böhringer and Rosendahl, 2010; Abrell and Weigt, 2008; Unger and Ahlgren, 2005). 현재로서는 RPS를 통한 재생에너지 발전량(MWh)과 ETS를 통한 온실가스 감축량(tCO₂ equivalent)이 서로 구별되어 등록부(Registry)에 기록되고 있는 상황으로 두 제도는 분리 운영되고 있으나, ETS 도입으로 RPS 제도에 있는 발전 사업은 발전원 선택의 제한이라는 규제와 더불어 배출권 저감이라는 환경규제를 이중으로 받으므로 이러한 이중 부담을 완화시키는 방안으로 재생에너지 실적을 두 제도 의무이행 달성을 위해 동시에 사용하지는 요구가 자연스럽게 제기된 바 있다.

특히 만성적으로 제기되고 있는 배출권 시장에서의 매도 물량 부족 현상은 RPS에서 달성되는 신재생에너지를 활용한 발전을 잠재적 온실가스 감축으로 인한 상쇄배출권 혹은 감축실적으로 인정해 시장에 유동성을 공급하자는 주장에 힘을 실어주고 있다. 동시에 신재생에너지 사업의 수익성을 제고할 수 있는 기회가 될 것으로 기대를 모으는 RE100은 기업이 필요한 전력의 100%를 재생에너지로 공급하겠다는 자발적인 글로벌 신재생에너지 캠페인으로서, 수익성 제고를 위해 해당 사업의 온실가스 감축분을 ETS에서 배출권으로 인정받기를 당국에 강하게 요구하고 있는 실정이다.

두 제도를 어떻게 연계시킬지에 대해서는 많은 연구가 있어 왔다. Hanemann(2008)은 배출권거래가 온실가스 저감효과를 100% 보장하지 못한다고 주장한다. 결국 탄소세와 배출권거래, 신재생에너지 보급정책과 같은 기술규제와 배출통계 구축 및 지원정책이 경제주체별 특성에 맞춰 조화를 이룰 때 감축성고를 기대할 수 있다. 문제는 각각의 정책방안에 대한 도입시기와 적용대상을 어떻게 결정하느냐에 따라 수많은 정책혼합 시나리오가 도출될 수 있다. Amundsen and Mortensen(2001)은 정태적 모형을 이용하여 덴마크의 배출권 거래와 RPS제도 중 한 제도의 목표를 고정하였을 경우 다른 한 제도에 미치는 영향을 분석하였다. 예를 들면, RPS 비중을 고정한 채 배출권거래의 목표를 상향 조정할 경우 REC 가격이 하락하고 신재생 발전사업자들의 이윤이 감소되는 결과를 초래하는 것으로 나타났다. 반대로 배출권 거래 목표를 고정한 채 RPS 규제를 강화할 경우, 신재생에너지 보급률에 대한 불확실성이 커지는 것으로 나타났다. EU-ETS 이후 실증분석 급증하였으며, ETS와 RPS간의 이론적 상관관계에 대한 여러 연구가 있었다(Böhringer and Rosendahl, 2009; Gawel, Strunz and Lehmann, 2014; del Río Gonzalez, 2007; Sorrell, 2003; Tsao, Campbell and Chen, 2011). Tsao et al.(2011) 는 2007년 캘리포니아 전력시장 데이터를 이용하여 배출권거래와 신재생에너지 규제가 연계될 경우 어느 한 제도가 강화될 경우 시장유인이 적어지는 것으로 나타났다. 즉, 한 제도를 강화함으로써 다른 한 제도의 기능이 상실되는 효과를 가져온다는 것이다.

또한 발전연료 별로 희비가 교차하는 효과를 설명했는데, 예를 들어 RPS 제도가 강화될수록 석탄과 유류가 혜택으로 보게 되고 반면에 천연가스 비중이 감소되는 것으로 나타났다. Chen and Wang(2013)는 탄소 및 REC 가격에 따른 사회후생을 측정하였으며, Bird, Chapman, Logan, Sumner and Short(2011)는 전력가격, 탄소, REC 간 상관관계를 시뮬레이션하였다. 또한 Fais, Blesl, Fahl and Voß(2014)는 EU-ETS에서의 가격 폭락 이후 발전차액제도(FIT)로 과도하게 의존하게 된 신재생에너지 시장에 대해 분석하였다. 배정환·강희찬(2014)은 정책조합 중에서도 ETS와 RPS, 그리고 탄소세제와 발전차액지원제도(FIT, Feed-in Tariff)의 정책 혼합만이 추가적인 온실가스 감축효과를 거둘 수 있는 것으로 분석하였다. Thurber et al.(2015)은 에너지, 환경, 경제, 정치적인 목표가 상이한 제도가 연계되어 시장메커니즘이 복잡하게 설계될 경우, 시장이 시장참여자들의 전략적 행위에 취약해질 가능성을 우려했다. 특히 두 시장이 비효율적으로 운영될 가능성을 변동성(급락 또는 급등)과 시장지배력에 초점을 두었는데, 특히 시장이 예측하기 어려운 상황이 연출되는 것을 경계해야 한다고 강조했다. Yu and Kim(2021)은 ETS와 RPS가 상쇄배출권으로 연계되어 있는 현실을 전제하고 과징금이나 할당량 등과 같은 정책수단들이 각각의 시장에서 구현되는 상대적인 효과성을 보여주기 위해 부분균형 모형을 통한 닫힌 해를 제시하여 칼리브레이션 하였다.

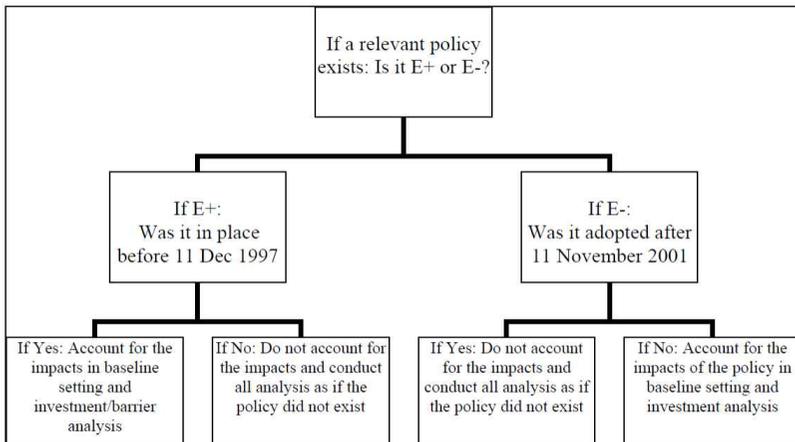
본고는 Yu and Kim(2021)에서 일반적으로 분석하고 있는 배출권거래제와 신재생에너지의무화 제도의 연계 시 정책 변수 변화에 따른 시장 가격 간 균형에 대한 논문을 바탕으로, 법과 제도적인 측면에서 신재생에너지 사업자 혹은 정부에서 주장하는 바와 같이 중복인정 가능 여부를 처음으로 종합하여 이에 대한 논란의 종지부를 찍고자 한다. 기존 연구와의 차이점으로서 해외사례 제시 혹은 특정 상황을 가정한 모형구축에 치중하지 않고, 국제 탄소시장에서 통용되는 추가성의 문제 및 국내 법제도에 기반하여 허용 여부에 따라 결론을 도출한다.

II. 법적 근거와 논쟁

1. 추가성(Additionality) 판단과 관련된 E+/E- 정책 판단 기준

CDM 집행부는 온실가스 저감 및 배출권 생성과 관련해 호스트 국가 혹은 사업자들의 왜곡된 행태를 방지하기 위해서 추가성 판단 기준을 개선해왔고, 2009년 이후로 지속적으로 E+/E- 기준을 채택 및 적용해왔으며 2013년 EB73을 계기로 이후에는 추가성 판단에 있어서 E+/E- 여부를 사용하도록 강제하고 있다. 판단 기준으로서 E+ 정책은 화석연료 연소로 인한 배출을 오히려 증가시키는 기술에 인센티브를 부과하는 정책으로서 교토의정서(1997.12.11.) 이전에 BAU(business as usual emissions)가 결정된 국가가 이에 해당되는데, 이는 고의로 배출을 증가시키는 정책을 도입하지 못하도록 하기 위해서이다. E- 정책은 반대로 에너지 혹은 배출을 저감하는 기술에 인센티브를 부과하는 정책으로서 마라케쉬 협정(2001.11.11.) 이후에 BAU가 공포된 경우에 해당되는데, 이는 호스트 국가로 하여금 탄소 저감정책을 고의로 도입하지 않는 경우를 배제하기 위해서이다.

〈그림 1〉 CDM 추가성 판단 기준



출처: EB 52 Proposed agenda -Annotations Annex 3 Page 1

한국의 경우 온실가스를 저감하는 정책목표를 가진 RPS와 발전차액제도(이후 FIT: Feed in Tariff) 모두 2001년 이후에 도입되었기 때문에 E-정책 그룹에 해당된다 할 수 있고,¹⁾ 정책 취지에 따라 BAU를 과장하기 위해서 본 정책들이 원래부터 없었다고 말할 수 없는 상황이다. 따라서 현재 한국의 BAU 는 이미 RPS에 의해 줄어든 배출량을 기준으로 형성된 배출예정량이라고 할 수 있고, 엄격히 적용하자면 RPS라는 정책에 의해 줄어드는 온실가스는 기 반영되어 있으므로 배출권으로 사용할 수 없다는 결론을 내리게 된다. 그럼에도 FIT 혹은 RPS 제도 하에서는 명령 통제방식의 탄소저감정책은 아니라는 판단 하에 지속적으로 CDM 사업으로서 승인이 이뤄진 바 있다. 국내에서 신재생에너지 CDM 승인을 득한 경우는 2019년 기준 71개 사업, 향후(기 승인분) 28백만 톤에 달한다.²⁾ 기존에 FIT 하 지원금을 수령하던 재생에너지 사업자 입장에서도 수익의 극대화를 위해서는 해당 사업을 CDM 등록 후 발급된 CER을 다시 KOC로 전환하여 가격 높은 국내 배출권 시장에서 매도하는 것이 가장 수익률을 극대화 시키는 방안이었기 때문에 실제 FIT 하에서의 탄소저감은 국내 상쇄실적으로도 인정된 바 있다. 만약 E- 로 대표되는 추가성의 기준을 엄격하게 적용하자면 현재 처럼 RPS 사업에서 발생하는 온실가스 저감분을 인정하지 않거나, 신재생에너지 사업자에게 저감에 대한 배출권 발급을 허용하되 국가 BAU는 대신 증가하므로 배출량을 현재수준과 동일하게 하기 위해선 저감목표가 높아질(배출권 할당에 있어 조정계수의 하향)이 요구된다.

-
- 1) RPS 제도 하 신재생에너지 사업의 수입이 정부로부터 발생하지 않고 민간으로부터 발생하여 E- 정책에 해당되는지 여부에 대한 논란은 본 단계에서는 고려하지 않는다.
 - 2) UNFCCC도 이러한 기준에 따라 한국의 RPS 적용 재생에너지 사업을 CDM으로 등록 승인하였으며, 한국정부도 이 과정에서 이미 온실가스 감축에 대한 발전사업자의 자발적 참여를 인정하는 국가승인서를 발급(12.12.26, CDM 참조번호 9165).

2. 국내 법규

1) 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령

따라서 이와 같이 여지껏 논란의 여지를 제공한 한국의 상쇄배출권 인정 기준이 이와 같은 국제기준을 따르고 있는지, 혹은 법규가 이를 제대로 반영하고 있는지를 되돌아볼 필요가 있다. 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령(이하 시행령)은 다음과 같이 하나의 사업에서 발생한 온실가스 감축효과에 대한 중복판매에 대한 제한을 명시하고 있다.

제38조(상쇄) ③ 주무관청은 법 제30조제1항제2호에 따라 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약에 대한 교토의정서」 제12조에 따른 청정개발체제 사업(할당대상업체의 사업장 안에서 시행된 사업을 포함하며, 이하 “청정개발체제 사업”이라 한다)을 통하여 확보한 온실가스 감축량을 인증하는 경우 중복판매 등으로 인한 부당이득을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

때때로 본 규정이 RPS 사업에서 달성된 온실가스 저감 실적을 인정할 수 없다는 근거로 거론되곤 하지만, 이는 사실이 아니다. 본 문구의 취지는 CDM 사업을 통해 해외에서 온실가스 저감 인증을 받아 CER이 발급 및 판매된 상태에서, 다시 국내 배출권 시장에서 KOC 발급의 근거로서 사용될 수는 없다는 취지이다. 이는 명백한 Double Counting 방지 조항으로서 당연한 조항이고, 실제로 국내 기반 CDM 사업을 근거로 상쇄배출권 발생 시 환경공단에서 기 발급된 CER cancellation 여부를 확인하고 있으므로 우려 사항에 해당되지 않는다.

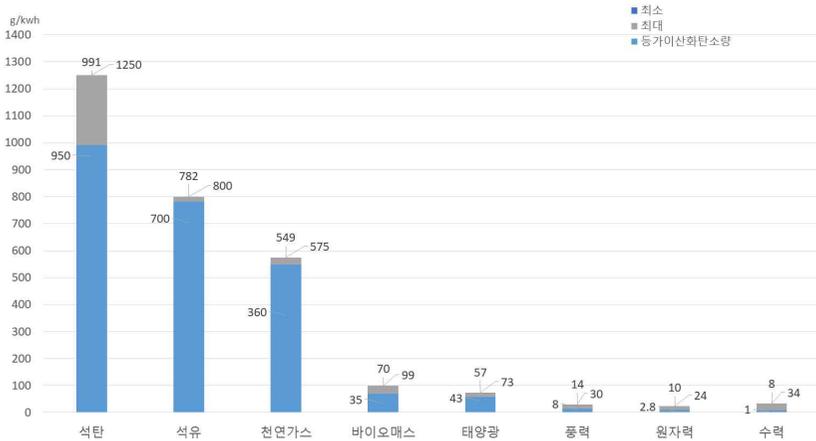
2) 외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침

핵심적인 법적 근거는 <외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침>의 <별표 1> 승인대상 외부사업 분류 및 등록 특례 사업(제8조제3항 관련)이다. 다음과 같이 등록 특례사업에 대해 규정하고 있다.

1. 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)에 의해 RPS 공급의무자가 공급해야하는 의무량을 초과한 신재생공급인증서(REC) 구매량에 대해 외부사업으로 등록할 수 있다.

전력 1 kWh 생산을 위해 발생하는 온실가스는 석탄 0.82 kg, LNG 0.36 kg 등, 원자력 0 kg 다양하나 원자력 및 재생에너지는 연료연소에 따른 온실가스를 배출하지는 않으나 제작, 건설, 운용, 폐기 등 기타 과정에서 배출한다.

〈그림 2〉 발전원별 온실가스량



자료: 국제원자력기구(IAEA, 2006), 연료연소에 따른 직접 배출이 없는 원자력 및 재생에너지는 제작/건설/운용/폐기 등 타 과정의 배출량까지 추산하여 합산함

대상 에너지와 관계없이 현재 사용되고 있는 단일 전력배출계수를 0.46625 CO₂ equivalent ton/MWh으로 가정할 경우 예컨대 1 REC를 탄소배출권 가격 단위로 전환할 경우 REC가격 * 1/0.46625에 해당된다.

약 39,600원 (2021년 3월 기준 REC 가격) * 1 / 0.46625 CO₂ equivalent ton/MWh
 >> 약 18,600원/CO₂ equivalent ton (2021년 3월 기준 KOC 가격)

따라서 <외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침>의 <별표 1>에 의해 RPS 대상사업은 실질적으로 등록이 제한된다. 잉여(초과구매한) REC에 대해 외부사업으로 등록할 경제적 유인은, 기본적으로 향후 RPS 의무이행비용(REC의 미래가격)이 배출권 가격보다 적다는 기대 하에서 이뤄진다. REC(원/MWh) 및 배출권(원/CO₂ equivalent ton)간 상대가격이 그 판단 기준이 될 수 있는데, 신재생에너지 사업자는 RPS와 ETS에서 사용할 수 있는 상쇄실적(혹은 신재생에너지 생산 실적)을 두고 단가가 높은 제도를 택할 것이기 때문에 현 상황에서 전력배출계수를 그대로 사용할 경우, 3월 4일 기준 1 MWh REC 가격은 약 39,600원이고 탄소배출권 가격은 약 18,600원이므로 아직은 탄소배출권 대신 REC로 사용할 경우 그 가치가 약 4.5배에 달하기 때문에 당분간은 REC로의 사용 대신 상쇄배출권으로의 전환이 발생하지는 않을 것으로 본다.

3) 추가성

<별표 5> 외부사업 추가성 평가절차 및 방법(제14조 관련) 중 법적·제도적 추가성을 만족시켜야 한다는데 근거하고 있다.

<p>1) 법적·제도적 추가성 추진하고자하는 외부사업이 현행 법·제도에 의해 제한을 받지 않아야 하며, 외부사업의 내용이 현행 법·제도에 의무사항으로 규정되어 있지 않아야 한다. 다만, 중앙부처 혹은 지방자치단체 등의 기관에서 온실가스 감축에 필요하여 정책적으로 권장하는 사업은 의무사항이 아닌 자발적 참여에 의한 활동으로서 법적 추가성을 만족하는 것으로 간주할 수 있다...(이하 중략)</p> <p>2) 경제적 추가성 경제성이 부족하여 외부사업으로 추진하기 어려우나, 외부사업 인증실적 활용을 통하여 경제성 확보가 가능한 사업이어야 한다...(이하 중략)</p>
--

일반적으로 경제적 추가성도 요건으로 거론되나, 적용에 있어서 범위가 매우 모호하다. 해당 제도가 없었을 경우 사업 실행 여부가 결정된다는

개념 자체가 매우 애매하기 때문이다. 예를 들어 사업자가 자체 수익률이 3%일 땐 사업성 부족으로 진행이 어렵고, 정부보조가 추가될 경우 4% 되므로 가능하다는 식으로 추가성 여부가 판단되는 것도 불합리하기 때문이다. 따라서 실무적으로는 법적 추가성이 중복 불인정의 논리로 주로 사용된다. 실제로 RPS 제도는 법적 추가성에서 말하는 양적 발전량 쿼터를 달성해야하는 의무사항임에 반해 FIT는 사업성에 따라 참여 여부는 자율이기 때문에 CDM 제도 하에서도 CER 발급이 가능했었다.

4) 법리적 결론

앞서 제시된 법적 근거를 취합하면 다음과 같이 결론지을 수 있다. 2020년까지는 이미 E- 정책 기조대로 RPS로 인한 온실가스 감축을 반영하여 BAU가 설정되었고 배출권도 할당되었으므로, 3차 계획기간까지는 기존과 같이 중복 불인정(일단 REC 발급 시 KOC 발행 불가)할 수 밖에 없다. 그러나 4차 계획기간부터는 새로이 RPS의 성과가 반영되지 않은 BAU 설정 후 REC를 생산하는 사업자에게 KOC 배출권도 함께 발급해 주는 것이 가능하다. 어차피 온실가스 배출경로를 유지하려면 더 강한 감축 목표(낮은 조정계수)가 주어져야 하기 때문에, KOC가 추가 발행된다 하더라도 배출권 시장에서의 유통물량은 전체적으로는 동일하다. 즉 할당배출권인 KAU가 상쇄배출권인 KOC로 대체되는 것 뿐이다. 따라서 이충국(2019)의 추산대로 배출권 시장에 연간 추가로 350만톤의 KOC가 공급될 가능성에 대해서는 추가적인 분석이 필요하다. 앞서 밝힌 바와 같이 국가 배출경로를 국제사회에 공표한 대로 유지하는 경우와 별개로, 만약 BAU 대비 감축목표만을 목표로 할 경우 배출권 시장 가격에 미치는 영향은 당연히 발생한다. 할당배출권 KAU의 감소 없이 일부 시장참여자들의 기대처럼 상쇄배출권 KOC만 증가할 경우 시장에는 배출권의 추가 공급으로 시장가격의 하락을 가져오게 된다.

III. RE100 제도와와의 연관성

1. RE100 제도의 개요

최근 신재생에너지의 배출권 활용과 관련하여 고려해야 할 또 다른 제도적 측면이 발생하였는데, RPS 와 달리 자발적 재생에너지(태양광, 풍력, 수력, 조력, 지열, 바이오 등) 사용을 사용전력의 100%로 하겠다는 것을 전제로 한 RE100이다. 많은 국가의 유망 기업에서 도입하고 있고 글로벌 체인망을 갖춘 기업들이 RE100을 선언하며 재생에너지 사용량을 거래 및 계약의 전제 조건으로서 강조하면서, 국내 기업들도 자의반 타의반으로 재생에너지에서 발생한 전력사용이 시급한 현안으로 부각되고 있다. 기존 RPS가 전력의 공급자가 부담하게 되는 재생에너지 사용을 강제하는 인센티브라면, RE100은 전력의 수요자가 재생에너지에서 발생한 전력만을 쓰도록 유도하는 인센티브라는 점에서 구조적인 차이를 가진다. 또한 한국의 RPS 제도는 재생에너지와는 관계없는 석탄가스 등 신에너지를 포괄하고 있기 때문에 RE100의 대상인 1차 에너지원 범위에서 물론 큰 차이를 가지고 있다. 한가지 주목할 사항은, RE100은 불이행시 과징금을 부과하는 RPS와 달리 민간 기업들의 자발성을 기초로 한다는 면에서 추가성의 인정 측면에서 배출권거래제에서 온실가스 감축으로 인정할 것인가에 대해 재론의 여지가 없다는 점이다. 온실가스 감축으로 인정받을 수 있는 법적·제도적 추가성이, 추진하고자 하는 외부사업이 현행 법·제도에 의해 제한을 받지 않아야 하며, 외부사업의 내용이 현행 법·제도에 의무사항으로 규정되어 있지 않아야 한다. 실제로 RE100은 전력수요자가 자발적으로 재생에너지에서 발생한 깨끗한 전기를 사용해 최종 생산물의 소비자들에게 마케팅 측면에서의 사회적 기여를 홍보하고자 하는 것이므로 의무사항이 아니며 정책적 측면에서의 인센티브가 인위적으로 주어지지 않는다.

최근 산업통상자원부 보도자료(2021.1.5.)에서 밝히고 있듯 한국에서도 RE100 캠페인에 대해서도 정책적 실현방안에 대한 정부 입장이 정해졌다. 한국은 전력 수요자가 한국전력으로부터 전기를 구매해야 하기 때문

에 특정 에너지를 선택적으로 구매하는 것이 불가능하기 때문이다. 실현 수단을 구체화한 것이 특징인데, 1) 녹색 프리미엄이 추가된 전력요금을 지불, 2) 재생에너지 발전사업자와 한국전력공사, 그리고 전기 소비자 간 전력구매계약(Power Purchase Agreement, 이하 PPA)을 통한 전력 직거래, 3) 전력 수요자의 REC 구매, 4) 재생에너지로 자가 발전 및 조달 등을 거론하며 전기사용자가 사업성에 맞게 재생에너지 활용 방식을 선택 가능하도록 다양한 옵션을 제시하고 있다.

2. 온실가스 감축에의 추가성 충족 여부

RE100을 통해 생성된 재생에너지는 추가성을 인정받아 온실가스 감축으로 인정받아 배출권으로 발급, 즉 조직경계 내외부 여부에 따라 감축으로서 인정되거나 외부사업의 일환으로 상쇄배출권을 받을 수 있는 가이다. 추가성이란 것은 기본적으로 RE100에 의해 재생에너지 순증(net-growth)으로 인한 온실가스 감축이 있는지에 대한 판단이다.

먼저 논란이 없이 현행 제도 하에서도 실행할 수 있는 방안으로는 REC 구매안을 들 수 있다. 앞서 제시한 옵션 중 RPS 신재생 공급의무자가 구매해 정부에 제출할 기 발급된 REC를, 의무이행을 할 필요가 없는 RE100 이행자가 자발적으로 구입하여 이를 소각하는 것이다. REC의 발급 자체가 신재생에너지 발전량에서 나온 것이고, 소각된 만큼 시장에서의 REC 공급량이 줄어 의무이행사는 다른 REC를 추가 생산 받아야 하므로 신재생에너지의 순증가 효과를 인정할 수 있다. 그러나 문제는 다음의 두 가지 경우이다.

1. 현행 RPS 제도가 재생에너지 뿐만 아니라 석탄가스, 폐기물 소각, 바이오매스 혼소, 연료전지 등도 포함하고 있기 때문에, REC을 구매해 시장에서 퇴출시킨다해도 이것이 재생에너지에서 나온 것인지 여부(즉 재생에너지의 추가 생산)을 확신할 수 없다는 것이다.³⁾

2. 온실가스 상쇄지침에 따르면 신재생에너지의 온실가스 감축효과

3) 2019년 REC 신규발급량 기준 비중은 다음과 같다: 태양광(39.1%), 풍력(7.1%), 수력(4.2%), 연료전지(8.1%), 바이오(32.6%), 폐기물(7.2%), 석탄가스(1.4%).

법적 추가성을 충족시키기 위해서는 REC를 정부에 제출해서는 안되고 소각해야 하는데, 현행 전력배출계수 감안 시 전환부문과 같은 RPS 의무이행사이자 온실가스 할당사업체가 REC를 온실가스 상쇄배출권인 KOC로 전환할 경제적 유인이 없다는 점이다.

그 외 재생에너지 활용 대상 발전사와의 직접적인 PPA계약은 기본적으로 전력의 생산/판매/구매 자율화를 근간으로 하는 형태의 공급 방식으로, 한전을 중개로 재생사업자와 RE100을 선언한 기업 간 전력거래계약 체결하는 유형을 들 수 있다. 재생에너지 발전 사업자와 구매자가 사전에 동의한 가격으로 일정 기간 동안 전력 구매 조건을 고정하고, 한국전력은 인프라만을 제공하는 형태이다. 전기사업법에 따르면 발전/송전/배전/판매 사업 중 두 개 이상의 사업이 원천 금지되어 있고 장외거래 또한 금지되어, 전기 사용자는 한국전력을 통하지 않고는 전력을 직접 구매할 수 없기 때문이다. 이는 기존에 한국전력이 소매전력 시장을 거의 독점하다시피 한 현 시장체계를 탈피해야 하기 때문에 소비자들의 전력 선택권이 법으로 허용되어야 한다는 점에서 법규의 개정이 전제된다. 하지만 한국전력의 정산 단계에서 신에너지와 재생에너지가 섞이게 되는 RPS와 달리 순수하게 재생에너지만 사용하는 발전사업자의 전력만을 선택해 받게 되므로 추가성은 확실하게 인정될 수 있다.

전력 소비자가 직접 자가발전하거나 재생에너지 발전사업자의 지분에 참여하는 것도 실제 재생에너지 발전량이 늘어나는 것이므로 추가성 충족에 문제가 없다.

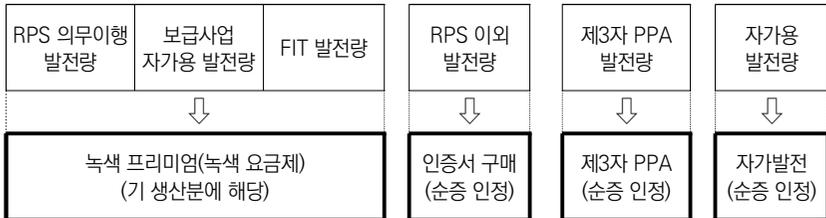
특히 문제는 녹색프리미엄제에서 발생한다. 에너지공단이 판매대상 발전량에 대해 녹색 프리미엄을 부과시켜 징수하고, 기업은 RE100을 이행했다고 선언하며 공단은 모인 자금으로 '별도의' 재생에너지 사업을 하는 것이다. 현 시점에서 제도가 구체화되어야 평가할 수 있겠지만, 현재 거론되고 있는 두 가지 방식 모두 추가성의 문제가 있다.

1. 녹색프리미엄으로 축적한 자금으로 재생에너지 신규 개발: 원칙적으로 녹색프리미엄은 재생에너지를 이용해 기 발전된 전력을 구매할 때 소

비자가 이에 대해 프리미엄을 주고 구입하는 것이다. 발전단가가 비싸기 때문이다. 그러나 현재 논의되고 있는 구상은 먼저 정부 주도로 댓가를 미리 받고(기업은 정부를 신뢰하고 재생에너지를 공급받았다 가정하고 RE100 선언 가능) 사후에 재생에너지를 활용한 발전을 계획하는 것이다. 특정 프리미엄률이 재생에너지 발전 단가에 충분한지도 알 수 없고, 정부 주도로 개발된 신규발전 전력량이 일전에 기업들이 이미 구매한 전력량과 동일하다고 장담할 수 없다.

2. 자가용 보급사업, 국가 REC, FIT 실적 재활용: 앞서 설명된 사후적인 재생에너지 발전의 문제점을 해소하기 위해 기존의 신재생에너지 발전 실적 중 RPS 의무이행에 사용되지 않은 국가 보유 물량분량(통칭 국가 REC) 만큼을 공단이 녹색프리미엄을 붙여 공급하는 형식이다. 국가 REC 역시 그 출처가, 과거 RPS 제도가 도입되기 FIT 발전사업들에게 일정 대가를 지급하고 매입한 것으로서 현재 FIT 실적을 녹색프리미엄의 징수 근거로 삼는 것과 실체는 동일하다. 그런데 기본적으로 FIT는 보조금으로, RPS는 양적규제로서 기존에 부족했던 사업성을 정책으로 확보해준 사업이기 때문에, 외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침 별표 5의 법적·제도적 추가성 충족에 논란이 있을 것으로 보인다.⁴⁾

〈그림 3〉 이행수단별 대상 재생에너지 순증 여부



자료: 산업통상자원부(2021) 자료 변형

4) 녹색 프리미엄제는 사실 추가성 문제 뿐만이 아니라 RE100 수단 자체로서도 인정되기 어렵다. “자발성”을 기초로 하는 RE100 제도에서 FIT 라는 국가 보조금 사업을 통해 획득되고 과거 재생에너지 발전 실적으로 이미 계산되었던 물량이, 공공에 의해 다시 민간에 재판매되어 민간의 자발적 실적으로 포장되기 때문이다.

또한 RE100으로 인한 실적에 대해 조직경계 내부 혹은 외부사업으로 선택 가능할 경우 감축으로 인정되느냐 혹은 외부사업을 통해 상쇄배출권을 발급받느냐에 대한 고민이 할당기업 입장에서는 가능하다. 배출권거래제 전체 운영 상으로는 그 영향은 동일하다. 왜냐면 감축으로 인정될 경우 일종에 할당배출권이 추가로 발급되는거와 같아서, 감축으로 인해 남게 되는 기 할당받은 배출권은 매매 혹은 이월되어 사용주체가 누구이던 어떤 시점이던 사용(배출)되어 정부가 기존에 계획한 배출총량이 유지가 될 것이다. 반대로 상쇄배출권으로 발급받을 경우도, 할당기업이 이를 구매하여 추가로 배출을 하더라도 조직경계 외부에서 이미 저감이 이뤄지게 되기 때문에 할당기업이 추가로 배출하더라도 기존 배출총량이 유지된다. 다만, 각종 이월차입 제한 등의 영향을 받는 KAU 에 비해 사용 시기의 유연성이 있는 KOC의 가치가 높기 때문에(유종민·이지웅, 2019, 2020) RE100의 온실가스 감축실적을 상쇄배출권 발급으로 사용하고자 하는 수요가 더 많은 것이다. 게다가 <표 1>에서 요약한 바와 같이 Grandfathering 할당방식의 단점으로 인해 조직 경계 내의 저감으로 감축실적 활용할 경우, 향후 계획기간에서 배출권의 할당에 영향을 줄 수 있다는 점도 상쇄배출권으로의 활용 수요가 더 높을 것으로 예측하게 하는 요소이다.

〈표 1〉 감축실정 인정 방식 구분

구분	온실가스 감축활동 인정방안	
	감축실정인정(전력배출계수 "0")	외부사업인정
방식	현재 전기구매량에 전력배출계수(0.4594)를 적용하여 배출량으로 산정 중이나, 재생에너지 활용 시 해당 전기에는 전력배출계수 "0" 적용 사례) 현행 할당기업이 자가용 재생에너지 설비를 설치하는 경우 자기발전량 만큼 전력배출계수 "0" 적용 (외부 구매 전력량 감소)	조직 경계 밖에서 추가성이 있는 감축활동 (재생에너지 사용, 고효율기기 설치, 연료 전환 등)을 하는 경우 외부사업으로 등록하여 배출권(KCU) 발행 사례) RPS의무이행에 활용하지 않은 경우 현행 배출권 인정 가능
절차	(활용기업) 구매전력량에 대한 전력배출계수 "0" 적용 (미활용기업) 기존 전력배출계수(0.4594) 유지	외부사업 신청 → 타당성 평가 → 승인 심의 → 결과 통보 및 상쇄등록부 등록 → 크레딧(KOC)부여 → 상쇄배출권(KCU) 전환
법적 근거	온실가스-에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, 배출권거래제 명세서 가이드라인	외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침 별표1
장점	명세서 작성 외에 별도 절차가 필요 없어 배출권 인정 절차가 간단	상쇄 배출권이 별도로 부여되어 다음 이행년도 배출권 할당량에 영향이 없음
단점	기업의 외부전기 소비량 감소로 기준배출량(베이스라인)이 감소하여 다음 이행년도의 배출권 할당 시 할당량 감소	외부사업 인정을 위한 모니터링 및 보고서 검증 비용이 발생하며, 승인까지의 소요시간 발생(평균 1년)

IV. 결론 및 정책적 시사점

재생에너지 발전 실적을 상쇄배출권으로도 사용할 수 있게 하자는 주장은, 그간 수익성을 높이기 위해 신재생에너지 사업자들로부터 지속적으로 요구되어 왔고, 반면에 상쇄배출권의 실질가치(integrity) 유지 혹은 온실가스 저감실적의 중복방지를 위한 당국의 끊임없는 줄다리기가 계속되었던 이슈였다. 그러나 본고에서는 앞서 논술한 근거에 기반하여 쟁점들에 대해 다음과 같이 결론 낼 수 있다.

먼저, 재생에너지 발전으로 상쇄배출권을 발급함으로써 사업자들에게 서로 다른 두 제도(ETS와 RPS)에서 수입원을 창출한다는 것 자체가 과도한 중복혜택이라는 것이 재생에너지 사업자들로 하여금 수입의 양자택일을 강요할 수 있는 근거가 될 수는 없다. 당국에서 흔히 사용해온 사업자에 대한 정책수혜의 과도함 여부는 주관적인 기준일 뿐 그 자체가 수입을

제한할 근거는 될 수 없기 때문이다. 실제로 두 제도의 각기 다른 목적(온실가스 저감, 재생에너지 확대)을 모두 충족시키고 있기 때문에 각기 목적에 맞는 크레딧이 발생할 수 있다는 주장은 여전히 유효하다. 마찬가지로 REC 발급분에 해당되는 상쇄배출권 추가 공급 시 배출권 시장 가격의 하락된다는 것도 재생에너지 사업자들의 권리를 제한할 근거로 사용될 순 없다.

그럼에도 불구하고, 현재 배출권거래제 할당 제도 하에서 재생에너지 사업자에게 상쇄배출권을 추가로 부여할 수 없는 이유는 다름 아닌 기존의 온실가스 로드맵 자체가 RPS 정책을 이미 담고 있는 상황 때문이다. 온실가스 로드맵에 근거한 배출권거래제의 할당 총량 역시 RPS 제도 등을 통한 온실가스 감축분을 이미 전제하여 정해졌기 때문에, 기존의 할당 총량을 건드리지 않고는 추가로 상쇄배출권을 인정할 수 없다. 만약 E-정책을 적용하여 재생에너지 사업자에게 상쇄배출권을 발급하고자 한다면, 이미 온실가스 로드맵이 RPS 정책으로 인한 온실가스 감축을 전제로 하지 않아야 가능하고, 만약 그렇지 않을 경우는 배출권 자체의 실질가치가 훼손되는 결과를 가져온다. 따라서 재생에너지 사업자들의 주장처럼 E-정책을 적용하고자 한다면, 온실가스 할당총량(할당배출권)이 RPS 정책 감안 이전보다 훨씬 강화되어 적용될 것이고, 할당총량의 감소분은 재생에너지 사업자들이 발급을 주장하는 상쇄배출권 총량과 같게 된다.

즉, 어떠한 방식이던 간에, 사실상 배출권의 전체 거래량은 동일하게 유지되고 다만 배출권 소유의 주체만이 달라질 것이기 때문에 배출권 시장의 공급량은 동일하고 가격에 미치는 영향도 이론적으로 중립적이다. 단지 전체 배출권 전체 공급량의 변화가 아닌 배출권의 분배에서 차이가 발생하는데, E-정책으로 인해 할당총량이 줄어들면 원칙적으로 할당조정계수만 전반적으로 엄격해질 것이기 때문이다. 만약 재생에너지 발전사업자가 기존 화석연료 사용자(자체건설) 였고 E-정책으로 인해 REC의 상쇄배출권으로의 재사용이 가능해진다 하더라도, 할당총량(할당조정계수)의 감소로 감축부담이 커지면서 재생에너지 발전으로 인한 규제 중복 수혜의

폭이 줄어들게 된다. 이러한 제도적 배경에 대한 이해를 바탕으로 재생에너지 사업자들의 주장 및 관계 당국의 입장이 배출권 할당단계에서부터 조율되어야 할 필요가 있다.

또한 최근 논의되고 RE100에서도 온실가스 감축 인정과 관련되어 RPS와 비슷한 양태를 보이고 있다. 가장 큰 차이점으로서 RE100은 기업의 자발적인 재생에너지 수요에서 발생한 발전사업이므로 RPS와 명확히 구분되고, 발전사업자들의 구매 의무가 없는 크레딧인 만큼 가격도 REC와 명백히 다를 것이기 때문에 법적 추가성에도 아무런 문제가 없어서 KOC로서의 재사용은 아무런 법상 하자가 없다는 점이다. 다만 한국에서 최근 정부 주도로 발표한 RE100 이행 방식이 RE100의 정의에 맞는 운영 방식인지에 대해 부정적이다. REC를 포기하는 식의 현실성 없는 옵션을 제외하고 대부분이 녹색프리미엄 제도로 운영될 것으로 예상되는 상황에서, 녹색프리미엄이 붙어서 판매된 전력이 실제로는 재생에너지에서 발생하지 않거나 혹은 과거에 이미 FIT 혹은 각종 신재생 보급사업에서 발생되어 RPS에서 소화되지만 많은 보조금 사업의 결과라는 점이다. 결국 추가성 조건이 훼손되기 때문에 녹색프리미엄을 주고 산 기업들도 국제 사회에 RE100을 이행했다고 공언하기 어렵다고 판단되는 상황이다. 게다가 재생에너지가 아닌 온실가스 방출이 일어나는 신에너지도 섞여 있는 상황이다. 자발성이 결여되어 자격 미달인 재생에너지 실적은 정부주도로 값싸게 양적으로 공급될 수는 있지만, 기업들이 구매한 것이 질적 측면에서 진품이라고 할 수는 없는 상황인 것이다. 추가성 조건을 충족한 재생에너지 발전 실적이 RE100 시장에서 거래될 때 그 가격을 상상해보면, 현재의 녹색프리미엄과의 가치 차이가 그 질적인 차이를 반영한다고 볼 수 있다.

■ 참고문헌 ■

- 배정환·강희찬, 2014, “기후변화 대응에 관한 혼합정책이 온실가스감축에 미치는 효과에 관한 실증연구,” 『자원·환경경제연구』, 23(4), pp.747-784, DOI: 10.15266/

KEREA.2014.23.4.747.

- 유종민·이지웅, 2019, “한국 배출권거래제 1 차 계획기간 중 배출권 차입한도 효과 분석,” 『한국기후변화학회지』, 10(1), pp.71-78, DOI: 10.15531/KSCCR.2019.10.1.71.
- _____, 2020, “온실가스 배출권 이월제한이 배출권 가격에 미친 효과,” 『한국기후변화학회지』, 11(3), pp.177-186, DOI : 10.15531/KSCCR.2020.11.3.177.
- 이충국, 2019, “신재생에너지 발전과 배출권거래제 연계방안: RPS 사업의 외부사업 인정 방안,” 『한국신재생에너지협회 2019 춘계학술대회 특별세션』, 부산 해운대드래프트호텔.
- 산업통상자원부, 2021.1.5., “21년부터 국내에서도 재생에너지 구매가 가능해진다!” 보도자료.
- Abrell, J. and H. Weigt, 2008, *The interaction of emissions trading and renewable energy promotion*, (Dresden University of Technology Working Paper no. WP-EGW-05), Dresden, Germany: Dresden University of Technology.
- Amundsen, E. S. and J. B. Mortensen, 2001, “The Danish green certificate system: some simple analytical results,” *Energy Economics*, 23(5), pp.489-509.
- Bird, L., C. Chapman, J. Logan, J. Sumner, and W. Short, 2011, “Evaluating renewable portfolio standards and carbon cap scenarios in the U.S. electric sector,” *Energy Policy*, 39(5), pp.2573-2585, DOI: 10.1016/j.enpol.2011.02.025.
- Böhringer, C. and K. E. Rosendahl, 2010, “Green promotes the dirtiest: On the interaction between black and green quotas in energy markets,” *Journal of Regulatory Economics*, 37(3), pp.316-325, DOI: 10.1007/s11149-010-9116-1.
- Chen, Y. and L. Wang, 2013, “Renewable portfolio standards in the presence of green consumers and emissions trading,” *Networks and Spatial Economics*, 13(2), pp.149-181, DOI: 10.1007/s11067-012-9176-0.
- del Río González, P., 2007, “The interaction between emissions trading and renewable electricity support schemes, An overview of the literature,” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(8), pp.1363-1390, DOI: 10.1007/s11027-006-9069-y.
- Fais, B., M. Blesl, U. Fahl, and A. Voß, 2014, “Analysing the interaction between emission trading and renewable electricity support in TIMES,” *Climate Policy*, 15(3), pp.355-373, DOI: 10.1080/14693062.2014.927749.
- Gawel, E., S. Strunz, and P. Lehmann, 2014, “A public choice view on the climate and energy policy mix in the EU—How do the emissions trading scheme and support for renewable energies interact?,” *Energy Policy*, 64, pp.175-182,

DOI: 10.1016/j.enpol.2013.09.008.

Hanemann, M., 2008, "California's new greenhouse gas laws," *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(1), pp.114-129, DOI: 10.1093/reep/remo30.

IAEA, 2006, *IAEA annual report for 2006*, Vienna: IAEA.

Sorrell, S., 2003, "Who owns the carbon? Interactions between the EU emission trading scheme and the UK renewable Obligation and energy efficiency committee, (SPRU Electronic Working Paper Series no. 100), Brighton: Science and Technology Policy Research, University of Sussex.

Thurber, M., T. Davis, and F. Wolak, 2015, "Simulating the interaction of a renewable portfolio standard with electricity and carbon market," *The Electricity Journal*, 28(4), pp.51-65, DOI: 10.1016/j.tej.2015.04.007.

Tsao, C., J. Campbell, and Y. Chen, 2011, "When renewable portfolio standards meet cap-and-trade regulations in the electricity sector: Market interactions, profits implications, and policy redundancy," *Energy Policy*, 39(7), pp.3966-3974, DOI: 10.1016/j.enpol.2011.01.030.

UNFCCC, 2010, *EB 52 Proposed agenda -Annotations annex 3*, https://cdm.unfccc.int/CDMNews/issues/issues/I_7PWHH9M03DSBCIIGZ4WWT8RVS2W7VA/viewnewsitem.html.

Unger, T. and E. O. Ahlgren, 2005, "Impacts of a common green certificate market on electricity and CO₂-Emission markets in the Nordic countries," *Energy Policy*, 33(16), pp.2152-2163, DOI: 10.1016/j.enpol.2004.04.013.

Yu, J. and H. S. Kim, 2021, "Internal carbon financing with transferable offsets from renewable portfolio standard," *The Energy Journal*, 42(2), pp.31-52, DOI: 10.5547/01956574.42.2.joyu.

유종민: University of Illinois at Urbana-Champaign을 졸업하고 현재 홍익대학교 경제학부에 재직 중이며 배출권거래제, 신재생에너지의무화제도, RE100, 미세먼지 규제책 등 환경 및 에너지 시장 정책에 대해 주로 연구하고 있다(yucono@hongik.ac.kr).

투 고 일: 2021년 02월 22일

심 사 일: 2021년 02월 23일

게재확정일: 2021년 03월 13일

우리나라 해상·해안국립공원 미래 연구 방향 도출: 장기 연구 경향 변화 분석을 중심으로*

Future Research Directions for Marine and Coastal National Parks in Korea:
Focusing on the Analysis of Changes in Long-Term Research Trends

천정윤** · 이현규*** · 김강선**** · 정주영***** · 김충기*****

Joungyoon Chun · Hyunkyu Lee · GangSun Kim · JuYoung Jung · Choong-Ki Kim

요약: 해상·해안국립공원은 생물다양성이 높고 독특한 자연경관을 보유하고 있으며, 국민에게 다양한 생태계서비스를 제공하고 있다. 그러나 육상생태계 중심의 국립공원 연구와 정책 추진은 해상·해안국립공원의 해양생태계 보전과 지속가능한 관리방안 마련에 어려움으로 작용하고 있다. 이에 본 연구는 국내외 학술DB를 활용하여 지난 20년간(1999~2018년) 국내 연구자가 수행한 해상·해안국립공원 관련 연구 경향 및 변화를 분석하고, 해상·해안국립공원의 미래 연구 방향을 제시하였다. 연구결과 국외에 비해 국내 해상·해안국립공원 연구 수가 부족하며, 2010년대 이후로 연구수는 정체된 것으로 나타났다. 학문분야로는 생물학과 생태학 등 자연과학적 연구가, 생태계별로는 조간대 및 조해대 등 해양생태계 연구가 부족한 것으로 분석되었다. 이러한 원인은 간헐적으로 실시되는 국가 예산에 의존한 해양조사, 사회경제적 이슈에 따른 연구 주제의 선택으로 추정된다. 연구 갭으로는 생물상과 종조성, 군집구조에 대한 연구에 비해 해상·해안국립공원에 특화된 연구, 기후변화 등 환경변화에 따른 해양생태계 영향, 타 분야와의 다학제적 연구가 부족한 것으로 나타났다. 따라서 미래 해상·해안국립공원 연구 방향으로 1) 해양생태계 종장기 모니터링을 통한 기초자료 확보, 2) 해양생태계 환경 변화 영향 평가, 3) 해양서식지 지도 구축, 4) 지표 기반의 적응형 관리체계 도입 연구, 5) 해양 보호구역 확대, 6) 해상·해안국립공원의 사회경제적, 생태적 효과 분석, 7) 해상·해안국립공원 운영 및 관리에 대한 연구를 제안한다.

핵심주제어: 해상·해안국립공원, 해양생태계, 연구 경향, 연구 갭, 관리 정책

Abstract: The marine and coastal national parks (MNP) of Korea are representative of Korea's marine ecosystem, have high biodiversity, unique natural scenery, and provide various ecosystem services to the public. However, due to the national park research and policies focusing on the conservation of terrestrial ecosystems, it has been challenging to conserve marine ecosystems and enact sustainable management policies for MNPs. This study analyzed long-term research trends related to Korean MNPs, conducted by domestic

* 본 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다(지능형 해양쓰레기 수거지원기술 개발, 과제번호 20200594). 본 논문은 한국환경정책·평가연구원에서 수행하였습니다(2021-019(R)).

** 주저자, 전북연구원 부연구위원

*** 공동저자, 축산환경관리원 사원

**** 공동저자, 한국환경정책·평가연구원 위촉연구원

***** 공동저자, 국립공원공단 덕유산국립공원사무소 자원보전과장

***** 교신저자, 한국환경정책·평가연구원 연구위원

researchers over the past 20 years (1999-2018), using domestic and international academic databases, and suggests future research directions for Korean MNPs. As a result of the study, it was found that the number of domestic MNP studies was insufficient compared to the research conducted overseas and that the number of studies has been stagnant since the 2010s. Regarding academic fields, it was found that the studies in the natural sciences, such as biology and ecology, were lacking and that marine ecosystem studies, such as on intertidal and subtidal zones, were insufficient for each ecosystem. This is presumed to be due to intermittent maritime surveys, which are dependent on national budgets and the selection of research topics based on socioeconomic issues. As for the research gap, it was found that the number of studies on MNPs was insufficient and that the effects of environmental changes, such as climate change, on marine ecosystems, as well as multidisciplinary studies with other fields were insufficient compared to studies focusing on biota, species composition, and community structure. Therefore, we propose the following for future MNP research directions: 1) Securing basic data through long-term monitoring of marine ecosystems, 2) Evaluating the impact of environmental changes in marine ecosystems, 3) Establishing a map of marine habitats, 4) Researching indicator-based adaptive management systems, 5) Expanding marine protected areas, 6) Analyzing socioeconomic and ecological effects of MNPs, 7) Researching specialized topics regarding MNP operation and management.

Key Words: Marine National Park, Marine Ecosystem, Research Trend, Research Gap, Management Policy

I. 서론

1968년 한려해상국립공원이 최초의 해상·해안국립공원으로 지정된 이후 62년이 지났다. 그동안 해상·해안국립공원은 해양경관이라는 독특한 자연경관과 함께 육지-도서-연안-해양의 연속생태계(eco-continuum)를 보유한 곳으로써, 우리나라 해양생태계를 대표하는 해양보호구역으로 자리매김해왔다(국립공원공단, 2018a). 또한, 탐방과 생태체험 등을 통해 국민들에게 다양한 생태계서비스를 제공하고 있다. 특히 2005년 이후 주 5일제가 시행되고 국민소득이 향상됨에 따라 한려해상, 태안해안, 다도해해상, 변산반도 4곳의 해상·해안국립공원 방문객이 지속적으로 증가하고 있다(임준형 등, 2014; 국립공원공단, 2018a, 2018b). 이러한 추세는 해양에 대한 일반인의 관심과 활동 증가로 앞으로도 계속될 것으로 보인다.

이처럼 해상·해안국립공원에 대한 생태적, 사회경제적 관심이 높아지

면서 해양생태계를 지속가능하게 보전하고 관리하기 위한 국가 정책도 많이 발전해 왔다. 1980년 「자연공원법」이 제정되면서 국립공원의 보전관리체계가 정립된 이래로 해양생태계 보전을 위한 인력, 예산, 제도 및 정책이 환경부와 국립공원공단을 중심으로 지속적으로 개발되고 추진되어 왔다. 2005년 이후로는 육상생태계 중심으로 수행되던 국립공원 자연자원조사에서 해역을 다루는 조사가 추가되었고, 이는 해양생태계 보전을 위한 기초자료를 확보하는데 기여하고 있다(국립공원공단, 2018a). 보전정책 분야에서는 2006년에는 해상·해안국립공원 관리 역량을 강화하기 위한 정책연구가 실시된 이래로(국립공원관리공단, 2006) 2018년에는 ‘제2차 국립공원 해양생태 보전 종합계획’이 수립되어 해상·해안국립공원의 독특한 특성을 반영한 관리정책이 시행되고 있다.

그러나, 이와 같은 노력에도 불구하고 국립공원 해양생태계 보전의 가시적 성과를 내는 데에는 한계가 있다는 지적이 많다. 전문가들은 아직도 육상생태계 보전 중심의 국립공원 보전관리 정책으로 인해 해상·해안국립공원의 특성에 맞는 체계적인 보전 정책과 사업 추진이 부족함을 지적하고 있다(안동만 등, 2010; 국립공원공단, 2018a). 국립공원공단 직원들을 대상으로 진행된 인터뷰 조사에서도 전담자 없이 육상과 해역의 조사·관리·보전 업무를 동시에 추진하는 현장 업무의 에로사항이 지적되고 있다(국립공원공단, 2018a). 해양생물과 해양생태계에 특화된 전문적이고 장기적인 조사·연구도 부족하다는 지적이 많다(안동만 등, 2010).

또한, 해상·해안국립공원에 대한 환경적·사회적 상황 변화도 공원 관리를 어렵게 하는 도전 요인이 되고 있다. 기후변화는 해수면 상승과 해양생물 서식지 상실 등 해양 환경을 근본적으로 변화시키고 있고, 최근에는 증가하는 해양쓰레기와 미세플라스틱으로 해양생태계의 건강성이 위협받고 있다. 특히 2020년 9월 현재 국내 4곳의 해상·해안국립공원 해안선에 쌓여있는 해양쓰레기는 약 1,758톤에 이르며(국민일보, 2020), 이 중에는 외국 기인 쓰레기뿐만 아니라 양식업 등 어업 활동에 따라 발생하는 폐어구도 많은 것으로 보고되고 있다. 사회적으로는 국민들의 여가에 대한 관

심 증대로 갯바위 낚시, 다이빙, 해변 걷기, 캠핑 등을 즐기기 위해 해상·해안국립공원을 방문하는 사람들이 증가하였고, 이에 따라 해상·해안국립공원에서 불법 쓰레기 투기 및 야영, 취사, 비법정 탐방로 이용 등의 위법행위 단속 건수는 늘어나고 있는 실정이다(국립공원공단, 2018a).

따라서 미래 해상·해안국립공원의 해양생태계를 지속가능하게 보전·관리하기 위한 역량을 강화하기 위해서는 현 상황을 종합적으로 파악하고, 앞으로 어떤 연구와 정책이 필요한지 점검이 필요한 시점이다. 특히 학계에서 해상·해안국립공원에 대해 어떠한 연구들이 진행되었는지 분석함으로써, 부족했던 분야가 무엇이고, 미래에 해양생태계 보전·관리를 위해 추진해야 할 연구 분야가 무엇인지 시사점을 도출할 필요가 있다. 그러나 전체 국립공원의 보전전략 도출과 육상국립공원의 생태계 보전 및 관리, 탐방에 대한 연구는 많지만, 해상·해안국립공원의 해양생태계 보전 및 관리에 대한 연구는 육상에 비해 적게 추진되어 왔다(이희원·염성진, 2019). 실제로 학술연구정보서비스를 제공하는 RISS(<http://www.riss.kr/index.do>)에서 ‘국립공원’을 검색하면 9,586건이 나오지만, ‘해상해안국립공원’은 276건으로 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다(한국교육학술정보원RISS 학술연구정보서비스).¹⁾ 또한 현재까지 어떤 연구들이 주로 추진되었는지, 전체적인 연구 경향(research trend)과 연구의 갭(research gap)을 종합적으로 분석한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 해상·해안국립공원에 대해 그동안 우리나라에서 어떤 연구들이 추진되어 왔는지, 부족한 연구 분야는 무엇인지 분석이 필요하다. 또한 해상·해안국립공원이 당면한 현재와 미래의 이슈에 대응하기 위한 정책 방향을 제시할 필요가 있다. 연구 경향 분석(research trend analysis)은 하나의 연구 분야에서 그동안 추진되어왔던 주요 연구 주제(이슈)들을 파악하고, 앞으로 진행되어야 할 연구 분야 또는 정책 방향에 대한 시사점을 제공할 수 있다(천정윤 등, 2018). 따라서 본 연구에서는 연구 경향 분석방법을

1) 2021년 3월 16일 검색결과이며, 검색 건수는 학위논문, 국내학술논문, 단행본, 연구보고서를 포함한다.

통해 우리나라에서 최근 20년간 국립공원의 해양생태계 보전과 관련하여 수행된 연구 주제와 장기 경향의 변화를 파악하고자 한다. 이로써 해상·해안국립공원에 대한 주요 연구 성과가 무엇인지, 부족했던 분야는 무엇인지 파악하고자 한다. 또한 미래 국립공원의 해양생태계 보전 정책을 추진하기 위해 필요한 연구 분야가 무엇인지 도출하고, 해양생태계와 해양국립공원 연구 활성화를 위해 필요한 정책 방향을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 분석 대상논문 선정

본 연구에서는 해상·해안국립공원의 연구 경향 대상논문을 선정하기 위해 일반적으로 한 분야의 학술연구 동향을 분석할 때 자주 활용되는 방법인 학술논문 데이터베이스에 게재된 논문을 검색 키워드를 활용하여 선정하는 방법을 활용하였다(강은지 등, 2010; 천정운 등, 2018; 이소연·유성은, 2019; 김영란 등, 2021). 과거에는 학술 분야의 연구 경향을 파악하기 위한 방법으로 해당 분야의 대표적인 전문 학회에서 발간하는 학술지에 게재된 학술논문을 심층 분석하는 방법이 자주 활용되어 왔다(천정운 등, 2018). 그러나 이러한 방법은 최근 증가하는 다양한 신규 학술지에 게재된 모든 논문을 반영하기 어려워 자칫 편향된 연구 경향 분석 결과를 이끌어낼 수 있다. 반면에 학술논문 데이터베이스를 활용하면 매년 일정 기준을 충족한 학술지의 논문이 업데이트되므로, 연구자가 인지하지 못한 논문도 빠짐없이 검색할 수 있다(천정운 등, 2018). 또한 관심 분야의 논문을 키워드 등을 통해 쉽게 검색하고, 초록과 원문까지 쉽게 다운로드할 수 있어 연구의 전반적인 경향을 파악하는데 용이하다.

따라서 국내·외 학술DB 서비스인 Science On(<https://scienceon.kisti.re.kr/>), RISS(<http://www.riss.kr>)와 ScienceDirect(<https://www.sciencedirect.com>)를 이용하여 연구 경향 파악 대상 논문을 검색하고 선별하였다. 검색

대상 논문은 국내(science on과 RISS)의 경우, 연구자가 전문 학술지에 게재한 학술논문(article)과 석·박사학위 논문(thesis)으로 한정하였다. 국외(ScienceDirect)의 경우, 연구 논문(research article)과 리뷰 논문(review article)으로 한정하였다. 학회 발표자료(conference proceeding), 소식지(communications), 일반 잡지에 게재된 자료는 일련의 심사 과정(peer-review)을 거쳤다고 보기 어려우므로 분석 대상에서 제외하였다. 논문 검색 방법으로는 국립공원 해양생태계와 관련한 키워드를 활용하였다. 국내 학술DB에서는 “국립공원”, “해양”, “해양생태계”, “해양생물다양성”을 검색어로 활용하였다. 국외 학술DB에서는 “Marine National Park”을 검색한 후, 세부 검색으로 연구 대상지역이 한국(Korea)이면서 국립공원(National Park)을 포함하고, 저자가 한국인인 논문을 선별하였다. 두 번 이상 중복 계수된 논문과 해상·해안국립공원과 관련성이 없는 논문은 분석 대상에서 제외하였다. 이러한 과정을 거쳐 최종 연구 대상으로 선정된 논문은 국내가 199개(NDSL 및 RISS)로 시간적 범위는 1999~2018년이였다. 국외는 “Marine National Park”로 검색한 논문 18,542개 중에서 범위 내 세부 검색과정(korea, national park 키워드 포함)을 거쳐 국내 연구자가 한국의 해상·해안국립공원에 대해 연구한 논문을 선별한 결과 총 10개(ScienceDirect)였으며, 시간적 범위는 2002~2018년이였다(〈표 1〉).

〈표 1〉 연구 경향 분석에 활용된 논문 건수

구분		기간	검색논문(건)	선별논문(건)	비율(%)
국내외 연구자 논문 (ScienceDirect)		1999~2018	26,964	18,542	69
국내 연구자 논문	국내학술지 논문 (NDSL, RISS)	1999~2018	199	199	100
	국제학술지 논문 (ScienceDirect)	2002~2018	14	10	71
	소계	-	213	209	98

2. 연구경향 비교 방법

본 연구는 <그림 1>과 같은 순서로 진행되었다. 첫째, 해상·해안국립공원과 관련하여 국내 연구자가 연구한 논문의 개수 및 시간적 변화를 전 세계 해양국립공원(marine national park) 논문의 개수 변화와 비교·분석하였다. 비교 대상으로 활용된 전 세계 해양국립공원 논문은 Science Direct에서 “Marine National Park”로 검색한 연구 논문(research article)과 리뷰논문(review article)으로 총 18,542개였다. 시간적 범위는 1999년부터 2018년까지 20년간이며, 시간 흐름에 따른 점진적인 연구 논문의 개수 변화가 있는지 파악하기 위하여 5년씩 4개 구간으로 나누어 분석하였다.

둘째, 학문 분야(academic field)별로 시간 흐름에 따른 연구 경향의 변화를 분석하였다. 학문 분야를 분류하는 방법은 다양하다. 본 연구에서는 한국학술진흥재단에서 제공하는 학술연구분야분류표를 참고하여(한국학술진흥재단, 2020) 해상·해안국립공원의 연구 대상 학문 분야를 생물학(biology), 생태학(ecology), 화학(chemistry), 기술(engineering), 법(law), 정책(policy), 사회경제(socio-economy), 문화(culture)의 8가지로 분류하였다. 한편, 학문 분야 외에도 세부적인 연구 분야(research field)별로 분석할 수 있다. 즉 생태조사(survey), 모델링, 지도구축, 서식지, 보호지역, 보호종(멸종위기종, 보호대상해양생물 등), 정보화(DB/시스템), 정책, 관광, 지역경제, 수산업, 인식, 교육, 시민참여 등으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 분류를 적용한 결과 특정 연구 분야에서 연구가 집중되고, 어떤 연구 분야에서는 연구가 적었다. 따라서 연구 분야별 구분 방식은 연구 경향 변화를 파악하는데 실익이 적다고 판단하였다.

셋째, 국립공원별 연구 논문 수 변화를 분석하였다. 우리나라에는 4개의 해상·해안국립공원이 있다. 태안해안과 변산반도는 서해역, 다도해해상은 서남해역, 한려해상은 남해역에 위치해 있으므로 각 공원이 위치한 해역의 생물다양성, 생태계 및 사회경제적 여건을 대변한다. 이는 각 국립공원별 연구 경향의 시간적, 내용적 변화를 파악함으로써 대상 공원에 대한 연구 경향과 함께 주변 해역에 대한 연구의 변화도 파악할 수 있음을

의미한다. 또한 특정 국립공원에 국한되지 않고 전 해상·해안국립공원을 포괄하는 연구도 추진되었다. 따라서 본 연구에서는 4개의 해상·해안국립공원(한려해상, 태안해안, 다도해해상, 변산반도) 및 공통의 5가지로 구분하여 국립공원별 연구 경향을 분석하였다.

넷째, 대상 생태계별 연구 논문 수 변화를 분석하였다. 우리나라 해양생태계는 밀물과 썰물이 미치는 영향 범위를 기준으로 조상대(supralittoral), 조간대(intertidal), 조하대(subtidal)로 크게 구분할 수 있다. 각각의 영역에서는 환경적 차이로 인해 타 영역과 구별되는 독특한 생물상이 분포하고, 그에 따른 해양 활동이 차별화되어 나타난다. 따라서 본 연구에서는 해상·해안국립공원의 공간적 영역을 조상대, 조간대, 조하대로 나누어 각 영역별로 어떤 연구들이 진행되었는지 분석하였다.

〈그림 1〉 연구 경향 분석 절차



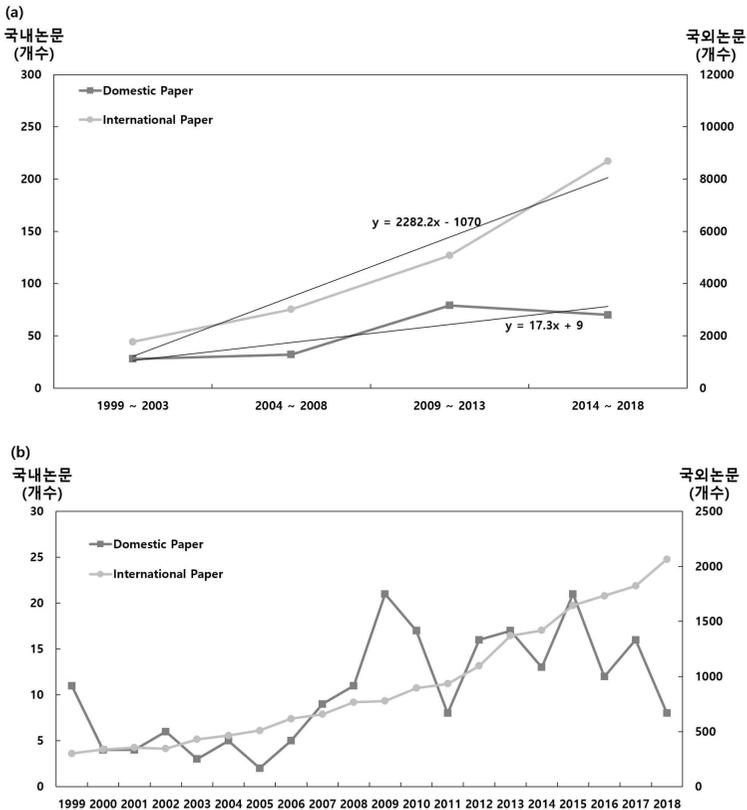
III. 결과

1. 국내외 논문 수 변화

국내 및 국외의 해상·해안국립공원 관련 논문 수를 분석한 결과는 〈그림 2〉와 같다. 5년 단위로 봤을 때 국내와 국외 모두 논문 수는 시간이 흐를수록 지속적으로 증가한 것으로 분석되었다(〈그림 2(a)〉). 다만 논문의 증가 속도는 국외가 국내에 비해 상대적으로 높은 경향을 보인 것으로 나

타났다. 하지만 1년 단위로 좀 더 세부적으로 분석한 결과에서는 국외와 국내의 논문 수 변화에 차이가 있는 것을 파악할 수 있었다. 국외는 1999년부터 2018년까지 지속적으로 논문 수가 증가한 것을 확인할 수 있었다(그림 2(b)). 반면에 국내는 논문 수의 변화 방향이 시간에 따라 다르게 나타난 것으로 파악되었다. 특히 2010년 이후로 연구 수는 정체된 것으로 분석되었다. 1999년부터 2005년까지는 지속적인 감소 경향을 나타냈으나, 2005년부터 2009년까지는 급격히 증가하였고, 이후 2010년부터 2018년까지는 연도별로 증가와 감소가 반복적으로 나타난 것을 확인할 수 있었다.

〈그림 2〉 국내외 해상·해안국립공원 관련 연구논문수 비교:
(a) 5년 단위 연구 수 변화, (b) 1년 단위 연구 수 변화



2. 연구 분야별 논문 수 변화

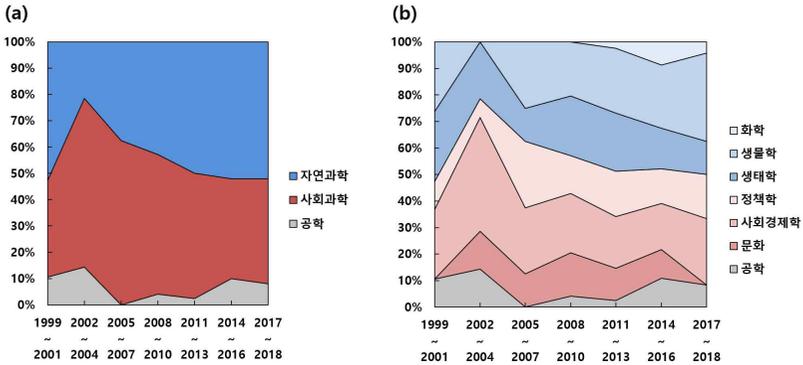
자연과학(화학, 생물학, 생태학), 사회과학(정책, 사회경제, 문화), 공학의 대분류로 구분한 결과는 <그림 3(a)>와 같았다. 자연과학은 초기(1999~2001년)에 비중이 52.3%로 높았으나 2002~2004년에는 21.4%로 감소하였고, 이후 증가하기 시작하여 2011년 이후로는 50% 이상의 연구 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 사회과학은 초기(1999~2001년)에 36.8%를 차지하였으나 2002~2007년에는 60% 이상으로 확대되었으며 2008년부터 감소하여 2014년 이후로는 40% 초반의 비중을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 공학 관련 연구는 1999~2004년까지 10~14%, 2014년 이후 약 8~11%의 비중을 차지한 것을 제외하면 2005~2013년까지는 0~4%로 연구 비중이 적었다.

<그림 3(b)>는 개별 학문별로 시간 흐름에 따른 연구 비중을 나타낸다. 1999~2001년에는 생태학과 생물학 및 사회경제와 관련된 연구가 동등한 비율(26.3%)을 차지하였으며, 정책(10.5%)과 공학(10.5%)에 관련된 연구가 나머지를 차지한 것으로 나타났다. 문화와 화학 관련 연구는 동 기간 동안 검색되지 않은 것으로 분석되었다. 2002~2004년에는 사회경제와 관련된 연구가 42.9%로 매우 높은 비중을 차지하였으며, 생태학(21.4%), 문화 및 공학(각각 14.3%), 정책(7.1%)의 순으로 연구된 것을 알 수 있었다. 2005~2007년에는 정책, 생물학, 사회경제 관련 연구가 각각 25% 비중을 차지했으며, 생태와 문화는 각각 12.5%를 차지하였다. 2008~2010년에는 생태와 사회경제가 각각 22.4%로 가장 높았으며, 생물학(20.4%), 문화(16.3%), 정책(14.3%), 공학(4.1%) 순으로 연구된 것으로 분석되었다. 2011~2013년에는 생물학(24.4%), 생태학(22.0%)이 높은 비중을 차지했으며, 사회경제(19.5%), 정책(17.1%), 문화(12.2%)의 비중을 차지하였다. 공학과 화학은 각각 2.4%로 비중이 낮은 것으로 나타났다. 2014~2016년에는 생물학(23.9%)가 가장 높은 비중을 차지했으며, 사회경제(17.4%), 생태학(15.2%), 정책(13.0%), 문화 및 공학이 각각 10.9%, 화학이 8.7%를 차지하였다. 2017~2018년에는 생물학이 33.3%로 가장 높았으며, 사회경제

(25.0%), 정책(16.7%), 생태학(12.5%), 공학(8.3%), 화학(4.2%)의 순으로 나타났다.

〈그림 3〉 학문 분야별 논문 수 변화:

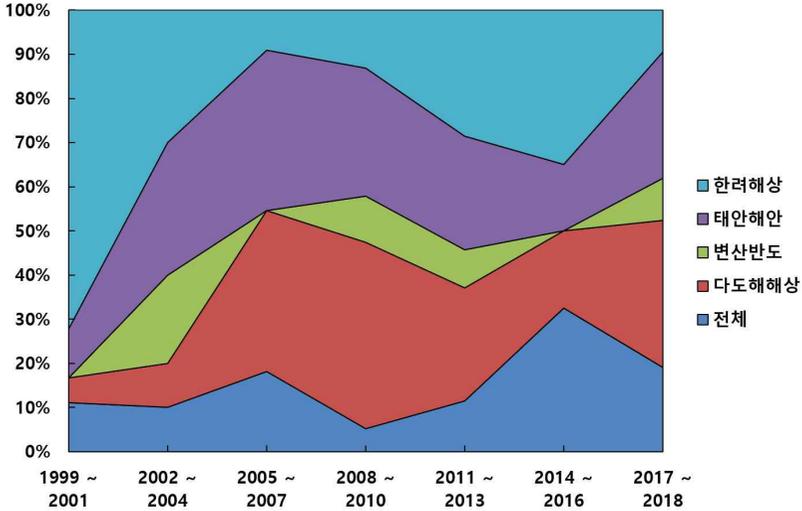
(a) 자연과학, 사회과학, 공학 분야별 논문 수 변화,
(b) 화학, 생물학, 생태학, 정책, 사회경제학, 문화, 공학 분야별 논문 수 변화



3. 대상 국립공원별 논문 수 변화

총 209건의 연구 중에서 대상 국립공원을 판별할 수 있었던 논문은 173개(82.8%)였으며, 시간 흐름에 따른 국립공원별 연구 경향을 분석한 결과는 〈그림 4〉와 같다. 분석 결과 초기(1999~2001년)에는 한려해상국립공원에 대한 연구가 약 3/4(72.2%)에 달하였으나, 이후 시간이 흘러 2005~2013년에는 한려해상국립공원에 대한 비중이 감소하고, 태안해안과 다도해해상국립공원에 대한 연구 비중이 과반을 넘게(51.4~72.7%) 차지한 것으로 나타났다. 이후 2011~2016년엔 다시 한려해상국립공원의 비중이 35%까지 높아졌으나 2017~2018년엔 9.5%까지 비중이 작아지고 다도해해상과 태안해안국립공원의 비중이 61.9%로 높아진 것으로 분석되었다. 변산반도국립공원은 타 해상·해안국립공원에 비해 연구 비중이 적은 것으로 분석되었다. 즉 2002~2004년에 20.0%의 연구 비중을 차지한 것을 제외하면 전반적으로 0~10% 안팎의 비율을 차지한 것으로 분석되었다.

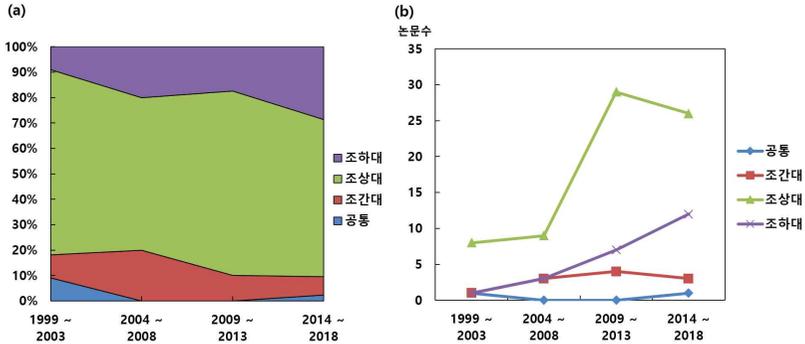
〈그림 4〉 대상 국립공원별 논문 수 변화



4. 대상 생태계별 논문 수 변화

총 209건의 연구 중 대상지역의 생태계를 구분할 수 있었던 연구는 108건 (51.7%)으로 나타났으며, 시간 흐름에 따른 대상 생태계별 연구 비중 및 연구 수의 변화는 〈그림 5〉와 같았다. 대부분 조상대 육역에 대한 연구가 높은 비중(60~73%)을 차지하는 것으로 분석되었다(〈그림 5(a)〉 참조). 조하대에 관한 연구는 9~29%로 적은 비중을 차지하고 있으며, 시간 흐름에 따른 변동이 있지만, 전반적으로 연구 수가 증가하는 경향을 나타냈다(〈그림 5(b)〉 참조). 특히 2014~2018년에는 28.6%(12건)를 차지하여 조상대(61.9%, 26건)의 절반에 가까운 수준으로 연구가 늘어난 것을 확인할 수 있었다. 조간대에 관한 연구는 2004~2008년(20%)을 제외하면 전 시기에 걸쳐 연구 비중이 10% 내외를 차지한 것으로 나타났으며, 2014~2018년에는 7.1%로 작은 비중을 차지하여 연구 비중이 감소한 것으로 분석되었다(〈그림 5(a)〉 참조). 조상대에서 조하대에 이르는 전 영역을 다룬 연구는 2건으로 나타났으며 전체 연구에서는 매우 낮은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다(〈그림 5(b)〉 참조).

〈그림 5〉 대상 생태계별 논문 수 변화:
 (a) 대상 생태계별 논문 비율(%), (b) 대상 생태계별 논문 수



IV. 고찰

1. 해상·해안국립공원의 연구 수 변화와 원인 분석

해상·해안국립공원에 대한 연구 수의 증가 및 감소 시점을 분석해 보면 국가 예산으로 실시하는 해양생태계 조사의 본격적인 시작 시점과 일치함을 파악할 수 있었다(〈표 2〉 참조). 즉, 2005년부터 2010년간의 연구 증가 기간은 국립공원공단에서 수행했던 제반 조사들의 시작 시점에 해당한다. 먼저, 국립공원 자연자원조사에서 해역 부분에 대한 조사와 연구가 2005년에 시작되었으며, 이후 국립공원 자원모니터링(2006년~), 국립공원 유·무인도서 조사(2006년~), 국립공원 핵심서식지 조사(2007년~), 허베이 스피리트호 유류유출사고 생태계 영향 장기 모니터링(2009년~)이 추가적으로 착수되었다(국립공원공단, 2018a). 반면에 2010년 이후의 증감이 반복된 시점에는 2015년에 시작된 국립공원 해양생태축 기본조사를 제외하면 연차별로 지속적인 예산이 투입되는 추가적인 조사 프로젝트가 시작되지 않았던 것으로 분석되었다(〈표 2〉 참조).

〈표 2〉 국립공원공단 수행 해양생태계 조사

구분	국립공원 자연자원조사	국립공원 자원모니터링	국립공원 유·무인도서 조사	국립공원 핵심서식지 조사	해베스 스피리트호 유류유출사고 생태계 영향 장기 모니터링	국립공원 해양생태축 기본 조사
목적	자원조사	공원 현안 반영한 지체 자원 모니터링	도서지역 환경/서식현황조사	국제보호종 서식 거점도서 연안 서식지 조사	공원 내 유류 유출 영향 조사	해양생태계 해양 환경/생물 조사
조사 기간	2005~현재 (육상: 1995~현재)	2006~현재(매년)	2006~현재(매년)	2007~현재(매년)	2009~현재(매년)	2015~현재(매년)
조사 항목	저서생태 (절지/연체/환형/ 해조류/해초류)	저서생태 (연성기질 저서무척 추동물, 경성기질 저서무척추동물, 해조류, 해초류)	저서생태 (조하대 연성·경성 /조간대 연성·경성 /해조류/해초류)	저서생태 (절지/연체/환형/ 해면·자포/해조류)	저서생태 (조하대연성/조하대경성/ 조간대연성/조간대경성/ 해조류/갈피류)	저서생태 (절지/연체/환형 /해조류/해초류)
조사 방식	정점	정점	정점	정점	정점	정점 조간대

자료: 국립공원공단, 2018a

이러한 연구 수의 변화 경향은 대상 국립공원 측면에서도 확인할 수 있다. 본 연구결과에서 각 국립공원의 연구 수의 증감은 약 10년을 주기로 변하는 것을 알 수 있었다(〈그림 4〉 참조). 즉, 한려해상국립공원은 두 번의 피크시점(1999~2001년, 2017~2018년)이 있었으며, 다도해해상국립공원과 태안해안국립공원은 2005~2013년에 비중이 높았다. 변산반도국립공원도 연구 수는 적지만 이러한 경향(2002~2004년 20%, 2008~2010년 10.5%, 2017~2018년 9.5%)을 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 기존에 국립공원 자연자원조사가 10년 주기로 실시되었던 점(이창래 등, 2012)과 연관성을 갖는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 연구 경향을 분석할 때 연구자들이 연구 대상 주제를 선정할 때 영향을 받는 요인 중 하나로 사회경제적 배경요인을 함께 고려해 볼 필요가 있다(강순주 등, 2012). 본 연구에서 학문 분야별 연구 비중의 변화는 이러한 사회여건의 변화를 통해 해석할 수 있다. 사회경제와 관련된 연구 비중이 높았던 2002~2007년은 1997년 말부터 이어진 경제위기에서 회복되고, 2002년 한일월드컵이 개최되었으며, 2003년부터 신행정수도 건설과 지역균형발전이 추진되었다. 또한 2004년에 주 5일제가 실시되었고,

2007년에는 국립공원 입장료가 폐지되었다. 따라서 여가에 대한 국민 관심이 증대되었고, 지역적으로 국내 관광이 활성화되었으며, 국가적으로 혁신도시 건설 등 지역경제 활성화에 관심이 증가했다. 따라서 해당 시기에 ‘2002년에 국립공원 이용객의 관광행태 연구(임재덕, 2002)’, ‘고창 수산물 축제의 관광상품개발(전인순, 2002)’, ‘한려해상국립공원 보전의 경제적 가치(곽승준 등, 2002)’, ‘안면도 국제꽃박람회의 지역경제 효과(이만희, 2002)’, ‘목포권 해양스포츠관광 개발 연구(박철수, 2003)’, ‘해안형국립공원의 휴양경험 영향요소(유기준, 2006)’, ‘서남권지역 해양스포츠 특성화 전략(김옥주, 2008)’ 등 다양한 사회경제 관련 연구가 이뤄져 이러한 사회적 배경과 무관하지 않음을 확인할 수 있었다.

2. 국내 해상·해안국립공원의 연구 갭 분석

연구결과 우리나라의 해상·해안국립공원에 대한 연구 수는 지난 20년간(1999~2018년) 213건으로, 단순 평균하면 연간 10여 건 정도이며, 개별 해상·해안국립공원당 평균 2.5건 정도인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전체 국립공원을 대상으로 한 연구와 비교했을 때 매우 적은 수치임을 알 수 있다. 국내 논문을 검색했던 RISS에서 ‘국립공원’ 키워드로 단순 검색한 논문 수는 4,122건으로 ‘해양’ 키워드로 결과 내 검색을 실시한 85건의 48.5배에 달했다(2021년 2월 16일 검색).²⁾ 이는 국외 논문의 검색 건수와 비교했을 때 더욱 분명하다. ScienceDirect에서 ‘national park’로 검색한 논문 수는 528,267건으로 ‘marine national park’의 49,761건의 10.6배에 불과한 것과 비교했을 때 매우 큰 차이라는 것을 알 수 있다. 더욱이 증가 추세인 국외 해양국립공원에 대한 연구 수(〈그림 2(a); 그림 2(b)〉 참조)와 비교한다면 이러한 차이는 앞으로 더욱 증가할 수 있을 것으로 판단된다. 일례로 세계적인 산호초 지대로 유명한 Great Barrier Reef Marine Park (GBRMP)는 ScienceDirect에서 검색한 결과 2016년부터 최근까지 950개

2) 같은 날짜에 science on에서 검색한 결과는 각각 3,563건과 76건이었다.

의 논문이 검색되었으며, 2013년 이후 매년 약 160~230여 개의 논문이 새롭게 발표되고 있는 것으로 파악되었다.

또한, 해상·해안국립공원을 대상으로 한 연구들도 해양생태계보다는 육상생태계를 대상으로 한 연구가 많았다. 본 연구결과 1999년부터 2018년까지 대상지역을 확인할 수 있었던 연구(n=108) 중에서 섬과 육역에 해당하는 조상대와 관련된 연구는 전체의 2/3 이상(72개)이었고, 내용적으로도 지질 및 지형, 식생 분포, 조류 서식현황 등 육상생태계와 관련된 내용이 대부분을 차지하고 있었다. 반면에 해양생태계에 해당하는 조간대와 조하대에 관한 연구는 연구 수가 상대적으로 적게(34개) 나타났다. 비록 최근 들어 조하대와 관련된 연구 수가 유동적이지만 점차 증가하는 경향을 보였으나, 조간대와 관련된 연구는 감소하였다(〈그림 5(b)〉 참조). 특히 조간대와 관련된 연구는 총 11개로 관련 연구가 타 생태계에 대한 연구에 비해 부족한 실정임을 확인할 수 있었다.

이처럼 우리나라에서 해상·해안국립공원에 대한 연구, 그 중에서도 해양생태계에 대한 연구가 많지 않은 원인 중 하나로 해양생태계 조사와 연구에 전담된 예산과 인력의 부족을 들 수 있다. 비록 지난 2005년부터 국립공원 자연자원조사에서 해양생태계에 대한 조사 및 연구과제들이 본격적으로 수행되기 시작했고, 그 결과 흰발농게(*Uca lactea*)와 같은 멸종위기 야생생물의 서식지를 파악하여 국립공원 특별보호구역으로 지정하는 등 일부 성과가 있었다. 그러나 국립공원공단에서 해양생태분야의 전담 인력은 육상에 비해 적다(국립공원공단, 2018a). 직접적으로 해양생태계 조사 및 연구 분야에 할당된 예산도 적은 실정이다(국립공원공단, 2018a).

연구의 내용 측면에서 보면 조사된 자료를 분석하는 기초 연구가 많은 것으로 파악되었다. 자연과학 분야 중 생물학과 생태학 분야는 〈표 2〉와 같이 정점 기반의 조사를 통해 수집된 자료를 토대로 생물상(최윤·장준호, 2007; 최창근, 2008; 박찬선 등, 2009)과 종조성(노형수 등, 2009; 최윤·이흥현, 2013; 안중관 등, 2017) 및 군집구조(윤건택 등, 2009; 서인수 등, 2010; 이창래 등, 2012; 김호연 등, 2015; 오지철 등, 2015; 오지철,

2017)를 파악하는 연구가 가장 많았다. 다음으로는 해양생태계 및 서식지 보전에 관한 연구(이찬구, 2004; 장은미 등, 2008; 최종관, 2015; 김철도·안중관, 2015)가 많이 수행된 것으로 분석되었다.

반면에, 기후변화 등 환경변화요인에 따른 중장기 해양생태계 영향, 타 분야와의 융합을 통한 다학제적 연구 등 응용 연구는 상대적으로 적었다. 2007년 발생한 유류오염 사고인 허베이스피리트호에 따른 생태계 영향과 회복에 대한 연구(정윤환, 2012; 이원호 등, 2019)가 일부 수행되었다. 해양생태계의 건강성에 관한 연구로는 최근에 플랑크톤, 해조류 군집 등을 통해 해양생태계의 건강성을 평가하는 연구가 진행되고 있으나(이창래 등, 2012, 2014; 김호연 등, 2015; 오지철 등, 2016), 우리나라 국립공원 해역 전체의 생태학적 특성을 평가하고, 해양생물의 분포와 서식지를 파악할 수 있는 기초자료는 부족한 실정이다(안동만 등, 2010; 이창래 등, 2012, 2014; 김호연 등, 2015).

이처럼 중장기 연구나 타 분야와의 융복합 연구 등 응용적 성격의 연구가 부족한 원인 중 하나로 양질의 조사자료가 부족한 점을 들 수 있다. 특별히 동일 정점을 대상으로 한 연구와 조사(모니터링)가 지속적으로 이뤄지지 않아 연구자들이 활용할 수 있는 자료가 부족한 것이 지적되고 있다(오지철, 2017). 이러한 문제를 해결하는 방법의 하나로 타 기관에서 수행되는 조사와 연계하는 방안을 고려해볼 수 있다. 해양수산부에서는 1990년대 후반부터 해양생태계 기본조사(2006~2014년, 415개 정점)와 연안습지 생태계조사(1999~2003년, 2006~2010년) 등 해양생물의 서식환경에 대한 기초조사를 수행해 왔다(해양수산부, 2007). 또한 2015년부터는 해양생태계 기본조사 등 4개 생태계 조사(연안습지 기초조사, 해양생태계 기본조사, 해양생물다양성 조사, 해양보호구역 조사·관찰)를 국가 해양생태계 종합조사로 통합하고, 조사주기를 2년으로 단축함으로써 시계열 자료 확보가 가능하게 되었다(해양수산부, 2019). 따라서 이러한 자료를 잘 활용하면 해양생태계 장기 모니터링 및 환경 영향 분석 등의 연구를 효과적으로 수행할 수 있다. 해양수산부와 협조하여 그동안 각 기관에서

축적한 조사 결과를 상호 공유하고, 연계 활용할 수 있도록 공통 조사항목을 마련함으로써 조사 비용과 시간을 절감하고, 연구성과를 제고하는 등 시너지를 발휘할 수 있을 것이다.

해상·해안국립공원이 해양생태계를 보전하는 대표적인 보호지역이라는 측면에서 봤을 때, 해양생태계의 건강성 유지와 생태적 기능 및 서비스 보전, 신규 구역 지정 및 면적 확대, 해양생태계에 특화된 운영 및 관리와 관련된 연구는 부족한 것으로 분석되었다. 정책 및 사회경제, 문화 측면에서 수행된 연구들을 본 연구의 분석 대상논문의 50%에 가깝지만(209건 중 101건) 내용은 이희원·염성진(2019)이 지적한 바와 같이 공원 전반의 시설 및 탐방수요 관리, 지역경제 활성화, 제도개선과 관련된 내용이 많았다. 해상·해안국립공원의 해양생태계 보전 및 운영관리와 관련된 연구는 총 31건의 정책 분야 연구 중 5건으로, 해안형 국립공원 보전체계 한·일 비교(Jo and Okano, 2003), 국립공원 생태계 자원 보전관리 방안(박민경, 2010), 해상국립공원 합리적 관리방안(송개일, 2010), 해양국립공원 보전시스템(최종관, 2015), 무인원격장비를 이용한 관리(이청재 등, 2016)에 불과하였다. 해양생태계를 보전하면서 장기적으로 어업생산을 유지할 수 있는 방안으로 거론되는 금어구역(no take zone) 지정(McCook et al., 2010; Fraser et al., 2019; 국립공원공단, 2018a)은 다뤄지지 않는 것으로 나타났다. 특별히 현재 해상·해안국립공원의 해양생태계 보전을 위한 관리체계 도입, 특별보호구역 지정 등 해양생태계 보전과 지역경제 활성화를 동시에 달성하기 위한 용도구역의 조정과 관련한 연구는 부족한 것으로 나타났다. 또한, 최근 해양수산부를 중심으로 배타적 경제수역까지를 공간 범위로 하는 해양공간계획(Marine Spatial Planning)이 추진되고 있지만(해양수산부 해양공간통합관리정보시스템), 해상·해안국립공원에서 해양공간계획에 따른 해양생태계 보전 방향 등에 대한 연구는 수행되지 않은 것으로 분석되었다.

마지막으로 해상·해안국립공원의 운영관리의 중요한 이해당사자인 지역주민과 민간의 인식에 대한 연구가 부족한 것으로 분석되었다. 보호지역을 관리하고, 나아가 관리구역을 확대하기 위해서는 어민들의 반발을

포함하여 지역주민들의 인식과 수용성이 매우 중요하다(해양수산부 보도 자료). 안동만 등(2010)은 해상·해안국립공원 보전 및 관리정책 실행의 주요 쟁점으로 지역주민과의 갈등을 언급한 바 있다. 최근에는 우도, 추자도 등 기존의 해상도립공원을 포함한 제주국립공원의 확대 지정 추진이 지역주민과의 갈등으로 지정이 지연되고 있다. 그러나 본 연구 대상 논문 중에서 해상·해안국립공원에 대한 주민 인식을 연구 주제로 다룬 논문은 없는 것으로 분석되었다.

3. 미래 해상·해안국립공원 연구 방향

본 연구에서는 그간 우리나라에서 수행된 20여 년간의 해상·해안국립공원 연구경향 분석과 고찰을 토대로 다음과 같이 여섯 가지의 연구 방향을 제시하고자 한다. 첫째, 조간대와 조하대에 서식하는 해양생물상과 군집구조에 대한 주기적인 중장기 모니터링을 통해 해양환경과 해양생태계 분석의 기초자료를 확보해야 한다. 이를 위해서는 현행 국립공원 해양생태계 조사체계의 변경이 필요하다. 동일 정점에 대한 장기적이고 지속적인 자료 축적이 가능하도록 장기 모니터링 조사 정점을 구축하고, 조사 주기를 단축해야 한다. 조사 정점을 선택할 때에는 주변 생태계에 대한 대표성(representativeness)이 확보되어야 하며, 타 생태계와 비교할 수 있는 참조점(reference site) 역할을 할 수 있는 정점을 선정할 필요가 있다. 또한, 예산과 인력이 많이 소요되는 해양생태 분야 연구 특성상 해양수산부에서 수행하는 국가 해양생태계 종합조사와의 연계를 통해 공통 조사항목을 마련하고, 조사 결과를 공동 활용할 필요가 있다. 아울러 국가 예산에만 의존하는 현행 조사방식으로는 이러한 중장기적인 조사 및 자료 구축을 감당하기 어렵다. 민간 해양조사 전문 기업의 역할과 참여 범위를 확대하고, 시민과학(citizen science)을 토대로 준전문가가 참여할 수 있도록 조사체계를 개선할 것을 제안한다.

둘째, 해양생태계에 미치는 다양한 환경변화 요인을 분석하고, 그 영향을 주기적으로 평가하여 지속가능한 국립공원 해양생태계 보전 및 관리방안을

수립하는데 활용해야 한다. UN은 SDGs 14번으로 ‘해양 및 해양자원의 보전과 지속가능한 이용’을 달성할 것을 천명하고 있다. 또한 CBD 등 국제사회는 인류가 생태계와 공존하고 지속가능발전을 달성하기 위해서는 생태계 중심의 사고, 즉 생태계 기반의 관리(Ecosystem Based Management; EBM)가 필요함을 제안하고 있다. 경제 발전과 해양에 대한 관심 증가에 따른 해양생태계에 대한 인간 영향(Halpern et al., 2008; Chun et al., 2020), 특히 해상공력, 연안 및 해양관광, 해양치유 등 다양한 해양활동 증가를 모니터링해야 한다. 선박통항정보(Automatic Identification System, AIS), 트위터, 블로그 등의 소셜빅데이터, 신용카드 매출정보 등의 빅데이터를 이용하여 사람들의 해양 방문 특성과 공간적 분포 경향을 파악하고, 해상·해안국립공원 내부의 어떤 장소에 압력이 집중되는지 평가가 필요하다(Chun et al., 2020; 김운정 등, 2020). 또한 공원별 해양생물상과 생태적 구조에 대한 기초자료와 인간의 해양활동을 대변하는 빅데이터 분석 자료를 융합하여 국립공원 해양생태계에 미치는 영향을 저감할 수 있는 관리방안을 도출할 수 있다. 나아가 해양생물자원과 해양생태계를 지속가능하게 보전하면서 우리가 누릴 수 있는 혜택은 극대화 할 수 있도록 해상·해안국립공원이 제공하는 공급, 조절, 문화, 지지 측면의 다양한 해양생태계서비스를 주기적으로 평가하여 적응형 관리(Adaptive Management)체제를 수립해야 한다.

셋째, 정밀한 해저지형과 해저기질을 바탕으로 한 해양 서식지 지도구축이 필요하다. 이를 위해서는 고해상도로 해양환경과 해양생물종 분포를 정밀하게 파악할 수 있는 기술이 요구된다. 특별히, 4차 산업혁명 기술로 떠오른 드론, 인공위성, 무인기, IoT 기술을 활용한 무인 해양생태계 조사가 필요하다(이청재 등, 2016). 미국과 유럽, 이스라엘은 이카루스(International Cooperation for Animal Research Using Space; ICARUS)³⁾ 팀을 통해 인공위성과 해양생물에 부착한 센서를 이용, 해양생물의 장거리 이동을 모니터링하고 있다(Lohmann, 2018). 우리나라도 2016년 해양수산부를 중심으로

3) 프린스턴대, 코펜하겐대, 예일대, 히브루대 과학자들이 모여 인공위성을 통해 바다거북 등의 전 지구적 이동을 관측하는 단체로, 2018년 국제우주정거장에 모니터링 안테나를 장착하고, 수집된 자료를 무브뱅크(MoveBank)에 공개할 예정이다.

무인해양조사체계 기본계획을 수립하고, 무인항공기(드론), 무인선박, 수중 글라이더, 웨이브글라이더를 해양조사에 활용하는 과제를 제시하고 있다. 우수한 해양생태계를 보유한 해상·해안국립공원에도 무인해양생태계 조사를 통해 해양조사 인력과 시간, 예산을 절감하고 고품질의 해양조사자료를 구축할 필요가 있다. 이를 활용하여 호주, 영국 등 해양강국처럼 영해 및 EEZ에 이르는 해역의 조간대와 조하대에 서식하는 해양생물의 서식지 지도를 구축하고(Australian Government, 2021), 해양생태계 서식지 보전 정책 수립에 활용해야 한다.

넷째, 해양생태계 보전을 위한 지표 기반의 적응형 관리체계 도입 연구가 필요하다. 호주 GBRMP에서는 생태계와 생물상에 대한 기초적인 연구결과를 토대로 지표체계를 통해 해양생태계의 상태(state)와 경향(trend)을 5년마다 주기적으로 평가하고, 추진 중인 생태계 관리 정책의 효과를 파악하여 개선 방향을 도출하고 있다(Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2014, 2020). 또한 산호초와 어류 및 바다거북과 돌고래 등 생태계에서 핵심적인 역할을 하는 보호종에 대한 연구, 해양생태계의 보전과 지속가능한 어업소득 증진을 위해 생태계 기반의 관리방법(ecosystem based management)인 적응형 관리(adaptive management) 체계 도입에 관한 연구(McCook et al., 2010; Day, 2008), no take zone의 지정 효과 등 행위 금지와 용도지구 조정과 관련한 연구(McCook et al., 2010; Fraser et al., 2019), 상업적 어업활동과 에너지 자원 및 관광 개발 등 다양한 해양이용행위간의 충돌을 조정하고, 높은 수준의 환경 보전과 다양한 범위의 인간 활동을 동시에 달성하기 위한 해양공간계획에 관한 연구(Day, 2008; Douvere, 2008)들이 수행되고 있다.

다섯째, 미래 해양보호구역 확대를 위한 연구가 필요하다. 해양은 유체로 이루어진 3차원의 공간으로 조수와 해류 등의 흐름이 있는 열린 공간으로(안동만 등, 2010), 효과적인 보전을 위해서는 근해에서 원해에 이르는 연속된 공간을 포괄할 수 있도록 대규모 해역의 해양보호구역 지정이 필요하다. 그러나 우리나라를 포함하여 세계 대부분의 해양보호구역은 연안 또는 근해에 지정되어있는 실정이다(최종관, 2015). 이러한 상황에서

CBD는 2020년 이후의 세계 생물다양성 보전을 위해 제시한 post 2020 Global Biodiversity Framework를 통해 육지와 해역 면적의 50%를 공간계획을 통해 관리하고, 이 중 30%는 절대적 보전지역으로 관리할 것을 요청하고 있다(SCBD, 2020). 최근 IUCN도 이러한 추세에 발맞춰 150,000 km² 이상의 대규모 해양보호구역(large marine protected area)의 설계와 관리에 대한 가이드라인 및 우수사례를 제시한 바 있다(Lewis et al., 2017). 우리나라에서도 육지에서 시작된 국토생태축과 비슷한 개념으로 해양생태축(marine ecological network)을 구축해야 한다는 시각도 있다. 더욱이 해상·해안국립공원은 육지-도서-연안-해양으로 연결된 우리나라의 대표 해양생태계로서 대규모 해양보호구역과 해양생태축의 핵심 거점 역할을 할 수 있다(국립공원공단, 2018a). 또한, 주변국의 해양영토 확장과 자원 점유에 대응하고, 2019년 부산 및 경남지역부터 수립되고 있는 해양공간계획(Marine Spatial Planning) 및 용도구역 지정에 선제적으로 대응하기 위해서는 생태적으로 중요한 가치를 가진 연안과 해양 서식지에 대한 해양보호구역 및 해상·해안국립공원 신규 지정이 필요하다. 이와 함께 2018년 현재 해상·해안국립공원 면적의 0.33%에 불과한 특별보호구역(국립공원공단, 2018a)을 확대 지정하기 위해서는 해조류 및 해초류 등이 서식하는 국립공원 핵심 서식지에 대한 조사 확대가 필요하다.

여섯째, 해상·해안국립공원의 사회경제적, 생태적 효과 분석 연구가 필요하다. 국립공원 지정의 핵심 이해관계자인 어민과 지역주민을 포함하여 잠재적인 보전 정책의 협력자가 될 수 있는 일반인과 학생들에게 해상·해안국립공원의 보전 가치를 이해시켜야 한다. 이를 위해서는 해상·해안국립공원을 지정한 후에 어떤 경제적 효과가 있었는지 과학적 조사자료를 제공하는 것이다. 일본에서는 대게를 보호하기 위해 수산자원보호구역을 지정한 4년 후 대게 양이 10~42%까지 증가했으며(Yamasaki and Kuwahara, 1990; 안동만 등, 2010), 미국과 세인트루시아(St. Lucia)의 해양보호구역 인근에서도 어획량이 90%까지 증가했음이 보고된 바 있다(Robert et al., 2001; 안동만 등, 2010). 따라서 우리나라도 해상·해안국립공원 지정으로

주변지역의 어업생산 증진과 생태계 보전에 어떤 혜택이 있는지를 과학적으로 조사하고 분석해야 한다. 이를 토대로 일반인에게 해상·해안국립공원 지정에 따른 사회적, 경제적, 환경적, 생태적 가치를 체계적으로 홍보할 필요가 있다.

일곱째, 해상·해안국립공원에 특화된 운영 및 관리방안을 마련하기 위한 연구가 필요하다. 이를 위해서는 우선 해상·해안국립공원의 대부분의 면적을 차지하는 해양공간과 해양생태계에 대한 보전관리 현황에 대한 심층 분석이 필요하다. 2000년대 중반 이후 실시된 기존의 해양생태계 조사 및 연구 결과를 분석하여 실제 해양생태계 관리체계 개선에 활용되고 있는지 점검이 필요하다. 또한 현행 해양생태계 보전·관리 인력 및 조직, 예산 분석, 국립공원공단 관계자 심층 인터뷰 등을 토대로 현행 관리체계의 적정성과 한계점을 파악해야 한다. 또한, 미래 해상·해안국립공원에 대한 환경적·사회경제적 정책 패러다임의 변화 경향을 모니터링하고, 해상·해안국립공원의 운영·관리체계의 대응 방향을 해양생태계 보전 정책 측면과 국립공원의 운영관리 측면에서 구체적으로 제시할 필요가 있다.

마지막으로 해상·해안국립공원에 대한 연구를 활성화하기 위해서는 연구에 제약으로 작용하는 문제의 해결을 통해 연구자가 쉽게 해상·해안국립공원에 대한 연구를 추진할 수 있도록 지원하는 전략이 필요하다. 현재 육상생태계와 국립공원내 해역은 환경부와 국립공원공단에서, 동·서·남해 전 해역은 해양수산부가 관리하고 있다. 따라서 전체 해역에 대한 조사 및 연구를 수행하는 해양수산부와 국립공원 내에 한정된 해역을 촘촘하게 관리하는 국립공원공단의 조사 및 연구 방식에는 차이가 있는 실정이다. 나아가 해양생태계에 특화된 용도구역 지정과 행위제한 등 관리체계 수립, 어업소득과 생태관광 등 지역주민에 대한 직·간접적 경제효과 제고, 공원관리에 대한 이해관계자 참여, 신규 보호지역 지정면적 확대에도 어려움이 상존한다. 특별히 육상-도서-연안-해양으로 이어지는 연속생태계의 생태적 구조와 기능을 파악하고, 해상·해안국립공원에 특화된 보전전략을 수립하는데 한계가 있다. 따라서 관계부처의 협력을 통해 해상·해안

국립공원 해양생태계 보전을 위한 정책 협의체 구성·운영, 해양생태계 조사 인력과 장비의 공동 활용, 조사 방법의 표준화가 필요하며, 연구자를 포함한 일반인에게 조사 결과를 신속하게 공개할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 우리나라 최대의 해양보호구역이지만 기후변화와 탐방객 증가 등 환경적·사회경제적 변화에 따른 해양생태계 보전 위협에 직면한 해상·해안국립공원에 대해 국내 연구자들이 지금까지 수행한 연구의 전체적인 경향을 파악하고자 수행되었다. 연구결과 국내 연구자들의 해상·해안국립공원에 대한 전반적인 연구수가 부족하며, 2010년대 이후 연구수가 정체되고 있고, 환경변화에 따른 해양생태계 영향, 타 분야와의 융복합 연구가 부족한 것을 밝혀내었다. 이러한 결과를 통해 미래 해상·해안국립공원의 연구 방향 7가지와 연구 활성화를 위한 지원사항을 제시하였다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계가 있다. 첫째, 연구 경향의 시간적 변화와 그 원인을 국가 예산으로 수행되는 해상·해안국립공원의 연구 주기와의 인과성을 중심으로 서술하였다. 투입 예산과 연구 개수 등의 정량적인 관계성을 분석하고 증명하는 데에는 한계가 있었다. 둘째, 육상국립공원과 해상·해안국립공원 연구의 차별성을 분석하는 데엔 한계가 있었다. 해상·해안국립공원은 육지-도서-연안-해양으로 어어진 연속생태계를 보유하고 있으며, 해양공간을 보유하고 있어 육상국립공원과 조사, 연구, 관리체계에 차이가 있다. 그러나 본 연구에서는 육상국립공원 조사·연구와의 비교분석을 통해 우리나라 해상·해안국립공원 조사·연구가 가진 유사점과 차별성을 밝혀내진 못하였다.

따라서 향후 해상·해안국립공원 관리자에게 추가적인 정책적 시사점을 제공하기 위해서는 다음과 같은 연구가 필요하다. 첫째, 개별 해상·해안국립공원별로 조사 및 연구에 투입된 예산자료를 분석하여 연구 수의 증

감과 투입 예산과의 관계성을 정량적으로 분석할 필요가 있다. 둘째, 육상 국립공원과 해상·해안국립공원 조사·연구의 비교분석을 통해 유사점과 차이점을 분석하고, 국립공원 관리에 있어서 중요한 국립공원 경계 및 용도구역 설정 기준 도출, 국립공원 지정에 따른 사회경제적 편익 비교, 국립공원의 생태계서비스 가치 평가 등의 연구 방향을 제시하는데 활용될 필요가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 강순주·김진영·함선익, 2012, “공동주택 커뮤니티 관련 연구들의 시대적 경향분석과 사회적 배경 요인들과의 관계,” 『한국주거학회지』, 23(4), pp.19-31, DOI: 10.6107/JKHA.2012.23.4.019.
- 강은지·조중현·김용근, 2010, “연구제목을 통해 살펴본 농촌관광 연구경향,” 『농어촌관광연구』, 17(3), pp.163-202.
- 곽승준·유승훈·조승국, 2002, “한려해상국립공원 보존의 경제적 가치: 조건부 가치측정법(CVM)을 이용하여,” 『경제학연구』, 50(2), pp.85-104.
- 국민일보, 2020.10.21., “총 1758t, 처리에만 3년… 쓰레기 몸살 앓은 해상국립공원,” <http://news.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=0924161052&code=11131100>.
- 국립공원관리공단, 2006, 『해상·해안국립공원 관리역량 강화방안 연구』, 서울: 국립공원관리공단.
- 국립공원공단, 2018a, 『제2차 국립공원 해양생태계 보전 종합계획(2019~2029) 수립 연구』, 원주: 국립공원공단.
- _____, 2018b, 『2018년 국립공원 기본통계』, 원주: 국립공원공단.
- 김옥주, 2008, “서남권지역의 해양스포츠 특성화 전략,” 박사학위논문, 조선대학교, 광주.
- 김영란·김대건·김형준·조미형, 2021, “농촌관련 사회복지 연구의 경향과 쟁점: 사회복지학분야 학회지 게재 논문을 중심으로,” 『비판사회정책』, 70, pp.73-99, DOI: 10.47042/ACSW.2021.02.70.73.
- 김윤정·김충기·김강선, 2020, “해양공간계획 수립을 위한 방문밀집도 및 중점관리지역 규명: 소셜 빅데이터를 활용하여,” 『환경영향평가』, 29(2), pp.122-131, DOI: 10.14249/eia.2020.29.2.122.
- 김호연·김병국·김응권·김철도·정장방·이창래, 2015, “2014년 한려해상국립공원 주변 해역에 분포하는 중형동물플랑크톤 군집의 시공간적 변동,” 『국립공원연구지』, 6(2), pp.91-102.

- 김철도·안중관, 2015, “중요 해양생물서식지(해초지) 보전을 위한 제안,” 『국립공원연구지』, 7(3), pp.161-168.
- 노형수·육관수·황학빈·이태원, 2009, “태안 해빈 천해 어류 종조성의 계절 변화,” 『바다 : 한국해양학회지』, 14(3), pp.145-154.
- 박민경, 2010, “한국 국립공원 생태계 자원 보전을 위한 효율적인 관리방안,” 석사학위논문, 건국대학교, 서울.
- 박찬선·이건웅·조용성·김광봉·오장근·황은경, 2009, “한국 남서해안 다도해 해상국립공원의 하계 해조상,” 『환경생물』, 27(3), pp.252-260.
- 박철수, 2003, “목포권 해양스포츠관광 개발에 관한 연구,” 박사학위논문, 전남대학교, 광주.
- 서인수·최병미·윤재성·김दै익·이종욱·황철희 등, 2010, “우이도 주변해역 조하대에서 춘계와 추계에 서식하는 대형무척추동물의 군집구조,” 『환경생물』, 28(3), pp.133-142.
- 송개일, 2010, “해상국립공원의 합리적인 관리방안에 관한 연구 : 다도해해상국립공원 관리실태를 통한 합리적 방안 도출,” 석사학위논문, 호남대학교, 광주.
- 안동만·허병영·이지영·윤민호·신민중·최종관, 2010, “해상·해안 국립공원 관리실태 및 개선방안 연구,” 『국립공원연구지』, 1(1), pp.13-28.
- 안중관·유경동·오지철·이재일·윤희동·김영환, 2017, “서해안 태안반도 해조군집의 종조성과 수직분포,” 『한국수산과학회지』, 50(1), pp.55-64, DOI: 10.5657/KFAS.2017.0055.
- 오지철·안중관·김철도·정장방·최한길, 2015, “한국 남해안 한려해상국립공원의 계절별 해조상 및 군집구조 변화,” 『한국수산과학회지』, 48(5), pp.768-775, DOI: 10.5657/KFAS.2015.0768.
- 오지철·최한길·김철도·안중관, 2016, “해조류 군집지수에 기초한 해양국립공원의 생태학적 평가,” 『한국수산과학회지』, 49(3), pp.385-392, DOI: 10.5657/KFAS.2016.0385.
- 오지철, 2017, “해양국립공원의 동계 해조상 및 군집구조 변화,” 『국립공원연구지』, 8(1), pp.24-28.
- 유기준, 2006, “해안형국립공원에서의 휴양경험의 영향요소와 휴양만족에 관한 연구 - 태안해안국립공원을 중심으로,” 『한국환경생태학회지』, 20(1), pp.20-28.
- 윤건탁·서인수·김광봉·최병미·손민호, 2009, “한려해상국립공원 조하대 해역 대형저서동물의 군집구조,” 『환경생물』, 27(1), pp.124-133.
- 이만희, 2002, “안면도국제꽃박람회 지역경제에 미친 효과에 관한 연구,” 석사학위논문, 한남대학교, 대전.
- 이소연·유성은, 2019, “장애인 공간 관련 국내 선행연구 경향 분석,” 『한국생활과학회지』, 28(3), pp.289-303, DOI: 10.5934/kjhe.2019.28.3.289.

- 이원호·김형섭·조수근, 2019, “태안해안국립공원 인근의 허베이스피리트 사고를 포함한 유류유출 해역의 식물플랑크톤 생태계 1. 하계 식물플랑크톤 군집의 연변동,” 『Ocean and Polar Research』, 41(1), pp.1-10, DOI: 10.4217/OPR.2019.41.1.001.
- 이찬구, 2004, “인천 연안 갯벌의 환경친화적 보존에 관한 연구,” 석사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 이창래·김성용·이병관·노형수·정주학·송성준 등, 2012, “다도해해상국립공원 칠발도 및 여서도 해역의 해황과 동물플랑크톤 군집 특성,” 『국립공원연구지』, 3(3), pp.64-74.
- 이창래·정주학·김호연·김병국·정장방, 2014, “한려해상국립공원에 출현하는 동물플랑크톤의 분포특성,” 『국립공원연구지』, 5(4), pp.123-129.
- 이청재·이창래·김철도, 2016, “해상·해안국립공원관리를 위한 무인원격장비의 활성화 방안,” 『국립공원연구지』, 7(4), pp.203-210.
- 이희원·염성진, 2019, “국립공원 기초통계자료분석을 기반으로 한 해상·해안형 국립공원 관리운영개선에 대한 기초 연구,” 『한국환경과학회지』, 28(9), pp.751-763.
- 임재덕, 2002, “국립공원 이용객의 관광행태에 관한 연구,” 석사학위논문, 경기대학교, 서울.
- 임준형·이광배·모수원, 2014, “한려해상국립공원의 탐방행태,” 『한국도서연구』, 26(2), pp.131-143.
- 장은미·박경·채희영, 2008, “GIS기법을 이용한 다도해국립공원의 수달 서식가능지 분석과 지역개발 정책에 관하여,” 『한국GIS학회지』, 16(3), pp.343-357.
- 전인순, 2002, “수산물 축제의 관광상품개발 전략에 관한 연구 : 고창수산물 축제를 중심으로,” 석사학위논문, 경기대학교, 경기.
- 정윤환, 2012, “유류오염 이후 태안 연안 암반조간대 생태계 변화 및 회복 양상,” 박사학위논문, 순천향대학교, 서울.
- 천정운·강보식·김충기, 2018, “국내외 해양 기름유출 연구 비교: 심층 문헌조사를 통한 장기 경향 분석,” 『한국해양환경·에너지학회지』, 21(1), pp.30-39, DOI: 10.7846/JKOSMEE.2018.21.1.30.
- 최윤·장준호, 2007, “서해 태안해안국립공원 조간대의 어류상,” 『환경생물』, 25(4), pp.297-302.
- 최윤·이흥헌, 2013, “태안해안국립공원 모항 암반조간대 웅덩이의 어류 종조성과 수직 분포,” 『한국어류학회지』, 25(4), pp.227-233.
- 최종관, 2015, “외국 해양국립공원 보전시스템과 생태계서비스를 우리나라 해양국립공원 적용과 미래전략 과제 연구,” 『국립공원연구지』, 6(1), pp.40-60.
- 최창근, 2008, “한려해상국립공원의 해조상,” 『한국수산학회지』, 41(5), pp.371-380.
- 한국학술진흥재단, 2020, 『학술연구분야분류표』, 대전: 한국학술진흥재단.

- 해양수산부, 2007, 『해양생태계 보전·관리 기본계획』, 경기 과천: 해양수산부.
- _____, 2019, 『제2차(2019~2028) 해양생태계 보전·관리 기본계획』, 세종: 해양수산부.
- _____, 2019.12.16., “해수부, 충남 가로림만 해양보호구역 확대한다,” 보도자료.
- Chun, J., C. K. Kim, G. S. Kim, J. Jeong, and W. K. Lee, 2020, “Social big data informs spatially explicit management options for national parks with high tourism pressures,” *Tourism Management*, 81, 104136, DOI: 10.1016/j.tourman.2020.104136.
- Day, J., 2008, “The need and practice of monitoring, evaluating and adapting marine planning and management—Lessons from the Great Barrier Reef,” *Marine Policy*, 32(5), pp.823-831, DOI: 10.1016/j.marpol.2008.03.023.
- Douve, F., 2008, “The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management,” *Marine Policy*, 32(5), pp.762-771, DOI: 10.1016/j.marpol.2008.03.021.
- Fraser, K. A., V. M. Adams, R. L. Pressey, and J. M. Pandolfi, 2019, “Impact evaluation and conservation outcomes in marine protected areas: A case study of the Great Barrier Reef Marine Park,” *Biological Conservation*, 238, 108185, DOI: 10.1016/j.biocon.2019.07.030.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority (GBRMPA), 2014, *Great barrier reef outlook report 2014*, Townsville: GBRMPA.
- Halpern, B. S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Micheli, and C. D'Agrosa et al., 2008, “A global map of human impact on marine ecosystems,” *Science*, 319, pp.948-952, DOI: 10.1126/science.1149345.
- Jo, T. D. and T. Okano, 2003, “Comparison between conservation system of a coastal type of National Park of Korea and Japan - Focused on Taean-Haean National Park -,” *Journal of the Environmental Sciences*, 12(2), pp.151-155.
- Lewis, N., J. C. Day, A. Wilhelm, D. Wagner, C. Gaymer, and J. Parks et al., 2017, *Large-Scale marine protected areas: Guidelines for design and management*, (Best Practice Protected Area Guidelines Series, No. 26), Gland, Switzerland: IUCN.
- Lohmann, K. J., 2018, “Animal migration research takes wing,” *Current Biology*, 28, R952-R1008, DOI: 10.1016/j.cub.2018.08.016.
- McCook, L. J., T. Ayling, M. Cappo, J. H. Choat, R. D. Evans, and D. M. De Freitas et al., 2010, “Adaptive management of the Great Barrier Reef: A globally significant demonstration of the benefits of networks of marine reserves,” *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107,

pp.18278-18285, DOI: 10.1073/pnas.0909335107.

Roberts, C. M., J. S. Bohnsack, F. Gell, J. P. Hawkins, and R. Goodridge, 2001, "Effects of marine reserves on adjacent fisheries," *Science*, 294, pp.1920-1923, DOI: 10.1126/science.294.5548.1920.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD), 2020, *Update of the zero draft of the post-2020 global biodiversity framework*, Montreal: CBD, <https://www.cbd.int/conferences/post2020/post2020-prep-01/documents>.

Yamasaki, A. and A. Kuwahara, 1990, "Preserved area to effect recovery of overfished Zuwai crab stocks off Kyoto Prefecture," *Proceedings of the International Symposium on King and Tanner Crabs*, Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska, pp.575-585.

한국교육학술정보원 RISS 학술연구정보서비스, <http://www.riss.kr/index.do>, [2021.3.22]

해양수산부 해양공간통합관리정보시스템, <https://www.msp.go.kr>, [2021.3.22]

Australian Government, 2021, "Seamap Australia - A national seafloor habitat classification scheme," <https://data.gov.au/dataset/ds-aodn-4739e4b0-4dba-4ec5-b658-02c09f27ab9a/details?q=>, [2021.5.17]

Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2020, "Our programs and projects," <http://www.gbrmpa.gov.au/our-work/our-programs-and-projects>, [2021.5.17]

Science On, <https://scienceon.kisti.re.kr/>, [2021.5.17]

ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com>, [2021.5.17]

천정윤: 고려대학교 대학원에서 이학 박사학위를 취득하고 현재 전북연구원에서 부연구위원으로 재직 중이다. 인간이 환경에 주는 다양한 영향요인을 자연과학과 사회과학적 방법을 통합하여 분석하고, 산림, 도시, 농촌, 해양 등 다양한 공간단위에서 국가와 지역 사회가 해결해야 할 과제를 제시하는 연구를 수행하고 있다(jychun@jthink.kr).

이현규: 현재 축산환경관리원 자원이용부 사원으로 재직 중이며, 토양오염 및 축산환경정책 관련 연구를 수행하고 있다(leehg@ilem.or.kr).

김강선: 고려대학교 대학원에서 이학 석사학위를 취득하고 현재 한국환경정책·평가연구원에 근무 중이다. 생태계단위나 경관단위의 생태계를 공간정보로 설명하는 것에 관심이 많다. 최근에는 SNS 데이터와 공간정보를 활용하여 해양생태관광을 표현하는 연구를 수행하고 있다(gskim@kei.re.kr).

정주영: 현재 국립공원공단 덕유산국립공원사무소에서 자원보전과장으로 재직 중이며, 화학해양학 및 보호구역관리 전문가로서 해양환경정책과 해양환경보전분야 연구를 수행하고 있다(aqua02@knps.or.kr).

김충기: 미국 South Alabama 대학교에서 해양과학으로 박사학위를 취득하고 스탠퍼드대학교에서 박사후 연구원을 지냈으며, 현재 한국환경정책·평가연구원 자연환경연구실에서 연구위원으로 재직 중이다. 생태계서비스와 인공지능, 빅데이터를 활용하여 육상과 해양 환경을 지속가능하게 관리하는 방안을 마련하는 연구를 수행하고 있다(ckkim@kei.re.kr).

투 고 일: 2021년 02월 20일
심 사 일: 2021년 03월 08일
게재확정일: 2021년 03월 15일

도로용 3종 건설기계 통행발생 특성 분석*

Analysis of Trip Generation Characteristics for Three Different Types of Construction Vehicles

한진석**

Jin-seok Hahn

요약: 본 연구에서는 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 분석하기 위하여 서열로짓모형 기반의 통행발생 모형을 추정하였다. 모형 추정 결과 도로용 3종 건설기계의 통행발생 특성은 차종별 활동지역별로 상이하며, 차종별로는 주된 운송품목과 운송거리 변경, 출발지 및 도착지 유형이 상이한 것을 알 수 있다. 이는 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3종 건설기계를 하나의 수단으로 고려할 것이 아니라 차종별로 구분해야 할 필요가 있음을 의미한다. 또한 활동지역별로는 비수도권에서 활동하는 차량의 운송거리 변경이 수도권 차량보다 넓은 것으로 나타나 배출량과 같이 운송거리가 반영되어야 하는 기초자료 산정 시 차종별 특성 뿐 아니라 주 활동지역에 대한 고려도 검토가 필요하다.

핵심주제어: 도로용 3종 건설기계, 오염물질, 배출량, 통행발생 특성, 서열로짓모형

Abstract: This study assessed the trip generation model based on the ordered logit model to analyze the trip generation characteristics for three types of construction vehicles. The assessment indicated that the trip generation characteristics of these vehicles vary between the various operating areas of different types of vehicles. They also differ in terms of the major freight items they transport and the areas in which they operate. These differences, and others not listed here, indicate that construction vehicles and machinery should be divided into separate categories instead of being considered a single entity when developing a policy to reduce the emission of pollutants from the transportation sector. Obviously, vehicles that are operated in non-metropolitan areas must cover a larger area than vehicles that are operated exclusively in metropolitan areas. This distinction requires us to consider the main operating areas in addition to the characteristics of different vehicles when estimating basic data for the vehicles, such as the amount of emissions associated with the distance the vehicles travel.

Key Words: Three Different Types of Construction Vehicles, Pollutant, Emission, Trip Generation Characteristics, Ordered Logit Model

* 본 논문은 한국환경정책·평가연구원의 2020년도 일반과제 「미세먼지 통합관리 전략 수립 연구(GP2020-12)」의 지원으로 수행되었습니다.

** 한국환경정책·평가연구원 연구위원

I. 서론

건설기계는 「건설기계관리법」에 따라 건설공사에서 사용할 수 있는 기계로서 대통령령으로 정하는 것을 의미한다. 이 중 도로 주행이 빈번한 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프는 「대기환경보전법 시행규칙」의 자동차 분류 체계 중 화물자동차에 포함되어 있으며, 화물자동차와 동일한 배출허용기준(제작차 및 운행차)을 적용받기 때문에 통상적으로 도로용 3종 건설기계로 언급된다. 2020년 9월 기준 해당 차종의 등록대수는 89,629대(덤프트럭 56,854대, 콘크리트믹서트럭 26,254대, 콘크리트펌프 6,521대)로 전체 건설기계 등록대수(515,716대)의 17.4%를 차지한다.¹⁾

2017년 기준 국내 수송부문 초미세먼지 배출량은 전체 배출량 대비 25.9%인 23,718톤이며, 이 중 도로이동오염원은 8,715톤(36.7%), 비도로이동오염원은 15,002톤(63.3%)을 차지하고 있다. 도로용 3종 건설기계 중 주행거리가 긴 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭은 도로이동오염원 배출량에, 주행거리가 미비한 콘크리트펌프는 비도로이동오염원 배출량에 포함되어 있으며, 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 초미세먼지 배출량은 각각 332.6톤, 90.7톤으로 도로이동오염원 배출량 대비 4.9%, 콘크리트펌프의 초미세먼지 배출량은 72.8톤으로 비도로이동오염원 배출량 대비 0.5%를 차지한다.²⁾

전국 차원의 미세먼지 대응을 위하여 2016년에 처음 수립된 「미세먼지 관리 특별대책」 이후 2019년에 수립된 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」에 이르기까지 도로용 3종 건설기계는 수송부문 초미세먼지 배출량 저감 수단 중 하나로 고려되고 있다. 이는 해당 차종의 배출 비중은 크지 않으나 노후 차량 비중이 높아 단위 배출량이 많고,³⁾ 도심 내 통행이

1) 국토교통부(2021).

2) 2017년 기준 대기정책지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System) 배출량 통계(국가미세정보센터, 2020).

3) 심창섭 등(2020), 2019년 건설기계 등록대수 기준 Euro 4 이하(2010년 이전 연식)의 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 비중은 각각 54.9%, 47.4%, 콘크리트펌프의 비중은 49.9%로 도로용 3종 건설기계의 노후 차량 비중은 50% 수준임.

빈번하여 주거지 등에서의 노출피해가 크기 때문에 판단된다.

도로용 3중 건설기계의 초미세먼지 저감을 위해서는 정책 수립의 기초 자료인 배출량 추정 단계에서부터 해당 차종의 통행 특성을 충분히 고려해야 할 필요가 있다. 특히 현행 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 배출량은 대형 화물차의 배출계수, 연식 및 주행거리를 적용하여 추정하고 있기 때문에⁴⁾ 도로용 3중 건설기계의 통행 특성이 대형 화물차의 통행 특성과 유사한지에 대한 검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 도로용 3중 건설기계의 통행 특성을 파악하고 대형 화물차와의 유사성 등에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 이를 위하여 한국환경정책·평가연구원에서 수행한 도로용 3중 건설기계 통행실태조사 자료를 활용하여 서열로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하고, 시장분할된 모형을 바탕으로 차종별 통행발생 요인을 분석하여 관련 정책 수립을 위한 기초자료를 마련하고자 한다. 통행발생모형은 기본적으로 종속변수인 통행량에 대한 설명변수의 영향력을 검토하는 모형이기 때문에 본 연구에서 활용 가능한 모형으로 판단된다.

II. 선행연구

도로용 3중 건설기계의 통행발생 특성과 관련된 선행연구는 전무한 것으로 판단되며, 이에 본 연구에서는 도로용 3중 건설기계와 유사한 차종인 대형 화물차의 통행특성을 연구한 사례를 검토하였다. 국내의 경우 화물차 투여기반 수요모형을 추정한 사례(김한수, 2010a, 2010b; 김시진, 2013), 화물차 통행특성을 분석한 사례(한진석 등, 2012; 한진석·박민철, 2012, 2013; 김시진, 2013), 화물차 도착지선택모형을 추정한 사례(신승진 등, 2009; 김한수 등, 2010a)가 있다.

해당 연구개요 중 한진석 등(2012), 한진석·박민철(2012, 2013)은 서열

4) 국립환경과학원(2013, 2019).

로짓모형 기반의 화물차 통행발생모형을 추정하였으며, 분석결과 지역 간 화물차는 출발지 및 도착지 유형이 제조업이고 산업단지 생산액이 클수록 통행발생이 많은 반면, 대도시 화물차는 출발지 및 도착지 유형이 도·소매업체이고 할인점 및 서비스업 사업체가 많을수록 통행발생이 많은 것으로 나타났다.

국외의 경우도 화물차 투여기반 수요모형을 추정한 사례(Stefan et al., 2005, 2007), 화물차 통행발생모형을 추정한 사례(Tolliver et al., 2006; Holguín-Veras and Patil, 2007; Raothanachonkun et al., 2007; Holguín-Veras et al., 2011)가 검토되었으며, 최근에는 빅데이터를 기반으로 화물차 통행발생모형의 신뢰도를 개선한 연구 사례(Gonzalez-Feliu et al., 2019; Pani et al., 2019; Puente-Mejia et al., 2020), 대형 화물차 대상 실주행 특성을 분석한 연구 사례(Zhang et al., 2017; Jaikumar et al., 2019; Scora et al., 2019), 인구 및 상업지구밀도, 토지이용행태 등 도시별 특성과 연계하여 화물차의 통행발생 특성을 연구한 사례(Bakshi et al., 2020) 등이 검토되었다.

선행연구 검토 결과 대형 화물차의 통행특성을 검토한 사례만이 있기 때문에 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 제시하거나, 도로용 3종 건설기계와 대형 화물차의 통행특성 차이를 제시하기에는 한계가 있다. 이러한 측면에서 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 파악하여 관련 정책 수립을 위한 학술적 기초연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 화물차 통행발생모형 추정 시 서열로짓모형이 주로 활용된 점을 감안하여 도로용 3종 건설기계의 통행발생모형 역시 해당 모형을 활용하는 것에 무리가 없는 것으로 판단된다.

Ⅲ. 도로용 3종 건설기계 통행특성 분석

1. 기초 자료

도로용 3종 건설기계 통행실태조사⁵⁾는 해당 차종의 특성(활동지역, 연식, 주요 운송품목, 주행거리 등), 1일 기준 개별 차량의 통행일지(출발지, 도착지 등) 등을 파악하기 위한 전국 단위 조사이다. 설문은 건설기계 차주에게 설명이 가능한 면접조사 방식으로 진행하였으며, 유효표본은 설문 참여 유도가 가능한 비용 등을 감안하여 800개로 설정하였다. 설문조사 결과 <표 2>의 세분화 기준에 부합하는 유효표본을 확보하였으며, 조사의 주요 설문항목 및 차종별 표본설계는 다음과 같다.

<표 1> 주요 설문항목

구분	설문항목
일반사항	차량업종, 차량종류, 주요 운송품목, 차주구분, 최대 적재량, 주 연료, 구입형태 및 연식, 차량 제작자 및 모델명
차량운행 부문	차량 등록지, 주 활동 지역, 운행일수 및 운행횟수, 운행거리, 분기별 운행비중
통행실태 부문	최초 출발지, 출발지 유형, 출발시 적재량, 통행별 출발시각/공차여부/고속도로 이용여부/도착시각/도착지/도착지 유형
배출가스 저감사업 부문	배출가스 저감사업 이해, 건설기계 DPF 관리, 조기폐차 개선사항, 건설기계 DPF 개선사항
자동차 운행제한 제도 부문	운행제한 제도 인지 유무, 운행제한 제도 정보취득

<표 2> 유효 표본 세분화 기준

(단위: 개, %)

구분		수도권		비수도권		합계
		2010년 이전	2011년 이후	2010년 이전	2011년 이후	
덤프트럭	21.5톤 이하	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
	21.5톤 초과	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
콘크리트 믹서트럭	6 m ³ 이하	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
콘크리트 펌프	100 m ³ /h 이하	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	40(5.0)
	100 m ³ /h 초과	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	40(5.0)
합계		200(100)	200(100)	200(100)	200(100)	800(100)

5) 심창섭 등(2020).

2. 통행특성 분석

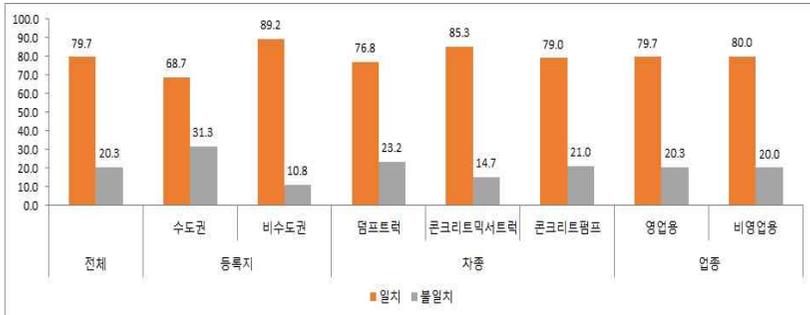
설문항목 중 차량운행 및 통행실태 부문을 토대로 분석한 도로용 3종 건설기계의 통행특성은 다음과 같다.

1) 등록지 및 활동지 일치여부

도로용 3종 건설기계의 등록지 및 활동지 일치율은 79.7%이며, 등록지를 기준으로 비수도권 등록지 차량의 일치율이 89.2%로 수도권 등록지 차량 대비 높게 나타났다. 차종별로는 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프, 덤프트럭 순으로 일치율이 높게 나타났으며, 업종별로는 비영업용의 일치율이 영업용 대비 높게 나타났다.

〈그림 1〉 등록지 및 활동지 일치여부

(단위: %)



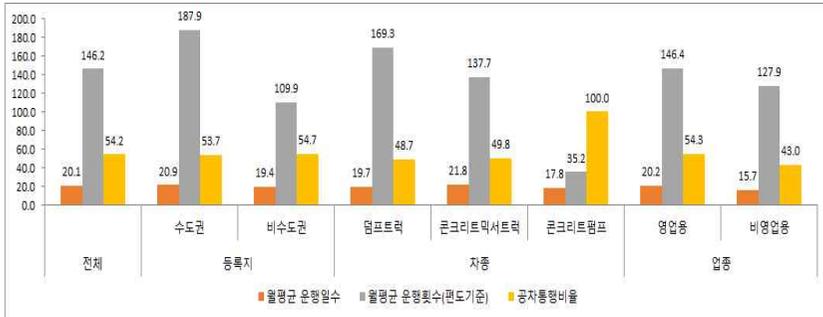
2) 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율

도로용 3종 건설기계의 월평균 운행일수는 20.1일, 월평균 운행횟수(편도기준)는 146.2통행, 공차통행비율은 54.2%로 조사되었다. 등록지를 기준으로 수도권 등록지 차량이 비수도권 등록지 차량 대비 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율이 모두 높은 것으로 나타났으며, 차종별로는 월평균 운행일수의 경우 콘크리트믹서트럭이, 월평균 운행횟수(편도기준)의

경우 덤프트럭이, 공차통행비율의 경우 콘크리트펌프가 가장 높게 나타났다. 또한 업종별로는 영업용 차량이 비영업용 차량 대비 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율이 모두 높은 것으로 나타났다.

〈그림 2〉 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율

(단위: 일, 통행, %)



3) 월평균 운행거리

도로용 3종 건설기계의 월평균 운행거리는 3,419.6 km로 조사되었으며, 등록지를 기준으로 수도권 등록 차량이, 차종별로는 덤프트럭이, 업종별로는 영업용 차량이 각각 월평균 운행거리가 긴 것으로 나타났다.

〈그림 3〉 월평균 운행거리

(단위: km)

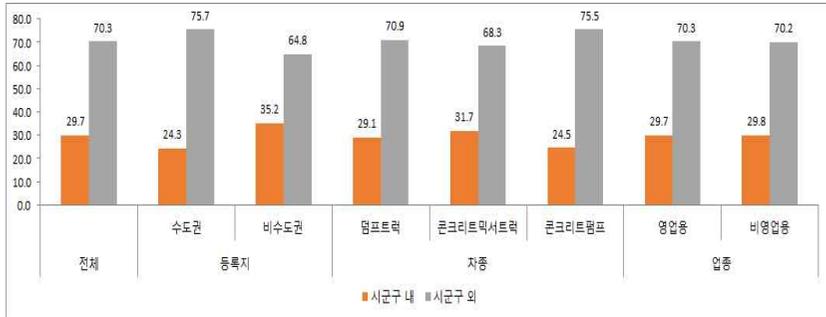


4) 시군구 내/외 통행 비율

도로용 3종 건설기계는 시군구 외 통행 비율이 70.3%로 나타나 대부분 동일 시군구 내보다는 시군구 간 또는 시군구 외 통행이 빈번한 것으로 나타났다. 이러한 통행 특성은 등록지, 차종, 업종 모두 동일한 것으로 나타났다.

〈그림 4〉 시군구 내/외 통행 비율

(단위: %)

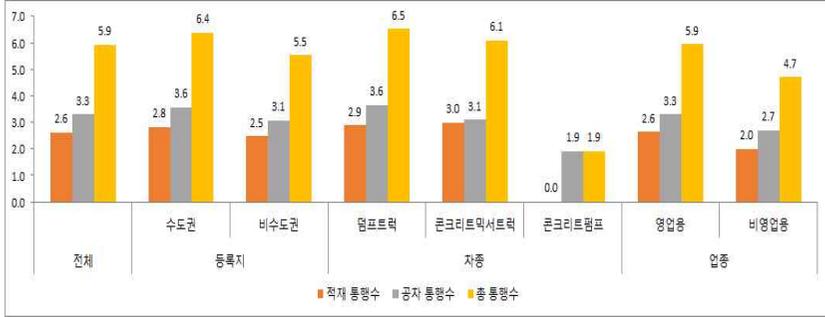


5) 일평균 적재 및 공차 통행수

도로용 3종 건설기계의 일평균 적재 통행수는 2.6통행, 공차 통행수는 3.3통행으로 일평균 총 통행수는 5.9통행으로 조사되었다. 등록지를 기준으로 수도권 등록 차량의 일평균 통행수가 비수도권 등록 차량 대비 높게 나타났으며, 차종별로는 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프 순으로, 업종별로는 영업용 차량의 일평균 통행수가 비영업용 차량 대비 높게 나타났다. 콘크리트펌프의 경우 타 차종 대비 품목과 통행거리가 제한적이거나 적재 및 공차에 따른 통행 구분이 가능하여 분석에 포함하였다.

〈그림 5〉 일평균 적재 및 공차 통행수

(단위: 통행/일)



6) 대형 화물차와의 통행특성 차이

도로용 3종 건설기계와 대형 화물차의 통행특성 차이를 검토한 결과 등록지 및 활동지 일치여부는 대체로 유사한 수준으로 나타났으나, 일평균 통행수는 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭이 많은 것으로 나타났다. 또한 일평균 운행거리는 도로용 3종 건설기계와 대형 화물차 간 차이가 큰 것으로 나타났으며, 시군구 내 통행 비율은 도로용 3종 건설기계가 높은 것으로 나타나 대형 화물차와 달리 지역 내 통행이 빈번한 것으로 판단된다.

〈표 3〉 통행특성 차이(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)

구분	도로용 3종 건설기계			대형 화물차
	덤프트럭	콘크리트믹서트럭	콘크리트펌프	
등록지 및 활동지 일치여부	76.8%	85.3%	79.0%	75.2%
일평균 통행수	6.5회	6.1회	1.9회	2.9회
일평균 운행거리	134.6 km	95.4 km	47.0 km	242.2 km
시군구 내 통행 비율	29.1%	31.7%	24.5%	17.0%

주: 도로용 3종 건설기계는 심창섭 등(2020) 자료를, 대형 화물차는 한국교통연구원(2017) 자료를 활용함

3. 모형 추정

1) 통행발생모형

통행발생모형은 도로용 3종 건설기계의 통행발생에 영향을 미치는 요인을 추정하기 위한 모형이며, 본 연구에서는 앞서 제시한 설문조사 자료를 활용하여 도로용 3종 건설기계의 1일 통행수를 모형의 종속변수로, 도로용 3종 건설기계의 차량 속성, 출발지 및 도착지 유형, 적재품목 등의 다양한 요인을 모형의 독립변수로 설정하였다.

〈표 4〉 모형 변수

구분	변수명	변수설명
종속변수	trip	1일 통행수
	A	업종(영업용=1, 아니면 0)
	B1	운송품목1(콘크리트 배합물=1, 아니면 0)
	B2	운송품목2(시멘트=1, 아니면 0)
	B3	운송품목3(건설폐기물=1, 아니면 0)
	B4	운송품목4(골재=1, 아니면 0)
	C	월평균 운행거리(차종별 월평균 운행거리)
	D	통행수 대비 고속도로 이용 비율 (차종별 1일 통행수 대비 고속도로 이용 비율)
	E	총 시군구 대비 중복 시군구 비율 (차종별 1일 통행 시군구의 중복 비율)
	독립변수	F1
F2		최초 출발지 유형2(건설현장=1, 아니면 0)
F3		최초 출발지 유형3(공장=1, 아니면 0)
F4		최초 출발지 유형4(골재채취소=1, 아니면 0)
F5		최초 출발지 유형5(폐기물처리소=1, 아니면 0)
F6		최초 출발지 유형6(철도역=1, 아니면 0)
F7		최초 출발지 유형7(항만=1, 아니면 0)
F8		최초 출발지 유형8(공공업무시설=1, 아니면 0)
F9		최초 출발지 유형9(자택=1, 아니면 0)
G1		도착지 유형1 횡수(1일 통행수 대비 차고지 도착 비율)
G2		도착지 유형2 횡수(1일 통행수 대비 건설현장 도착 비율)
G3		도착지 유형3 횡수(1일 통행수 대비 공장 도착 비율)
G4		도착지 유형4 횡수(1일 통행수 대비 골재채취소 도착 비율)
G5		도착지 유형5 횡수(1일 통행수 대비 폐기물처리소 도착 비율)
G6		도착지 유형6 횡수(1일 통행수 대비 철도역 도착 비율)
G7		도착지 유형7 횡수(1일 통행수 대비 항만 도착 비율)
G8		도착지 유형8 횡수(1일 통행수 대비 공공업무시설 도착 비율)
G9		도착지 유형9 횡수(1일 통행수 대비 자택 도착 비율)

모형의 종속변수인 통행수는 이산적(discrete)이고, 0 혹은 양(positive)의 값을 가지며, 서수적(ordinal) 특성을 가진다고 할 수 있다. 앞서 통행 발생모형과 관련된 선행연구에서 주로 활용되는 이항선택모형은 대안의 서수적 특징을 명확하게 구현하지 못하는 한계가 있으며, 이를 극복하기 위하여 이항선택모형의 변형된 형태인 서열이산선택모형이 적용되고 있다. 서열이산선택모형은 특정 질문에 대한 응답의 정도를 순서화한 자료를 종속변수로 가지는 모형을 추정하기 위해 개발된 방법으로 효용의 구조는 다음과 같다.

$$y_i^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서,

y_i^* : 개인 i 가 통행하고자 하는 정도를 나타내는 효용

x_{ik} : 개인 i 의 통행에 영향을 미치는 k 번째 외생변수

β_k : k 번째 외생변수의 계수

ϵ_i : 효용의 불확실성을 나타내는 개인 i 의 확률적 오차항

또한 응답자가 관찰 가능한 응답 y_i (통행수 등)를 선택하는 기준은 다음과 같이 일정 범위 내에서는 j 를 선택할 수 있도록 잠재변수 y_i^* 에 의해 결정된다. y_i 와 y_i^* 의 관계는 식 (2)와 같다(Greene, 1990). 식 (2)의 μ_0 에서 μ_{J-1} 은 y_i^* 의 경계값을 나타내는 것으로 관찰 가능한 응답들에 대해 j 를 선택할 수 있는 기준들이 되며, 식 (3)의 조건을 만족한다.

$$\begin{aligned} y &= 0 \text{ if } y_i^* \leq \mu_0 \\ &= 1 \text{ if } \mu_0 < y_i^* \leq \mu_1 \\ &= 2 \text{ if } \mu_1 < y_i^* \leq \mu_2 \\ &\quad \vdots \\ &= J \text{ if } \mu_{J-1} \leq y_i^* \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mu_0 < \mu_1 < \mu_2 < \dots < \mu_{j-1} \quad (3)$$

서열이산선택모형은 식 (1)의 미관측 요소인 ϵ_i 의 분포 가정에 따라 서열프로빗모형과 서열로짓모형으로 구분된다. 서열프로빗모형의 오차항은 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가정하며, 서열로짓모형의 오차항은 평균이 0인 로지스틱분포를 가정한다. 본 연구에서는 서열로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하고자 한다.

2) 모형 추정 결과(전체 모형)

도로용 3종 건설기계 차종별 구분 없이 전체 자료를 활용한 모형 추정 결과는 <표 5>와 같다. 모형 추정에 사용된 변수는 단위, 분포 등이 상이하기 때문에 추정된 변수의 계수로는 모형 추정 해석에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 변수 간 설명력 비교를 위하여 추정된 변수의 계수를 식 (4)와 같이 표준화계수로 변형하였다.

$$B = B_1 \frac{S_X}{S_Y} \quad (4)$$

여기서,

B : 표준화계수, B_1 : 비표준화계수, S_X : 설명변수 X 의 표준편차,
 S_Y : 종속변수 Y 의 표준편차

모형에 포함된 설명변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 일부 운송품목(B1: 콘크리트 배합물, B2: 시멘트)을 제외한 나머지 변수는 모두 양(+)의 부호를 나타내 직관과 부합하는 합리적인 결과로 판단된다. B1과 B2이 음(-)의 부호를 가지는 것은 해당 품목을 주로 운송하는 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프의 표본수가 덤프트럭 대비 적

기 때문으로 판단된다.

도로용 3종 건설기계는 업종이 영업용(A)일수록, 품목은 건설폐기물(B3), 골재(B4)일수록, 그리고 통행수 대비 고속도로 이용 비율(D)과 총 시군구 대비 중복 시군구 비율(E)이 클수록 통행발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 출발지 유형은 건설현장(F2), 공장(F3), 폐기물처리소(F5), 골재채취소(F4), 공공업무시설(F8), 항만(F7)의 순으로, 도착지 유형은 건설현장(G2), 공장(H3), 골재채취소(G4), 폐기물처리소(G5), 항만(G7), 공공업무시설(G8)의 순으로 통행발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 서열로짓모형 추정 결과(전체)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.938	0.079	9.579	0.000
B1	-1.005	-0.180	-5.797	0.000
B2	-0.755	-0.078	-3.759	0.000
B3	1.264	0.156	6.936	0.000
B4	0.368	0.066	2.706	0.007
D	0.603	0.096	5.886	0.000
E	1.178	0.077	4.147	0.000
F2	1.600	0.165	8.924	0.000
F3	0.945	0.168	6.381	0.000
F4	1.146	0.083	5.229	0.000
F5	2.406	0.086	5.702	0.000
F7	1.921	0.037	2.413	0.016
F8	3.882	0.075	3.304	0.001
G2	1.182	0.857	41.600	0.000
G3	1.100	0.690	29.793	0.000
G4	0.858	0.388	20.958	0.000
G5	0.684	0.256	13.552	0.000
G7	1.097	0.204	11.294	0.000
G8	0.980	0.087	4.299	0.000
G9	0.632	0.032	2.081	0.038

Number of observations=790, $L(\beta)=-941.378$, $\rho^2=0.465$

3) 모형 추정 결과(시장 분할 모형)

도로용 3종 건설기계 차종별 통행발생 특성이 상이한지를 검토하기 위하여 차종(덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프) 및 활동지역(수도권, 비수도권)으로 시장분할을 하였으며, 시장분할의 유의성 검토를 위한 우도비 검정은 다음과 같다.

$$-2[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^G L_{N_g}(\hat{\beta}^g)]$$

여기서 $L_N(\hat{\beta})$: 전체 모형의 Log-likelihood function 값,

$L_{N_g}(\hat{\beta}^g)$: 분할된 모형의 Log-likelihood function 값,

자유도 : $\sum_{g=1}^G K_g - K$ (K_g : 분할된 모형의 계수 수, K : 전체 모형의 계수 수)

시장분할에 대한 유의성 검토 결과는 <표 6>과 같으며, 차종 및 활동지역에 대한 시장분할은 모집단이 G 개의 시장으로 분할되었을 경우 모형간 모수의 벡터가 동일하다는 귀무가설($H_0 = \beta^1 = \beta^2 = \dots = \beta^G$)을 기각하여 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<표 6> 우도비 검정 결과

구분		Test statistic	Degrees of freedom	$\chi^2_{0.05}$
차종	덤프트럭	517.868	9	16.919
	콘크리트믹서트럭			
	콘크리트펌프			
활동지역	수도권	255.431	18	28.869
	비수도권			

차종에 따라 구분한 모형 추정 결과는 <표 7>~<표 9>와 같으며, 모형에 포함된 설명변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 변수의 부호는 전체 모형과 동일하게 직관과 부합하는 것으로 판단되며, 운송품목의 경우 덤프트럭은 건설폐기물(B3)과 골재(B4), 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프는 콘크리트 배합물(B1)과 시멘트(B2)가 각각 유의한 변수로 나타나 운송품목에 대한 특성이 뚜렷한 것으로 판단된다.

또한 덤프트럭의 통행발생모형은 타 차종의 모형 대비 고속도로 이용 비율(D)과 다양한 유형의 출발지 및 도착지 변수가 유의한 것으로 나타나 타 차종 대비 운송거리 반경이 넓은 것으로 판단된다. 특히 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프는 출발지 및 도착지 유형 모두 건설현장(F2, G2)이 유의한 변수로 나타나 덤프트럭보다는 제한적인 지점에서 통행이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 7> 서열로짓모형 추정 결과(덤프트럭)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.280	0.060	4.702	0.000
B3	0.771	0.119	4.148	0.000
B4	0.193	0.037	1.423	0.155
D	0.757	0.123	5.541	0.000
E	2.025	0.127	5.704	0.000
F1	1.317	0.245	5.253	0.000
F2	2.010	0.263	8.611	0.000
F3	2.045	0.170	6.732	0.000
F4	2.065	0.192	7.212	0.000
F5	2.729	0.128	6.246	0.000
F7	2.581	0.065	3.180	0.002
F8	3.625	0.091	2.967	0.003
G1	0.656	0.119	3.386	0.001
G2	0.919	0.785	29.158	0.000
G3	0.856	0.407	16.947	0.000
G4	0.748	0.421	17.673	0.000
G5	0.614	0.287	11.795	0.000
G7	0.867	0.208	9.046	0.000
G8	0.739	0.081	2.888	0.004
G9	0.727	0.046	2.172	0.030

Number of observations=473, $L(\beta)=-622.159$, $\rho^2=0.394$

〈표 8〉 서열로짓모형 추정 결과(콘크리트믹서트럭)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
B1	25.676	5.342	24.076	0.000
B2	26.072	5.425	26.454	0.000
E	2.325	0.165	2.170	0.030
F2	2.386	0.373	5.738	0.000
G2	14.521	7.829	49.603	0.000
G3	12.913	7.389	51.914	0.000

Number of observations=251, $L(\beta)=-48.240$, $\rho^2=0.889$

〈표 9〉 서열로짓모형 추정 결과(콘크리트펌프)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
B1	9.592	6.106	10.520	0.000
F2	7.278	4.266	4.508	0.000
G2	8.423	6.088	8.999	0.000

Number of observations=66, $L(\beta)=-12.044$, $\rho^2=0.711$

활동지역에 따라 구분한 모형 추정 결과는 〈표 10〉, 〈표 11〉과 같으며, 모형에 포함된 설명변수의 유의수준, 부호는 모두 합리적인 것으로 나타났다. 수도권과 비수도권의 통행발생모형 모두 선택된 변수, 변수 간 영향력은 전체 모형과 유사하게 추정되었으며, 비수도권 모형은 수도권 모형 대비 업종(A), 고속도로 이용 비율(D)의 영향력이 크게 나타나 운송거리 반경이 수도권 차종보다는 넓은 것으로 판단된다. 또한 수도권 모형은 비수도권 모형 대비 중복 시군구 비율(E)의 영향력이 크게 나타나 제한된 반경 내에서의 통행이 빈번한 것으로 나타났다.

〈표 10〉 서열로짓모형 추정 결과(수도권)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.476	0.066	5.799	0.000
B1	-1.504	-0.238	-6.315	0.000
B2	-1.353	-0.125	-5.002	0.000
B3	1.364	0.116	3.828	0.000
B4	1.073	0.176	5.021	0.000
D	0.211	0.030	1.406	0.016
E	0.094	0.006	0.236	0.041
F2	3.122	0.226	5.775	0.005
F3	1.196	0.181	5.737	0.000

F4	0.800	0.069	3.136	0.002
F5	2.289	0.067	3.125	0.002
F7	1.817	0.044	1.469	0.014
F8	3.615	0.061	2.245	0.025
G2	1.748	1.238	39.697	0.000
G3	1.607	0.967	32.033	0.000
G4	1.601	0.791	26.394	0.000
G5	1.619	0.455	16.486	0.000
G7	1.961	0.133	4.445	0.000
G8	1.436	0.149	5.624	0.000
G9	0.641	0.039	1.872	0.018

Number of observations=394, $L(\beta)=-435.331$, $\rho^2=0.534$

〈표 11〉 서열로짓모형 추정 결과(비수도권)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	3.900	0.129	8.273	0.000
B1	-0.933	-0.203	-2.565	0.010
B2	-0.756	-0.095	-1.759	0.024
B3	2.576	0.448	10.024	0.000
B4	1.102	0.226	5.118	0.000
D	0.802	0.139	4.378	0.000
E	0.094	0.006	0.236	0.041
F2	2.548	0.370	9.758	0.000
F3	1.096	0.243	2.899	0.004
F4	2.048	0.048	1.862	0.019
F5	2.300	0.107	3.952	0.000
G2	1.393	1.082	25.362	0.000
G3	1.278	0.863	13.585	0.000
G4	0.995	0.321	8.797	0.000
G5	0.701	0.360	9.983	0.000
G7	1.526	0.464	12.679	0.000
G8	2.885	0.151	2.660	0.008
G9	1.874	0.044	1.706	0.026

Number of observations=396, $L(\beta)=-378.331$, $\rho^2=0.508$

결과적으로 도로용 3중 건설기계의 통행발생 특성은 차종별 활동지역 별로 상이하며, 차종별로는 주된 운송품목과 운송거리 반경, 출발지 및 도착지 유형이 상이한 것을 알 수 있다. 이는 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3중 건설기계를 하나의 수단으로 고려할 것이 아니라 차종별로 구분해야 할 필요가 있음을 의미한다. 또한 활동지역별로는 비수도권에서 활동하는 차량의 운송거리 반경이 수도권 차량보다 넓은 것으로

나타나 배출량과 같이 운송거리가 반영되어야 하는 기초자료 산정 시 차종별 특성 뿐 아니라 주 활동지역에 대한 고려도 검토가 필요하다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 분석하기 위하여 서열 로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하였다. 모형 추정 결과 도로용 3종 건설기계의 차종별 활동지역별 통행발생 특성은 상이한 것으로 나타났다. 또한 <표 3>에서 보듯이 대형 화물차의 통행특성과도 상이하기 때문에 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3종 건설기계를 하나의 수단으로 고려하기보다는 차종별 활동지역별로 세분화하여 고려해야 할 필요가 있다. 특히 신차에 대해서는 차종별 통행특성(주행거리, 출력 등)에 부합하는 친환경 연료(LNG, 수소 등) 전환이 필요하며, 운행차에 대해서도 차종별 통행특성에 적합한 배출가스 저감장치 개발 및 보급이 필요하다.

한편 도로용 3종 건설기계 오염물질 저감 정책 실효성 제고를 위해서는 정책 수립의 기초자료인 배출량의 신뢰도가 매우 중요하다. 특히 현행 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 배출량 산정 시 연식과 주행거리는 각각 대형 화물차(일반형), 대형 화물차(덤프형)의 분포를 적용하고 있으나, 실제 두 차종 간 연식 및 주행거리 분포는 상이하기 때문에 도로용 3종 건설기계의 특성에 맞는 자료를 적용하여 배출량을 산정하는 것이 필요하다.

<표 12> 연식 분포(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)

(단위: %)

구분	1년 미만	3년 미만	5년 미만	7년 미만	9년 미만	10년 미만	15년 미만	15년 이상
덤프트럭	0.121	0.047	0.042	0.063	0.044	0.049	0.194	0.233
콘크리트믹서트럭	0.135	0.093	0.038	0.010	0.022	0.039	0.253	0.261
대형 화물차 (일반형)	0.037	0.073	0.038	0.105	0.125	0.095	0.158	0.073

주: 도로용 3종 건설기계는 한국환경정책·평가연구원의 설문조사 자료(심창섭 등, 2020)를, 대형 화물차(일반형)는 국립환경과학원(2019) 자료를 활용함

〈표 13〉 일평균 주행거리(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)
(단위: km/일)

구분	일평균 주행거리
덤프트럭	118.8~134.6
콘크리트믹서트럭	78.6~95.4
대형 화물차(덤프형)	22.8

주: 도로용 3종 건설기계는 한국환경정책·평가연구원의 설문조사 자료(심창섭 등, 2020)를, 대형 화물차(덤프형)는 국립환경과학원(2019) 자료를 활용함

본 연구에서 활용한 도로용 3종 건설기계 통행실태조사 자료는 모집단 자료가 아니기 때문에 대표성은 가질 수 있으나 신뢰성에서는 한계가 존재한다. 연식의 경우는 대한건설기계안전관리원의 정기검사에서 수집이 되는 통계이기 때문에 모집단의 분포 파악이 가능하다는 점에서 배출량 산정 시 해당 분포를 반영해야 할 필요가 있다. 그러나 주행거리의 경우 실제 주행거리와 오차가 발생할 여지가 있기 때문에 도로용 3종 건설기계를 대상으로 한 정기조사 수행 또는 정기검사 항목 추가 등의 방안으로 정확한 주행거리 통계를 구축해야 할 필요가 있다.

본 연구에서 활용한 자료는 차종별 활동지역별로 표본수 차이가 있으며, 국내·외 관련 연구 사례가 없기 때문에 모형 추정 결과에 대한 비교가 어렵다. 도로용 3종 건설기계의 통행발생 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 관련 조사 및 연구가 연속적으로 진행되고, 이에 따른 시계열적 변화 추이가 검토되어야 한다. 또한 서열로짓모형 외 다양한 모형 추정을 통하여 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 일반화하기 위한 노력이 필요하다.

■ 참고문헌 ■

국가미세먼지정보센터, 2020, 『2017 국가대기오염물질 배출량』, 청주: 국가미세먼지정보센터.

국립환경과학원, 2013, 『국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)』, 인천: 국립환경과학원.

_____, 2019, 『국가 대기오염물질 배출량 기초자료구축을 위한 표준업무절차서(2016년 배출량 기준)』, 인천: 국립환경과학원.

- 국토교통부, 2021, 『건설기계 현황 통계(2020. 9. 30. 기준)』, 세종: 국토교통부.
- 김시진, 2013, “택배화물자동차의 통행행태 분석모형 개발에 관한 연구,” 석사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 김한수, 2010, “투어기반 도시화물 통행수요모형의 개발,” 박사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 김한수·박동주·김찬성·이강대·김경수, 2010a, “수도권 화물자동차 통행분포를 위한 도착지선택모형: 집계중력모형과 실증비교,” 『국토연구』, 64, pp.167-183, DOI: 10.15793/kspr.2010.64..010.
- 김한수·박동주·김찬성·최창호·김경수, 2010b, “의사결정나무를 이용한 화물자동차 투어유형 선택행태 분석,” 『대한교통학회지』, 28(6), pp.43-54.
- 신승진·김찬성·박민철·김한수, 2009, “출발시간, 통행거리 및 물류활동 특성을 고려한 도착지 선택행태분석,” 『대한교통학회지』, 27(1), pp.73-81.
- 심창섭·공성용·최기철·한진석·이정석·이승민 등, 2020, 『미세먼지 통합관리 전략 수립 연구(별책부록): 미세먼지 통합관리를 위한 정책지원 자료 구축』, (KEI 사업 보고서: 2020-08-02), 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 한국교통연구원, 2017, 전국화물통행실태조사, 『2017년 「국가교통조사·DB시스템 운영 및 유지보수」』, (pp.183-224), 세종: 한국교통연구원.
- 한진석·박민철·성홍모·김형범, 2012, “화물자동차기반 대도시 화물수요모형 구축을 위한 화물자동차 통행특성 분석,” 『대한교통학회지』, 30(3), pp.107-118, DOI: 10.7470/jkst.2012.30.3.107.
- 한진석·박민철, 2012, “화물자동차 공차통행 발생요인 분석,” 『대한교통학회지』, 30(6), pp.47-57, DOI: 10.7470/jkst.2012.30.6.047.
- _____, 2013, “지역간과 대도시 화물자동차 통행발생 특성 비교,” 『대한토목학회지』, 33(4), pp.1559-1569, DOI: 10.12652/Ksce.2013.33.4.1559.
- Bakshi, N. D., G. Tiwari, and N. B. Bolia, 2020, “Influence of urban form on urban freight trip generation,” *Case Studies on Transport Policy*, 8(1), pp.229-235, DOI: 10.1016/j.cstp.2019.04.004.
- Gonzalez-Feliu, J. and I. Sánchez-Díaz, 2019, “The influence of aggregation level and category construction on estimation quality for freight trip generation models,” *Transportation Research Part E*, 121, pp.134-148, DOI: 10.1016/j.tre.2018.07.007.
- Greene, W. H., 1990, *Econometric analysis*, New York: Macmillan.
- Holguin-Veras, J. and G. R. Patil, 2007, “Integrated origin-Destination synthesis model for freight with commodity-Based and empty trip models,” *Transportation Research Record*, 2008, pp.60-66, DOI: 10.3141/2008-08.
- Holguín-Veras, J., I. Sánchez, C. González-Calderón, I. Sarmiento, and E. Thorson,

- 2011, "Time-Dependent effects on parameters of freight demand models: Empirical investigation," *Transportation Research Record*, 2224, pp.42-50, DOI: 10.3141/2224-06.
- Jaikumar, R., R. Farzaneh, T. Ramani, and J. Johnson, 2019, "Characterization of drayage activities in the Paso del Norte airshed," *Transportation Research Record*, 2673, pp.202-213, DOI: 10.1177/0361198119846459.
- Pani, A., P. K. Sahu, A. Chandra, and A. K. Sarkar, 2019, "Assessing the extent of modifiable areal unit problem in modelling freight(trip) generation: Relationship between zone design and model estimation results," *Journal of Transport Geography*, 80, pp.1-17, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102524.
- Puente-Mejia, B., L. Palacios-Argüello, and C. Suárez-Núñez, 2020, "Freight trip generation modeling and data collection processes in Latin American cities: Modeling framework for Quito and generalization issues," *Transportation Research Part A*, 132, pp.226-241, DOI: 10.1016/j.tra.2019.10.013.
- Raathanachonkun, P., K. Sano, W. Wisetjindawat, and S. Matsumoto, 2007, "Estimating truck trip origin-Destination with commodity-Based and empty trip models," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2008, pp.43-50, DOI: 10.3141/2008-06.
- Scora, G., K. Boriboonsomsin, T. D. Durbin, K. Johnson, S. Yoon, and J. Collins et al., 2019, "Variability in real-World activity patterns of heavy-Duty vehicles by vocation," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673, pp.51-61, DOI: 10.1177/0361198119844247.
- Stefan, K. J., J. D. P. McMillan, and J. D. Hunt, 2005, "Urban commercial vehicle movement model for Calgary, Alberta, Canada," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1921, pp.1-10, DOI: 10.1177/0361198105192100101.
- Stefan, K. J., J. D. Hunt, J. D. P. McMillan, and A. Farhan, 2007, "Development of a fleet allocator model for calgary Canada," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1994, pp.89-93, DOI: 10.3141/1994-12.
- Tolliver, D., A. Dybing, and S. Mitra, 2006, "Trip generation rates for large elevators: A North Dakota case study," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1966, pp.88-95, DOI: 10.1177/03611

98106196600112.

Zhang, S., L. Yu, and G. Song, 2017, "Emissions characteristics for heavy-Duty diesel trucks under different loads based on vehicle-Specific power," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2627, pp.77-85, DOI: 10.3141/2627-09.

한진석: 서울대학교 건설환경공학부에서 교통공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경정책·평가연구원에 연구위원으로 재직 중이다(jshahn@kei.re.kr).

투 고 일: 2021년 02월 19일
심 사 일: 2021년 03월 05일
게재확정일: 2021년 03월 21일

비용편익분석을 위한 도심하천복원 경제가치의 범위효과 검증:

조건부가치평가법과 선택실험 비교*

A Test of Scope Effects in the Economic Valuation of Urban Riverine
Restoration for CBA: Comparison between the CV and CE Approaches

최성록** · 성찬용*** · 유영화****

Andy Sungnok Choi · Chan Yong Sung · Yeong Hwa Yoo

요약: 본 논문의 목적은 하천복원사업 범위의 변화에 따른 경제적 가치(willingness to pay; WTP) 영향을 조건부가치평가법(CV)과 선택실험(CE)을 적용하여 검증하는 것이다. 사례지역은 광주광역시 광주천이었고, 온라인 설문조사를 통해 수집된 광주시 2개 표본과 수도권 2개 표본을 대상으로 범위효과를 검증하였다. 설문지 내용은 복원 대상지를 구도심과 구도심을 포함한 전체 구간으로 차별화된 정보를 제외하고는 모두 동일하였다. 분석 결과에 따르면 CV를 이용하여 추정한 지불의사액은 모집단의 차이에 관계 없이 복원 범위효과가 나타나지 않았으나(1인당 매년 평균 7,600원~8,200원), 복개철거와 같은 구조적 변화에는 유의한 차이를 보였다. CE로 추정된 지불의사액은 광주시 응답자들의 경우 전체 복원 범위에 대해서 1인당 평균 5,800원, 구도심에 대해서는 9,900원으로 추정되어, 복원 범위보다 장소성을 더 중요하게 반영하는 것으로 나타났다. 반면, 수도권 응답자들은 광주천 구도심 복원 10,500원과 전체 복원 14,400원으로 제한된 범위효과를 보여주었다. 비용편익분석은 적용된 편익 추정 기법과 복원사업 범위, 모집단에 따라서 전혀 다른 타당성 결과가 도출될 수 있다. 예비타당성조사나 생태계서비스 관리 등 정책의사결정에 있어서 범위효과에 대한 더 세심한 주의가 요구된다.

핵심주제어: 하천복원, 범위효과, 비용편익분석, 선택실험, 조건부가치평가법

Abstract: This study aims to test the scope effects on willingness to pay (WTP) estimates, using contingent valuation methods (CV) and choice experiments (CE) of urban riverine restoration scenarios with a differing scope of Gwangju River. Based on a split-sample survey for an external test of scope effects, two samples were taken from the Gwangju area and two samples were taken from the three capital areas: Seoul, Incheon, and Gyeonggi. Online questionnaires used in the survey were the same, except for the information pertaining to the specific project area of the river: one sample area (i.e., 6 km) is the old city central and the other is the old city central plus downstream (i.e., 12 km), which

* 본 논문은 국립생태원 연구과제 “생태계서비스 경제사회가치 평가 기법 개발: 하천복원 비용편익분석” 결과를 활용하여 작성하였다. 연구에 참여했던 여러 전문가들과 광주시민들에게 특별히 감사한다.

** 제1저자 및 교신저자, 선택행동연구소 소장

*** 공동저자, 한밭대학교 부교수

**** 공동저자, 전남대학교 연구원

is approximately two times longer. According to the results, the average WTP values from the CV datasets were 7,600 KRW to 8,200 KRW per person per year and not significantly different across the four samples; however, there was a significant variance for a large-scale structural change, particularly involving the removal of concrete structures along the river. On the other hand, the average WTP values of local residents based on the CE datasets were approximately 9,900 KRW per person per year for the smaller scope and 5,800 KRW per person per year for the larger scope. The historical and symbolic meanings of the Gwangju River in the context of local livelihoods might be predominant in the overall valuation process of riverine restoration. In contrast, the average WTP values of distant residents living in the three capital areas based on the CE datasets were approximately 10,500 KRW to 14,400 KRW per person per year, showing a limited scope effect. Cost-benefit analysis might heavily rely on the adopted valuation methods, spatial scope of the project, and the target populations. Relevant policy implications are provided.

Key Words: Riverine Restoration, Scope Effect, CBA, Choice Experiment, Contingent Valuation

I. 서론

생태계서비스의 가치를 정의하고 평가하는 이유는 관련 의사결정을 돕기 위해서이다(MA, 2005; UKNEA, 2011; UKNEAFO, 2014; Díaz et al., 2015; 최성록 등, 2018). 문재인 정부 국정과제 59(지속가능한 국토환경 조성) 하천 재자연화 정책과 관련하여(대한민국 정부, 2017), 도심하천복원은 “하천 내외의 인공적인 생태계 교란요인을 제거하여 자연에 가깝게 복원하고 건강한 생태계가 유지될 수 있도록 지원 혹은 관리해 나가는 활동”이다(환경부·한국환경공단, 2011). 도심하천복원과 같은 공공투자사업의 가장 대표적인 의사결정 제도는 「국가재정법」 제38조 및 그 시행령 제13조, 그리고 「지방재정법」 제37조와 관련하여 비용편익분석으로 구체화된다. 최근에는 하천복원의 경제가치 평가 기법에 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다(한국개발연구원, 2008; 국토연구원, 2011; 환경부·한국환경공단, 2014; 엄영숙, 2015; 이희찬, 2015; 최성록·성찬용·백효진, 2019).

자연생태계가 인간에게 주는 혜택을 정량화하여 의사결정에 의미있게 반영하기 위해서는 생태계 공간에 대한 획일화된 총가치가 아니라 현실적인 변화에 대한 한계가치를 추정해야 한다(Johnston and Russell, 2011;

UKNEA, 2011; USEPA, 2015). 생태계서비스의 경제가치(도구적 가치)는 평가 대상과 기능의 중요성이 높거나 개체수가 많거나, 면적이 넓다고 해서 당연히 커지는 값이 아니라, 인간이 상대적으로 느끼는 희소성에 의해서 결정된다. 이러한 한계가치 논리는 생물다양성과 보호지역 관리에 일반적으로 등장하는 개념(예, 멸종위기종과 희귀종의 가치, 보전구역의 설정 등)과 부분적으로 상통한다고 하겠다. 위에서 언급한 것과 같이 생태계공간이 제공하는 생태계서비스를 백화점식으로 나열하고 그 총가치를 계산하는 노력들은(de Groot et al., 2012; 김종호 등, 2012; Costanza et al., 2014) 해당 편익의 규모를 가시적이고 상징적으로 보여줄 수는 있겠지만, 실제 정책의사결정에 적용할 수 있는 정확한 경제가치를 제공해주지 못한다. 이러한 생태계서비스 경제가치 평가의 개념과 의미에 대한 혼란과 이중계산(double counting) 문제는 지속적으로 제기되어 오고 있으나(Johnston and Russell, 2011), 총가치와 한계가치에 대한 근본적인 오해는 국내외에서 오히려 더욱 확산되고 있다. 특히, 국내 예비타당성조사(한국개발연구원, 2008)에서 핵심적으로 사용되는 조건부가치평가법(contingent valuation methods; CV)은 대상재의 규모나 범위의 차이에 민감하지 않다는 사실이 여러 연구자들에 의해서 지속적으로 보고되고 있다(이기호·곽승준, 1996; Burrows, Newman, Genser and Plewes, 2017; Frontuto, Dalmazzone, Vallino and Giaccaria, 2017; Borzykowski, Baranzini and Maradan, 2018; Giguere, Moore and Whitehead, 2020). 즉, CV는 범위효과에 문제가 있다.

정확한 비용편익분석을 위해서 CV의 대안으로 사용되는 것이 선택실험(discrete choice experiments; CE)이다. CE는 한계가치 논란에서 상대적으로 자유롭다. 하지만, 조사 설계가 복잡하고 설문 응답자가 많이 필요하며, 결과 해석이 까다로운 특성이 있다(Louviere, 2001). 이런 이유로 국내에서 CE를 활용한 비용편익분석 연구는 매우 제한적인데(이미연·정인수, 2012), 범위효과를 포함하여 다양한 편익 문제에 대한 검증도 아직 충분히 이루어지지 않았다. 여기서 범위효과는 복원사업 대상지의 물리적 크

기가 변함에 따라 경제가치 추정치가 민감하게 반응하는 정도라고 정의할 수 있다(Burrows et al., 2017). Lew and Wallmo(2011)는 전국민을 대상으로 멸종위기종에 대한 연구에서 CE 기법의 제한적인 범위효과를 보고 하면서 추가적인 연구가 필요함을 강조했다.

본 논문의 목적은 하천복원사업 범위의 변화에 따른 경제적 가치(willingness to pay; WTP) 영향을 외부범위검정(an external scope test)을 통해서 확인하는 것이다. 외부범위검정은 복수의 독립된 표본을 수집하여(a split-sample survey)하여 추정된 한계가치의 통계적 관계를 검정하는 것이다. 도심하천 생태계의 보전과 복원을 통해 증진할 수 있는 생태계서비스의 경제가치를 정확하고 신뢰성있게 추정하는 것은 예비타당성조사와 보전구역 관리, 생태계서비스지 관련 정책, 도시녹지 관리 등 정책의사결정에 필수 요건이다. 그럼에도 불구하고 문헌에 등장하는 여러 사례에서는 해당 사업 범위의 결정과 소비자 범위를 임의적으로 정하여 적용하는 경우가 적지 않았다(이미연·정인수, 2012; 환경부·한국환경공단, 2014; 한국개발연구원, 2016). 본 연구에서는 하천복원사업 대상지 범위의 차이에 따른 경제가치 영향을 소비자 범위의 차이와 함께 체계적으로 비교할 수 있도록 복원사업 지역의 표본 2개와 수도권의 표본 2개를 독립적으로 조사하여 그 결과를 분석하였다. 또한, 비시장가치평가에서 가장 많이 적용되는 CV와 CE를 동시에 적용하여 평가기법에 따른 범위효과 민감도를 검토하였다. 본 논문은 국내에서 하천복원과 관련하여 범위효과를 실증적으로 검정한 최초의 사례로서 향후 예비타당성조사 지침 개선이나(예, 한국개발연구원 공공투자관리센터·한국환경경제학회, 2012) 생태계서비스 관련 제도 마련에 정책적으로 활용될 수 있는 근거를 제시할 것으로 기대한다.

II. 도심하천복원 비용편익분석과 범위효과

도심하천복원을 위한 비용편익분석에 관한 문헌 검토 결과, 국내 연구

로는 한국개발연구원의 예비타당성조사 보고서가 가장 많았다. 하천복원 관련 예비타당성조사는 2009년~2010년 수행된 4대강사업 관련 사업이 대부분인데, 2016년 수행된 광주광역시 도심하천복원 사업 2건 있었다. 예비타당성조사를 제외하고는 서울 청계천 복원 관련 비용편익분석 연구가 1건(이미연·정인수, 2012) 있다. 사전에 주어진 특정 사업 범위를 다루는 주요 선행연구를 살펴보고, 그 범위 자체를 비용편익분석에서 함께 다루는 본 연구의 차별성을 강조하고자 한다.

1. 한국개발연구원의 하천복원사업 예비타당성조사

한국개발연구원은 「국가재정법」에 따라 사업비 500억 원 이상인 국책 사업에 대해 예비타당성조사의 수행 기관으로, 다양한 국책사업에 대한 비용편익분석을 실시하였다. 한국개발연구원은 <표 1>에서 정리하고 있는 것과 같이 2018년 기준 총 11건의 하천복원 관련 예비타당성조사를 실시하였는데, 이 중 2건이 광주광역시 내 하천복원사업에 관한 조사로 지난 2016년 수행되었다. 나머지 9건은 2009년에서 2010년 사이 4대강사업의 일환으로 수행된 하천정비사업에 대한 조사였다.

한국개발연구원의 예비타당성 조사 결과를 보면, 4대강 사업 관련 사업들은 금강 균수지구를 제외하고 비용 대비 편익비(benefit cost ratio, B/C)가 1 이상으로 경제성이 있었으나, 광주천과 용봉천 복원사업은 B/C가 1 이하로 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 4대강사업과 광주시 하천복원사업 사이에 경제성 평가 결과가 다른 이유는, 4대강 사업에 대한 정치적 배려를 배제하면, 복원 비용의 차이 때문이라 판단된다. 즉, 광주천과 용봉천의 경우 현재 복개된 지역에 위치하고 있는 상업 건축물과 편도 4차선 도로를 철거하고 하천복원이 필요한 사업으로 공사비가 많이 소요되어 B/C가 낮은 반면, 4대강 사업들은 상대적으로 공사비가 적게 소요되어 B/C가 높았다.

〈표 1〉 한국개발연구원의 하천복원사업 예비타당성조사 결과

연도	대상 하천	복원 구간	지불의사(원/가구/년)	B/C
2016	광주천	양동복개상가 0.4km	1,173원	0.59
2016	용봉천	서방천 1.2km, 용봉천 1.4km	2,956원	0.76
2010	낙동강 양산2지구	1.94km	사업대상지 내 6,017원, 사업대상지 외 2,111원	2.69
2009	영산강 함평 3지구	7.4km	사업지 748원, 비사업지 1,769원	1.8
2009	영산강 동림지구	19.82km	사업지 2,316원, 비사업지 1,325원	1.32
2009	북한강 하중도지구	12.0km	사업지역 8,311원, 사업 외 지역 3,676원	3.46
2009	낙동강 동촌지구	1.2km	사업대상지 내 4,787원, 사업대상지 외 898원	2.04
2009	낙동강 금호지구	64km	인접지역 6,123원, 비인접지역 1,143원	1.076
2009	낙동강 감전·염공지구	7.4km	사업대상지 내 4,921원, 사업대상지 외 2,019원	1.19
2009	금강 세도지구	10.23km	사업지역 거주자 3,036원, 사업지역 밖 거주자 1,993원	1.63
2009	금강 군수지구	10.87km	사업지역 거주자 1,997원, 사업지역 밖 거주자 978원	0.92

2. 광주천 수계 연구 사례

광주천 복원을 대상으로 한 비용편익분석 연구로 한국개발연구원이 지난 2016년 광주천 양동복개상가 구간 복원사업과 광주천의 지천인 용봉천(서방천 포함) 복원사업을 대상으로 각각 수행한 예비타당성조사가 있다. 우선, 광주천 양동복개상가 구간 복원사업은 제18대 대선 지방공약 중 하나로 선정되어 국토교통부가 추진하였다. 2015년부터 2018년까지 양동복개상가를 철거하고 생태하천으로 복원하는 사업이다.

예비타당성조사 결과를 〈표 2〉에 정리하였다. 양동복개상가 구간 0.4km 복개구조물 철거에 245억 원, 제방도로 연결에 177억 원, 생태하천복원에 27억 원의 공사비가 각각 소요되고, 설계비, 감리비, 용지보상비, 예비비 등을 합하면 1,903억 원의 총사업비가 소요될 것으로 추정하였다. 위의 비용

은 부가가치세가 포함된 비용이므로, 이를 제한 비용이 2015년부터 2018년까지 4년 동안 차등 투입된다고 가정하고, 여기에 향후 50년 간 소요될 유지관리비 27억 원을 더한 다음, 연 할인율 5.5%(사업 종료 후 30년까지)와 4.5%(사업 종료 후 31년~50년)를 적용하여 2013년 가치로 환산하면, 총현재비용은 1,545억 원이 된다.

〈표 2〉 광주천 복원사업 비용편익분석 결과

구분	양동복개상가(2013년 기준)	용봉천(2013년 기준)
지불의사액(원/가구/년)	1,173	2,956
연간 총편익(백만 원/년)	21,936	55,289
복원사업 총현재편익(백만 원)	88,788	223,791
복원사업 총현재비용(백만 원)	154,486	296,338
B/C	0.59	0.76
순현재가치(백만 원)	-62,698	-72,547

* 출처: 한국개발연구원 (2016)

사업에 따른 편익은 양동복개상가 구간 복원에 대한 지불의사액을 CV를 통해 설문하여 추정하였다. 경제가치 추정 결과, 설문조사 응답자들은 복원사업 예산 마련을 위해 5년 동안 가구당 1,173원의 소득세를 추가로 낼 의사가 있었다. 전국 가구수와 추가 소득세 납입 기간 5년, 연 할인율 5.5%를 적용하여 총현재편익을 산정하면 888억 원이었다. 결과적으로 B/C는 0.59, 순현재가치(net present value, NPV)는 -626억 원이 되어 양동복개상가 복원사업은 경제성이 없는 것으로 분석되었다.

용봉천 복원사업 또한 대선공약으로 추진된 사업으로, 광주천의 지천인 용봉천과 서방천을 대상으로 한다(한국개발연구원, 2016). 용봉천 복원사업의 범위는 서방천(북구 신안동 331번지 일원~광주천 합류점) 1.2km 구간과 용봉천(북구 용봉동 용봉 IC~서방천 합류점) 1.4km 구간으로 구도심에 위치하고 있다. 주요 내용은 용봉천 구간 복개도로 및 건축물을 철거하고, 서방천과 용봉천에 대체도로를 개설하며, 서방천 1개소와 용봉천 5개소의 교량 재가설, 전구간 생태하천복원 등이다.

에비타당성조사 결과를 보면(〈표 2〉), 교량 및 복개 구조물 철거에 320

억 원, 도로 및 교량 개설에 195억 원, 유지용수 및 하수도정비에 150억 원, 생태하천복원에 88억 원, 녹지축 조성에 24억 원의 공사비가 각각 소요되고, 용지 구입비에 764억 원, 건물 보상과 이주비 등 보상비에 962억 원, 기타 설계비, 감리비, 조사비 등 포함한 총사업비가 3,227억 원 소요된다. 이 사업비는 부가가치세가 포함된 비용으로 이를 제한 비용이 2015년부터 2018년까지 4년 동안 공정에 따라 차등 투입되고, 여기에 운영비가 연간 7,840만 원 발생한다고 가정하였다. 연 5.5%(사업 종료 후 30년까지)와 4.5%(사업 종료 후 31년~50년)의 할인률로 2013년 가치로 환산하면, 복원사업의 총현재비용은 2,963억 원으로 추정되었다.

사업에 따른 편익은 용봉천 복원에 대한 지불의사액을 CV를 통해 물어보는 방식으로 추정하였다. 설문조사 결과, 응답자들은 용봉천 복원사업을 위해 5년간 가구당 2,956원의 소득세를 추가로 낼 의사가 있었고, 여기에 전국 가구수 1,871만 가구와 연 5.5%의 할인율을 적용하면 총 편익은 2,238억 원으로 산정되었다. 여기에 총사업비, 연간 유지관리비, 분석 기간 종료 후 잔존가치를 추가로 고려한 B/C는 0.76, 순현재가치는 -725억 원으로 추정되었다. 즉, 용봉천 복원사업의 경제성이 없는 것으로 결론지었다.

김시현(2016)은 광주천 복원사업의 경제가치(편익)를 추정하는 연구를 수행하였다. 이 연구는 광주천 복원사업을 수질과 식생경관 개선, 주민시설 확충의 3가지 속성으로 구분하였다. CE를 적용하여 속성별 개선에 대한 경제가치를 추정하기 위하여 광주시민들 275명을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 분석 결과에 따르면 광주시민들은 수질 개선에 가장 큰 편익을 보여주었는데, 수질이 나쁜 수준에서 좋은 수준으로 향상될 때 가구당 연평균 5,392원의 지불의사액이 추정되었다. 식생경관 개선의 경우 현재 상태에서 조경화만 추가되는 경우와 조경화와 나무가 함께 추가되는 변화에 대해 가구당 연평균 약 4,000원의 가치가 있어서, 응답자들이 어떤 수준변화에는 민감하지 않다는 것을 보여주었다. 주민시설의 경우 현재 수준에서 15% 증설할 경우 가구당 연평균 2,471원, 30% 증설할 경우 1,947원의 지불의사액이 추정되어 지나친 편의시설 증설이 오히려 편익

을 감소시킬 수 있다는 것을 보여주었다.

3. 범위효과 검정을 위한 이산선택모형

도심하천복원 경제가치의 범위효과(scope effects)는 해당 사업의 공간적 범위와 소비자 범위로 편의상 나누어서 살펴볼 수 있다. 첫 번째 범위 효과는 복원사업 대상지 범위의 변화에 대해 소비자들이 얼마나 민감하게 그 지불의사액을 달리하는가 하는 것이라면, 두 번째 범위효과는 특정 복원사업에 대해 그 편의의 소비자 범위에 따라 평가 결과가 달라지는 현상을 의미하는데, 거리소멸현상(distance decay)과 관련된다(Bateman, Day, Georgiou and Lake, 2006). 본 논문에서는 첫 번째 범위효과(복원사업 대상지 범위)를 중심으로 이론적 모형을 제시하고 실증 사례연구를 통해 그 영향을 검정하였다.

공간적 범위효과는 가상적인 설문상황에서 경제가치를 도출하는 진술 선호법의 본질적인 약점인데(Arrow, Solow, Portney, Leamer, Radner and Schuman, 1993; Bateman et al., 2002; Venkatachalam, 2004), 특히 CV의 경우 평가 대상재의 크기가 커져도 그 경제가치가 민감하게 증가하지 않는 현상이 반복적으로 보고되고 있다(이기호·곽승준, 1996; Burrows et al., 2017; Frontuto et al., 2017; Borzykowski et al., 2018; Giguere et al., 2020). 반면, CE의 범위효과 민감도는 국내외 문헌에서 아직 명확하게 보고된 바가 없다. 도심하천과 같은 도시녹지는 공공재로 분류되는데(Kotchen and Powers, 2006), 수질조절과 도시열섬효과 예방, 친수활동 등 다양한 생태계서비스가 제공된다. 공공재적 성격의 하천이 복원된다면, 그 경제가치는 확률효용함수에 근거하여 구체화된다(Thurstone, 1927; McFadden, 1974). 도심하천의 복원을 통해 제공되는 생태계서비스의 변화상황 θ 에 대해서 응답자 q 가 느끼는 효용(U_{iq})은 설명이 가능한 간접효용함수(V_{iq})와 오차항(ε_{iq})으로 구성된다.

$$U_{iq} = V_{iq} + \epsilon_{iq} \quad (1)$$

동일한 하천에서 복원사업이 이루어져서 다양한 생태계서비스 X 가 공급되는 상황에서 CV와 CE 기법을 적용하여 지불의사액을 추정하는 일반적인 경제모형을 생각해볼 수 있다. 실험경제학적 목적으로 단순화한 상황에서 CV는 주어진 지불수준에 대해 특정대안상수 ASC^{CV} 가 상징하는 변화상황에 대하여 선택하거나($ASC^{CV}=1$) 거부하는($ASC^{CV}=0$) 양분선택모형(dichotomous choice models)으로 해석이 가능하다(McFadden, 2001; Sillano and de Dios Ortúzar, 2005; Choi, 2013). 그 간접효용함수는 Eq. (2)와 같다. 더불어, 변화 시나리오 일부가 달라질 경우, 그 차이를 더미변수 θ 로 포함시켜서 Eq. (3)으로 확대된다. CE의 경우에는 Eq. (4)와 같이 다양한 생태계서비스의 변화를 속성으로 구체화하는데, 특정대안상수 ASC^{CE} 는 “선택하지 않음” 대안이 선택질문에 주어진 다른 선택대안들에 비해서 독특하게 가질 수 있는 평균 효용을 나타낸다. 예로, 특정 속성 X_i 의 변화에 대한 한계지불의사액 추정을 위해서는 지불수단(화폐) 속성 X_m 과 함께 나머지 K 개 속성에 대한 파라미터 β 로 구성된 간접효용함수를 구축한다.

$$V_{iq}^{CV} = \beta_{qt} ASC^{CV} + \beta_{qm} X_m \quad (2)$$

$$V_{iq}^{CV} = (\beta_{qt}' + \beta_{qt}''\theta) ASC^{CV} + (\beta_{qm}' + \beta_{qm}''\theta) X_m \quad (3)$$

$$V_{iq}^{CE} = \alpha ASC^{CE} + \beta_{qt} X_t + \beta_{qm} X_m + \sum_{k=1}^K \beta_{qk} X_k \quad (4)$$

상기 선택모형들은 응답자들이 제공한 선택응답을 가장 잘 설명하도록 파라미터를 결정한다(최우도추정). 특히, 선호도 이질성과 설명되지 않는 영향들을 선택모형과 파라미터 추정에 반영할 수 있는 혼합로짓(mixed logit)의 사용이 권장된다(Louviere, Hensher and Swait, 2000; McFadden and Train, 2000; Train, 2003; Hensher, Rose and Greene, 2005). 한편,

신뢰타당한 지불의사액을 도출하기 위해서는 이렇게 추정된 확률파라미터 (random parameters) 값의 분포(응답자 개인별 조건적 추정치)를 그대로 쓰는 것보다, 그 표본평균 추정치를 사용하는 것이 신뢰도와 정확도가 높다 (Choi, 2020). 이러한 접근을 통해서 문헌에서 제기되고 있는 이산선택모형의 비현실적 한계를 극복할 수 있다(Sillano and de Dios Ortúzar, 2005; Daly, Hess and Train, 2012; Choi, 2020). 즉, 하천복원을 통해 제공되는 특정 생태계서비스 β_t 의 평균 한계지불의사액은 Eq. (5)와 같다. 또한, Eq. (3)과 같이 차별화된 복원 시나리오의 영향을 포함할 경우에는 Eq. (6)이 된다.

$$WTP = - \frac{\bar{\beta}_t}{\bar{\beta}_m} \tag{5}$$

$$WTP = - \frac{\bar{\beta}_{qt}' + \bar{\beta}_{qt}''}{\bar{\beta}_{qm}' + \bar{\beta}_{qm}''} \tag{6}$$

실험경제학적 접근을 위해서 하천복원사업 대상지 A1에서 복원활동이 일어나고 생태계서비스가 증가되어 소비자잉여가 지불의사액 WTP_{A1} 가 추정되는 상황을 가정할 수 있다. 여기에서 다른 하천복원사업이 A1를 포함하여 더 큰 규모의 대상지역 A2에 대하여 진행되고(예, $A2 = 2 \times A1$) 지불의사액 WTP_{A2} 가 추정되었다면, 이 두 가지 추정치의 관계를 가설로 설정할 수 있다. H_a 는 전통적인 기대 논리를 적용한 것으로 복원사업 범위가 더 큰 하천복원사업의 경제가치가 더 큰 관계이다. 반대로, H_b 는 복원사업 대상지 크기와 관계없이 경제가치가 다르지 않은 관계를 표현한다. 하천복원사업의 비용 추계에서와 같이 일상적으로 예상되는 관계 H_a 는 복원사업 범위의 변화와 동일한 방향으로 소비자잉여에 차이가 발생하는 관계를 가정한다. 두 번째 가설 H_b 는 범위효과의 극단의 관계를 가정한다.

$$H_a : WTP_{A2} > WTP_{A1}$$

$$H_b : WTP_{A2} = WTP_{A1}$$

III. 데이터 수집

1. 하천복원 평가 항목 선정

광주천 하천복원의 경제가치 평가를 위한 항목은 최성록·성찬영·백효진 (2019)이 대전광역시의 하천복원의 경제가치 평가에 사용하였던 항목들을, 광주천 하천복원의 경제가치 평가항목은 문헌연구와 세차레 포커스그룹 인터뷰를 통해 수정 및 보완하여 도출하였다. 특히, 광주천의 경우 일부 구간이 현재까지 복개된 상태로 남아있어서 이를 하천복원의 평가 항목으로 추가하였다. 최종 도출된 광주천 하천복원의 경제가치 평가 항목은 <표 3>과 같이 수질, 하천내부 상태, 하천주변 상태, 생물다양성, 복개철거의 5개 항목이었다.

<표 3> 하천복원 경제가치 평가항목 및 속성별 수준 정의

항목	설명	낮은수준	중간수준	높은수준
		물놀이 불가능(4급수) ^a	수영 외 물놀이(3급수)	모든 물놀이(2급수)
수질	느껴지는 수질 (등급)			
		준설 통한 수량 유지	모래톱 형성, 풀 있음 ^a	커다란 모래톱, 수풀 우거짐
하천내부	하천내부 모습 (식생)			
		하상도로, 주차장 중심 ^a	운동시설, 잔디밭 중심	풍성한 나무 중심
하천주변	하천주변 모습 (홍수터의 포장, 시설물 설치 및 식생)			
		거의 없음	어류 16종 ^a	어류 24종
생물다양성	하천 내 서식 물고기 종 수			
		철거 없음 ^a	복개상가 철거	상가+교각도로 철거
복개철거	복개공간 철거 (교각도로, 복개상가)			

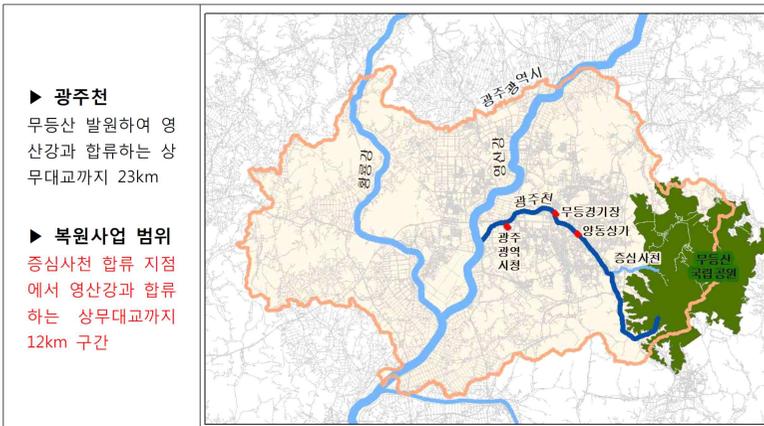
^a 각 속성별 현재 수준을 나타냄

2. 설문지 구성

설문지는 크게 세 부분으로 구분하였다. 첫번째 부분에서는 응답자들이 설문지의 목적과 평가 대상을 이해할 수 있도록 기본적인 정보를 제공하였다. 주어지는 정보가 너무 자세하거나 자극적인 이미지(예, 도움이 필요한 사람이나 동물의 사진)는 설문지의 목적을 왜곡하거나 응답자의 감성을 불필요하게 자극할 수 있기 때문에, 최대한 절제된 용어와 필수적인 정보를 제공하도록 하였다. 복원사업 대상지역 설정을 명확하게 하기 위하여 광주천의 위치와 관리 현황 등에 대한 간략한 내용이 우선적으로 포함되었다. 예로, 설문지에 사용되었던 광주천 소개 설명은 <그림 1>과 같다. 이어서 응답자들이 광주시 하천(광주시 응답자들의 경우) 혹은 현재 거주지 주변 하천(수도권 응답자들의 경우)에 대한 방문경험에 대한 질문으로 자연스럽게 이어졌다. 하천에 대한 방문빈도와 방문수단, 체류시간 등에 대한 질문을 통해 평가 대상이 되는 하천의 주요 항목 변화와 응답자의 관계성을 형성하였다.

<그림 1> 광주천 소개 내용

본 설문은 광주광역시 광주천의 복원사업에 한정된 것입니다.



두번째 부분으로, 이렇게 형성된 일반적인 관계성을 기반으로 광주천 복원을 통해 예상되는 주요 속성 변화의 경제가치를 추정하기 위한 일계를 구체화하였다. 이를 위해서 광주천의 변화를 정의하는 속성을 친숙하게 하고 현재 상황에 대한 인식을 확인하는 질문을 하였다. 이 과정에서 특히 어려운 점은 개별속성의 이해와 더불어 전체 하천의 상태를 비교할 수 있도록 인지된 선택상황을 구축하는 것이었다. 그래서 개별 속성의 수준을 묻는 질문에 이어서 <그림 2>와 같이 광주천의 현재 모습에서 전체적으로 개선되는 복원 시나리오를 제시하고 CV 응답을 유도하여 지불수단이 되는 부담금과 자연스럽게 연계되도록 하였다. 특히, 복개철거에 대한 시민들의 선호도를 확인하기 위해 <그림 2(a)>는 복개철거가 없는 복원 시나리오에 대한 지불의사액(CV1)을, <그림 2(b)>는 복개철거가 있는 복원 시나리오에 대한 지불의사액(CV2)을 묻도록 준비하여 무작위로 선정하여 응답자들에게 제공하였다.

경제가치 평가를 위한 질문은 무작위로 선정된 CV질문 1개와 CE질문 6개로 구성된 7개의 질문을 하나의 꾸러미로 개별 응답자에게 제공하였는데, 관련 질문 직전에 이 사실을 응답자들에게 명확하게 전달하였다. 각 꾸러미의 처음 질문은 복원에 따른 하천의 변화상황을 판단하여 지불의사액을 답하도록 CV 방식으로 제공하였다. CV 질문은 <그림 2>와 같이 주어진 부담금 범위를 0원에서 50,000원까지 설정하고 응답자의 지불의사를 직접 표출하도록 지불카드(또는 지불사다리) 형식을 적용하였다(Sillano and de Dios Ortúzar, 2005; Choi, 2013). 이후에 제공되는 나머지 6개 질문에서는 <그림 3>과 같이 개인 부담금도 다른 속성과 동일하게 변하도록 하였다.

〈그림 2〉 복개철거 없거나(CV1) 있는(CV2) 하천복원 시나리오

(a) 복개철거 없는 시나리오(CV1)

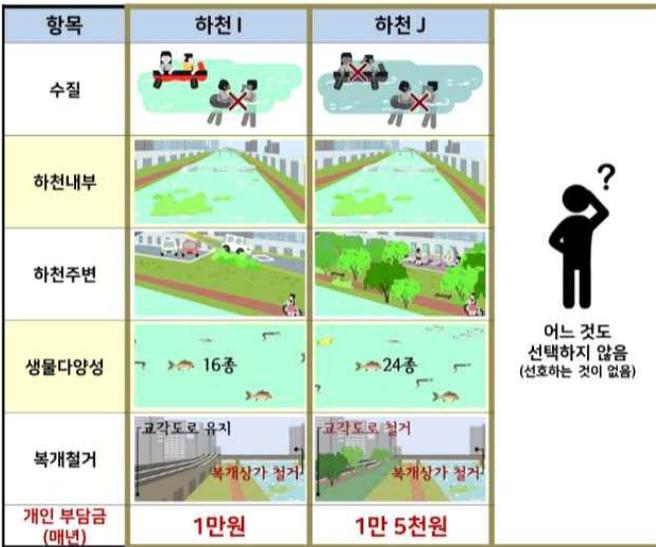
(b) 복개철거 있는 시나리오(CV2)



〈그림 3〉 광주천 선택질문 예시

C5 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어진다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하시니까?**

단수응답



하천 I 하천 J 선택 안함

본 연구의 목적을 고려했을 때 하천복원사업 범위를 설문 응답자들에게 명확하게 전달하는 것이 매우 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 이유로 설문지에는 <표 4>에 있는 범위 표시 이미지와 <그림 1>의 설명을 이용하여 총 3회 대상지 범위를 간략하고 명료하게 전달하였다. 특히, 이미지는 한 장의 독립된 화면에 “복원사업 범위는 아래와 같습니다”라는 문구 아래에 크게 표시되었다. 이러한 메시지가 전달되었던 구체적인 설문지 위치는 (1) 광주천을 소개하는 장면(<그림 1>), (2) 광주천의 현재 상황을 묻기 직전 독립된 한 장의 그림, (3) 그리고 가치평가가 질문을 하기 직전 독립된 한 장의 그림이었다. 결과적으로 해당 복원사업 대상지 범위를 반복적으로 그리고 명확하게 전달할 수 있었다.

3. 실험설계 및 조사설계

광주천 복원을 설명하는 속성들은 하천복원을 설명하는 4개의 비화폐 속성과 1개의 구조적인 속성(복개철거), 1개의 화폐 속성, 총 6개로 구성되었다. 결과적으로, 변화되는 수준이 3개인 범주형 속성이 4개, 수준 2개의 더미형 속성 1개, 연속형 속성 1개를 대상으로 의미있는 선택질문(초이스 세트)으로 구성하기 위해서 필요한 최소 자유도는 11이다(Hensher et al., 2005). 따라서 관련된 속성의 수준들을 균등하게 나타내도록 설계하기 위해서는 2와 3의 배수가 되는 12개의 선택질문이 되도록 설계하였다. 응답자 개인에게는 처음 6개 혹은 뒤의 6개를 무작위로 배정하여 응답하도록 하였다. 또한, CV질문은 <그림 2>의 두 가지 시나리오 중 1개가 무작위로 배정되었는데, CE질문 6개의 배정과 독립되도록 설계하였다. 선택질문에 대한 최종 실험설계는 사전조사(n=200) 추정 결과를 priors로 이용하여 효율설계(D-error efficient designs)가 되도록 하였다(Ferrini and Scarpa, 2007). 사전조사는 2019년 6월에 광주시민을 대상으로 실시하였다.

〈표 4〉 광주천 표본 구성과 조사설계

표본 구분	모집단	사업 범위	범위 표시 ^a	표본크기	CV질문
S1	광주시	구도심 6km		500	무작위
S2	광주시	전체 12km		500	무작위
S3	수도권	구도심 6km		493	무작위
S4	수도권	전체 12km		300	무작위

^a 한 장의 독립된 화면에 “복원사업 범위는 아래와 같습니다”라는 문구 아래에 해당 이미지가 크게 표시되었음

도심하천복원의 사업 범위 변화가 지불의사액에 주는 영향을 검정하기 위해서 〈표 4〉과 같이 4개의 설문조사를 독립적으로 진행하여(a split-sample survey) 외부범위검정을 가능하게 하였다. 설문조사는 광주천 복원사업 대상지의 크기와 설문 대상지에 차이가 있다는 것을 제외하고는 다른 모든 것들이 동일하였다. 광주천 복원의 범위는 구도심 6km만을 대상으로 하는 표본 S1과 S3, 구도심과 하류를 포함하는 전체 12km를 대상으로 하여 S2와 S4로 나누어진다. 설문의 대상은 S1과 S2는 광주시민, S3와 S4는 수도권(서울, 인천, 경기) 거주자로 하였다. 수도권 거주자를 비교 표본으로 설정한 이유는 많은 경우 공공재에 대한 경제가치가 지역주민과 외부 거주자들 사이에 유의한 차이를 보여주고 있어서(Concu and Atzeni, 2012; Kim, Mjelde, Kim, Lee and Ahn, 2012; Rolfe and Windle, 2012), 범위효과를 추가적으로 검정하기 위한 것이다.

개별 표본의 구성(수집)은 응답자의 거주지역(광주표본 행정자치구)과 성별, 연령대를 기준으로 인구통계에 맞도록 무작위 할당하는 층화추출방식(stratified random sampling)으로 2019년 8월~9월에 진행하였다. 설문 조사는 주어진 연구예산의 제약으로 온라인으로 진행하였으며, 광주표본 S1과 S2는 각각 500명, 수도권표본은 S3 300명과 S4 493명으로 설계하였다. S4는 별도 연구에서 진행하였던 전국표본 1,000명에 포함된 수도권 응답자를 활용하였다.

IV. 분석 결과

1. 응답자 특성

광주시 응답자 1,000명과 수도권 응답자 793명의 특성을 표본별로 비교해보면 <표 5>과 같다. 대부분의 구성 비율에 있어서 S1과 S3, 그리고 S3와 S4가 거의 유사한 구성을 보여주고 있다. 한 달에 한 번 이상 하천을 방문하는 응답자를 “사용자”로 구분하여 그 비율을 비교해 보았다. 광주시민은 전체 응답의 약 50%, 수도권시민은 전체 응답의 약 60%가 사용자로 분류된다. 광주시민의 하천 방문 빈도가 수도권의 이용 빈도에 비해 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

추가로, 광주시에서 광주천이 지니고 있는 상징성(중요성)을 물었을 때 광주표본과 수도권표본 모두 유사하게 광주천을 중요한 공간이라 생각하고 있음을 확인하였다. 광주시 응답자의 약 70%가 광주천이 지역 내에서 중요하고 상징적인 공간으로 인식하고 있으며, 수도권 응답자는 약 63%도 이와 같이 인식하고 있었다.

<표 5> 응답자 특성 및 인근 도심 하천 이용 행태 비율(%)

변수	광주시		수도권		
	S1(n=500)	S2(n=500)	S3 (n=300)	S4(n=493)	
성별	남	49.60	49.80	49.67	49.29
	여	50.40	50.20	50.33	50.71
연령	19~29	22.00	23.00	20.33	19.88
	30~39	21.40	20.40	17.33	19.68
	40~49	23.20	24.00	22.33	21.70
	50~59	23.00	22.20	18.67	20.89
학력	고졸 이하	20.20	22.60	19.67	21.91
	대학 이상	79.80	77.40	80.33	78.09
월소득 (만원)	300만 원 미만	31.60	35.80	23.00	25.96
	300~499만 원	35.80	31.60	33.67	35.50
	500~699만 원	19.20	19.80	23.33	23.94
	700만 원 이상	13.40	12.80	20.00	14.60
방문 빈도	주 3~4회 이상	4.00	4.40	12.33	11.56
	주 1~2회	17.00	17.60	22.33	19.27
경험 없음	월 1~2회	28.80	29.60	29.67	25.76
	연 1~2회	34.60	32.40	16.33	19.07
	경험 없음	15.60	16.00	19.33	24.34

2. 선택모형 분석 결과

선택모형 분석에는 Nlogit 4.0, 500 halton 추출을 사용하였다. 하천복원의 경제가치 추정 모형은 4개 표본을 대상으로 Eqs. (3)과 (4)를 적용하여 추정하였다. 추정된 총 8개 경제모형 분석 결과를 아래 <표 6>과 <표 7>에 정리하였다. CV 모형과 CE 모형 모두 분석신뢰도(Pseudo- R^2)가 각각 0.62과 0.30 이상으로 좋은 설명력을 보여주고 있다. CV 모형의 신뢰도는 양분형선택모형으로 전환함에 따라 과대추정되는 경향이 있다(Choi, 2013). CE를 적용한 경제모형의 파라미터 추정치는 화폐속성 등 대부분이 예상되는 부호를 보여주고 있으며 통계적으로 5% 수준에서 유의하였다.

<표 6> 복개철거 영향을 고려한 CV 선택모형 분석 결과

Variable	S1	S2	S3	S4
ASC ^a	10.1609**	9.45938**	9.4594**	8.9135**
PAY	-11.9423**	-11.5649**	-10.4008**	-9.7548**
Standard deviation parameters				
PAY:REMOVE ^c	0.8962*	0.6163	0.6163*	1.1129**
NsPAY ^b	6.6917**	6.3748**	6.3748**	6.3869**
Model fit				
LL	-793.1331	-786.75	-786.76	-858.60
X ²	2572.617**	2585.37**	2585.37**	2383.46**
Pseudo R ²	0.62	0.62	0.62	0.62
AIC	0.5314	0.52717	0.52717	0.5832
BIC	0.5394	0.53518	0.53518	0.5913
Respondents	500	500	300	493

^a ASC는 특정대안상수로 하천복원 시나리오 변화를 나타냄

^b 혼합로지트에서 설정하는 파라미터의 분포 특성으로 정규분포(Normal) 구조로 설정함. 표준편차가 0과 다른 값을 가지면 표본의 파라미터 값들이 통계적으로 의미 있는 분포를 가짐

^c 선호도 이질성의 원인으로 시나리오에 복개철거(REVOVE) 포함 유무를 effect-coding으로 처리함

* 5% 수준에서 유의, ** 1% 수준에서 유의

〈표 7〉 선택실험(CE)을 적용한 경제모형 분석 결과

Variable	S1	S2	S3	S4
ASC ^a	-4.4514**	-4.6560**	-4.6415**	-4.4137**
WA1	-0.6815**	-0.4722*	-0.0923	-0.1905
WA2	1.2370**	0.9085**	1.0122**	0.8879**
IN1	0.5435**	0.348***	0.1339	0.1192
IN2	0.1444	0.0959	0.2003	0.2179**
OUT1	-0.0933	0.0037	-0.0956	0.1435
OUT2	0.1770*	0.0628	0.2744**	0.2124**
BIO	-0.1285*	0.0833	0.1329	0.1186
RE1	0.3260**	0.1364	0.1575	0.1016
RE2	-0.1787	-0.0192	0.4178**	0.1868
PAY	-2.4661**	-2.9104**	-2.4517**	-1.8338**
Standard deviation parameters				
NsASC ^b	4.2882**	4.0875**	5.2402**	4.6103**
NsWA1 ^b	0.3845	0.0134	0.3269	0.0450
NsWA2 ^b	1.3716***	1.1461**	1.2539**	0.8945**
NsIN1 ^b	0.4302**	0.2492	0.3664	
NsIN2 ^b	0.2335	0.6911**	0.5146*	
NsOUT1 ^b	0.3675*	0.2722	0.6887**	0.2212
NsOUT2 ^b	0.2488	0.4865**	0.4558**	0.3052*
NsRE1 ^b	0.6811**	0.6055**	0.4475*	0.2611**
NsRE2 ^b	0.8358***	0.9964**	0.8715**	0.6609**
NsPAY ^b	2.1476**	2.7230**	2.5113**	0.9434**
Model fit				
LL	-2311.16	-2254.19	-1317.37	-2276.46
X ²	1969.36**	2083.29**	1320.26**	1946.47**
Pseudo R ²	0.30	0.32	0.33	0.30
AIC	1.5548	1.5168	1.4871	1.55271
BIC	1.5968	1.5588	1.5512	1.59323
Respondents	500	500	300	493

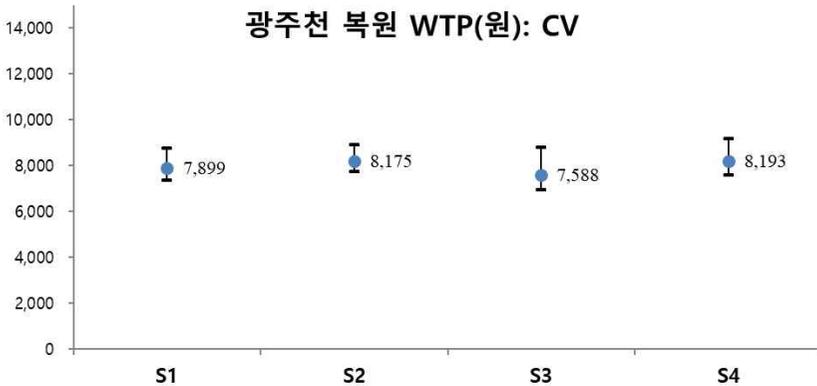
^a ASC는 특정대안상수로 “선택안함” 대안의 선택이 가지는 평균 효용을 보여줌
^b 혼합로지트에서 설정하는 파라미터의 분포 특성으로 정규분포(Normal) 구조로 설정함. 표준편차가 0과 다른 값을 가지면 표본의 파라미터 값들이 통계적으로 의미 있는 분포를 가짐
 * 5% 수준에서 유의, ** 1% 수준에서 유의

3. CV에 근거한 경제가치 및 가설검정

CV를 이용하여 추정된 분석결과(〈표 6〉)를 바탕으로 복개철거가 없는 복원사업 시나리오에 대한 평균 지불의사액(CV1)을 표본별로 추정하였다. 그리고 〈그림 7〉과 같이 추정치 사이의 통계적 관계를 검정하기 위해서 95% 신뢰구간도 함께 추정하였다(Krinsky and Robb, 1986). 하천복원 사업의 범위가 “구도심 6km” 또는 “구도심 6km과 하류 6km” 전체를 대

상으로 하거나 표본별 평균지불의사액(중간값)은 대략 1인당 매년 7,600 원~8,200원으로 광주 응답자와 수도권 응답자가 유사하게 추정되었다. 이 수치는 2016년 한국개발연구원에서 추정했던 가구당 3,000원의 2.5배가 넘는다. 주어진 95% 신뢰구간을 함께 고려하면 4개 추정치 모두가 5% 수준에서 다르다고 할 수 없어서 H_a 는 기각하고 H_b 를 채택한다. 특히, 사업 범위가 매우 다른 하천복원에 대한 경제가치 등가성은 지역주민들 뿐만 아니라 전국민들이 모두 노출된 문제라고 하겠다. 이러한 결과는 CV가 범위 효과에 취약한 문제가 있거나 지불주기 차이에 둔감하다는 국내외 선행연구 결과와 일치한다(이기호·곽승준, 1996; Burrows et al., 2017; Frontuto et al., 2017; Borzykowski et al., 2018; Giguere et al., 2020).

〈그림 7〉 CV1질문을 이용한 지불의사액(원) 추정 결과



한편, 복개철거 유무에 따른 경제가치 영향은 Eq. (3)에 따라 〈표 6〉의 내용과 같이 대부분 표본에서 유의했으나, 전체 구간을 대상으로 복원을 하는 광주표본 S2에서는 5% 수준에서 유의하지 않았다. 수도권표본 S3과 S4에서는 약 1인당 매년 2,000원의 평균지불의사액이 있는 것으로 추정되었다. 구도심 구간에서 복원을 하는 광주표본 S1은 약 1인당 매년 1,000원의 평균지불의사액이 있었다. 이 추정치들은 2016년 한국개발연구원에서 추정했던 가구당 1,200원과 유사한 수준이다.

4. CE에 근거한 경제가치 및 가설검정

CE를 적용한 모형들의 경제가치는 <표 8>과 같이 복원사업 전체 가치를 추정하기 전에 개별 속성들의 수준변화에 대한 응답자들의 지불의사액을 추정하였다. 개별 수준변화에 대한 한계가치가 가장 큰 것은 수질개선 속성인데, 이것은 김시현(2016)이 보고한 결과와 일치한다. 특히, 4급수에서 2급수로 개선되는 것에 대해서 수도권 표본은 구도심 구간 복원과 전체 복원 사이에 1인당 매년 8,300원과 9,700원의 평균 지불의사액이 각각 있는 것으로 추정되었다. 이들 수치는 5% 수준에서 유의하게 다르다고 할 수 없다(Poe, Giraud and Loomis, 2005). 반면, 광주시민은 구도심 복원의 경우 1인당 평균 매년 7,300원의 가치가 있어서, 전체 복원에 대한 4,600원 보다 5% 수준에서 유의하게 커서 상반된 범위효과를 보여주었다. 또한, 4급수에서 물놀이가 불가능한 3급수로 개선되는 변화에 대해서 광주시 응답자들은 수도권 응답자들과 다르게 부정적인 선호도를 보여주었다.

<표 8> CE를 적용한 지불의사액(원) 추정 결과

Variable	S1	S2	S3	S4
WA1	-511	-124	4,129	4,842
WA2	7,269	4,620	8,257	9,684
IN1	4,408	2,395	0	1,188
IN2	2,204	1,197	0	2,376
OUT1	718	0	1,119	1,158
OUT2	1,435	0	2,239	2,317
RE1	2,644	0	1,704	0
RE2	1,322	0	3,408	0
BIO	-1,042	0	0	0
Total	9,866	5,818	10,496	14,377

두 번째로 광주천 복원에 중요한 속성은 하천내부 속성인데, 현재의 작은 모래톱과 수풀이 있는 수준에서 준설을 통해 수량을 확보하는 것에 대해서 광주시 응답자들은 큰 모래톱과 수풀이 우거지게 변하는 것보다 5%

수준에서 유의하게 선호하는 반면, 수도권 응답자들은 반대의 성향을 보였다. 복원 범위에 대해서도 수질의 경우와 유사하게 광주시민들은 구도심 구간에서만 사업이 진행되는 것을 선호하는 반면, 수도권 주민들은 전체 구간에서의 복원을 선호하였다. 또한 광주천에 생물다양성이 증가하는 것에 대해서도 광주표본과 수도권표본 모두에서 가치를 부여하지 않거나 부정적인 선호도를 보였다. 하천복원사업 범위와 대상 표본의 차이에서 오는 이러한 상반된 경향은 하천외부 변화에 대해서도 유사했지만, 두드러진 공통점은 광주표본과 수도권표본 모두에서 전체 구간에서의 복개철거에는 가치를 부여하지 않는 반면, 구도심에서의 철거와 복원에 대해서는 1인당 평균 매년 1,300원~3,400원의 지불의사액을 보여주었다.

복원 구간 차이에 따른 지불의사액 차이의 원인을 설명하기 위해 속성별로 추정된 한계지불의사액을 바탕으로 CV1과 동일한 하천복원 시나리오에 대한 편익을 계산하였다. 우선, 광주표본의 경우 <그림 8>과 같이 광주천 전체 복원의 편익은 1인당 매년 5,800원으로, 구도심 복원 편익 9,900원보다 5% 수준에서 유의하게 더 작다(Poe et al., 2005). 반면, 수도권 거주자들은 <그림 9>와 같이 전체 범위에 대한 1인당 평균 편익은 14,400원으로 구도심 범위의 10,500원보다 40% 크게 추정되었으나 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이는 아니다. 수도권 거주자들의 범위효과 경향은 제한적이지만 Lew and Wallmo(2011)의 연구 결과와 유사하다. 결과적으로, 광주표본의 경우 H_a 와 H_b 모두 기각하고, 수도권표본의 경우 H_a 는 기각하고 H_b 는 채택한다.

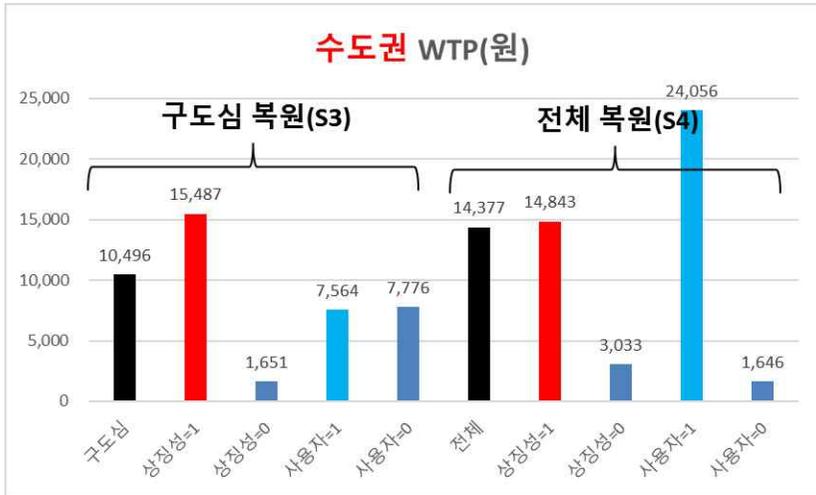
〈그림 8〉 광주표본의 광주천 구도심(a)과 전구간(b) 경제가치 비교



선택모형의 분석에 혼합로짓을 쓰는 이유는 선호도이질성을 모형에 반영하고 그 원인을 찾아볼 수 있는 강점 때문이다. <그림 8>에서 보여주고 있는 것과 같이 거주자 위치를 구도심과 하류(서구), 광산구 지역으로 나누었을 경우, 전체 범위에 비해서 구도심 범위에서 1인당 편익이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 하류에 거주하는 응답자들이 전체 구간 복원에 대한 편익은 1인당 평균 매년 1,300원인데 반해, 구도심 구간 복원에 대한 편익은 14,000원으로 거의 10배 차이를 보여주어서, 다른 지역 거주자들에 비해서 그 차이가 가시적으로 컸다. 또한, 광주천이 광주시를 대표하는 상징성을 가지고 있다고 믿는 응답자들과 한달에 1회 이상 주변 하천을 사용하는 응답자들도 전체 범위보다 구도심 범위를 복원할 때 더 높은 편익을 향유하는 것으로 나타났다. 특히, 선호도 이질성은 수도권표본의 경우 <그림 9>와 같이 광주천 복원의 범위 변화에 가장 민감한 사람들은 현재 거주지 주변 하천을 한달에 1회 이상 사용하는 응답자들이고, 광주천의 상징성을 인정하는 사람들은 사업범위 변화에 민감하지 않았다.

광주천의 복원 범위가 확대되어도 광주시민들이 느끼는 경제가치는 유사한 비율로 함께 증가하지 않는다는 추정 결과는, 광주천의 상징적 대표성이 구도심이라는 장소적 특수성과 연계하여 그 복원가치가 상승하는 현상을 잘 보여준다. 이 결과는 도심하천복원에 따른 경제적 편익은 인간들이 형성한 장소성(관계가치)을 반영하고 그 차별성을 가치의 차이로 보여주어야 한다는 것을 시사하는데(Pascual et al., 2017), 생태계 유형 또는 그 면적에 따라 획일한 경제가치를 부여하는 현재와 같은 생태계서비스 관리 제도가 이와 같은 장소성을 반영하고 있는지는 의문이다.

〈그림 9〉 수도권표본 경제가치 비교



5. 비용편익분석 결과 비교

이렇게 추정된 4개 표본을 이용하여 상징적 하천복원 시나리오에 대해서 비용편익분석을 수행하였다. 기준연도는 2019년, 공사기간은 4년(2019년~2022년), 이후 분석기간은 50년(2023년~2072년)으로 하였다(한국개발연구원, 2008). 할인율은 「예비타당성조사 수행 총괄지침」에 따라서 사업종료부터 30년까지는 4.5%, 31년부터 50년까지는 3.5%를 적용하였다. 비용은 기존에 수행했던 예비타당성조사의 수치를 근거로 양동상가와 천변 교각도로 철거비를 2019년 가치로 환산하여 계산하였다(한국개발연구원, 2016). 더불어, 수질개선을 위한 비용은 향후 광주천 유지용수 전량(10만 톤/일)을 주암댐 상수로 공급하는 경우로 연간 42.7억 원이 지출이 예상되었다. 편익 추정 기법에 따라 양동상가와 교각도로 전체 구조물을 그대로 유지하거나 철거하는 2개 상황과 4개 표본에 대해서 전체 16개 분석 결과를 〈표 9〉에 정리하였다. 특히, 수도권 표본(S3와 S4)의 지불의사액은 전국 평균과 유사하기 때문에(최성록·성찬용·유영화, 2019), 전국의 해당 인구수를 적용하여 비용과 편익을 계산하였다.

최종 B/C를 살펴보면, 구조물 철거가 없을 경우 CV와 CE에 관계없이 그리고 광주시민과 전국시민 모두에서 1 이상의 타당성을 보여준다. 반면, 양동상가와 교각도로 철거가 하천복원에 포함되는 경우 전국시민들에 대해서는 타당성이 있다는 일관된 결과를 보여주지만, 광주시민들(S1과 S2)은 대부분의 경우 B/C가 1보다 적다. 구도심을 사업범위로 하는 S1에 대해서 CE를 적용한 경우에만 1보다 큰 B/C를 보여준다. 즉, 비용편익분석은 적용된 편익 추정 기법과 복원사업 범위, 모집단에 따라서 전혀 다른 타당성 결과가 도출될 수 있다.

〈표 9〉 비용편익분석 추정 결과(백만 원)

	CV				CE				
	S1	S2	S3(전국)	S4(전국)	S1	S2	S3(전국)	S4(전국)	
총현재비용	89,315	97,029	89,315	97,029	89,315	97,029	89,315	97,029	
구조물 철거X	연간편익	9,314	8,947	335,557	336,268	11,633	6,860	430,795	590,102
총현재편익	198,873	191,049	7,164,969	7,180,156	248,392	146,471	9,198,538	12,600,126	
B/C	2.23	1.97	80.22	74.00	2.78	1.51	102.99	129.86	
총현재비용	260,789	269,417	260,789	269,417	260,789	269,417	260,789	269,417	
구조물 철거O	연간편익	10,835	9,640	388,878	422,898	13,192	6,860	570,675	590,102
총현재편익	231,349	205,830	8,303,494	9,029,914	281,675	146,471	12,185,311	12,600,126	
B/C	0.89	0.76	31.84	33.52	1.08	0.54	46.72	46.77	

V. 결론

본 연구에서는 하천복원의 공간적 범위를 다르게 했을 때 광주천 복원에 따른 편익을 CV와 CE를 적용하여 추정하였다. 하천복원사업 대상지 범위 변화의 영향을 객관적으로 검증하기 위해서 광주표본 2개와 수도권 표본 2개를 독립적으로 수집하여 경제가치를 비교하였다. 분석 결과에 의하면, 모집단의 변화에 따라 하천복원사업의 경제가치에 대한 범위효과가 상반될 수 있다는 것을 검증하였다. 또한, 경제가치를 추정하는 기법에 따라 범위효과에 대한 민감도에 큰 차이가 있다는 것을 확인하였다.

경제가치 평가 기법 중 CV를 이용하여 추정한 지불의사액은 모집단의 차이에 관계 없이 복원 범위효과가 나타나지 않았으나(1인당 매년 평균 7,600원~8,200원), 복개철거와 같은 구조적 변화에는 유의한 차이를 보였다. CE로 추정된 지불의사액은 광주표본의 경우 전체 복원 범위에 대해서 1인당 평균 5,800원, 구도심에 대해서는 9,900원으로 추정되어, 복원 범위보다 장소성을 중요하게 반영하는 것으로 나타났다. 특히, 광주천 하류(서구) 거주자들은 전체 범위에 대해서 1,300원의 지불의사액을 보여줬으나, 구도심에 대해서는 14,000원의 지불의사액을 보여줘서 그 편익 차이가 컸다. 반면, CE를 적용한 수도권 응답자들은 광주천 구도심 복원 10,500원과 전체 복원 14,400원으로 제한된 범위효과를 보여주었다.

하천복원의 대상지 범위 차이에 있어서 일반 국민들은 상대적으로 객관적인 편익을 표출하는 경향이 있어서 공간적 범위가 늘어나면 편익도 같이 증가하는 개연성을 보여준다. 반면, 하천복원이 이루어지는 해당 지역의 거주자들은 그 장소적 특수성을 근거로 변화에 대한 선호를 형성하기 때문에 일반 국민들과 상반된 범위효과를 보였다. 이러한 특수성을 견인하는 주된 원인으로 응답자 개개인이 광주천의 지역 상징성을 인지하는 정도와 거주지 주변의 하천 사용여부가 있었다.

마지막으로, 하천복원을 통한 생태계서비스의 개선에 대한 편익을 추정하는 기법에 큰 차이가 있어서 주의가 요구된다. 한국개발연구원(2016)에서 CV를 적용하여 수행했던 용봉천 복원과 양동상가 철거를 통한 광주천 복원에 대한 전국 가구 평균 연간 지불의사액은 각각 3,000원과 1,200원이었다. 물론, 지불단위가 달라서 직접적인 비교는 어렵겠지만, 이번 연구에서 CV를 이용하여 추정된 광주천 복원에 대한 1인당 연간 평균 지불의사액은 대상지 범위에 관계없이 약 8,000원으로 추정되었다. 또한 하천복원에 복개구조물 철거가 포함되면 수도권 주민들은 1인당 매년 평균 2,000원, 광주시 주민들은 구도심을 대상으로 할 경우에만 1,000원의 지불의사액을 보여주었다.

이러한 결과를 종합적으로 고찰해 보면, 국내외 문헌에서 지속적으로

강조되고 있듯이 CV 기법은 복원사업 범위 변화에 따른 편익의 변화, 즉 범위효과에 민감하지 않다는 것을 검정하였다(이기호·곽승준, 1996; Burrows et al., 2017; Frontuto et al., 2017; Borzykowski et al., 2018; Giguere et al., 2020). 그럼에도 불구하고, CV는 복개공간 철거와 같은 가시적인 구조 변화에 대해서 특정한 경우에는 그 편익도 민감하게 반응하였다. 반면, CE 기법은 해당지역의 특수성을 반영하여 편익을 추정할 수 있는 잠재성을 보여주었다. 비용편익분석에서 복원사업 대상별로 그 공간적 범위의 특성을 변수로 하여 전국민의 일반적 선호도와 지역주민의 특수한 선호도를 함께 고려하여 의사결정을 하는 정책적 개선이 요구된다. 예비타당성조사나 생태계서비스 관리 등 정책의사결정에 있어서 범위 효과에 대한 더 세심한 주의가 요구된다.

■ 참고문헌 ■

- 국토연구원, 2011, 『하천복원사업의 사회·경제적 평가』, 안양: 국토연구원.
- 김시현, 2016, “선택실험법을 이용한 광주천 복원 속성별 후생변화 추정,” 석사학위논문, 서울대학교, 서울.
- 김종호·김래현·윤호중·이승우·최형태·김재준 등, 2012, “산림공익기능의 경제적 가치 평가,” 『한국산림휴양학회지』, 16(4), pp.9-18, DOI: 10.34272/forest. 2012.16.4.002.
- 대한민국 정부, 2017, 『100대 국정과제』, 서울: 대한민국 정부.
- 엄영숙, 2015, “영덕오십천 환경개선용수 공급의 경제적 편익측정: CVM 적용에 있어 저응답의 처리와 거리소멸함수,” 『자원환경경제연구』, 23(2), pp.435-461.
- 이기호·곽승준, 1996, “수질개선의 화폐적 가치: CVM과 비구분 효과,” 『자원경제학회지』, 6(1), pp.87-109.
- 이미연·정인수, 2012, “도심 하천복원사업을 위한 사후 비용편익 항목 및 분석방안 제시: 청계천 복원사업을 사례로,” 『환경정책연구』, 11(3), pp.67-96, DOI: 10.17330/joep.11.3.201209.67.
- 이희찬, 2015, “선택실험법을 이용한 경안천 하천공간 복원의 가치 평가,” 『관광학연구』, 39(9), pp.47-60, DOI: 10.17086/JTS.2015.39.9.47.60.
- 최성록·성찬용·백효진, 2018, 『생태계서비스 경제사회가치 평가 기법 개발: 도심하천 복원을 중심으로』, (NIE-전략연구: 2018-05), 서천군: 국립생태원.

- _____, 2019, “도심하천복원 경제가치 추정에서 사회구범편의 검증,” 『자
원환경경제연구』, 28(4), pp.645-673, DOI: 10.15266/KEREA.2019.28.4.645.
- 최성록·성찬용·유영화, 2019, 『생태계서비스 경제사회가치 평가 기법 개발: 하천복원
비용편익분석』, (NIE-전략연구; 2019-05), 서천군: 국립생태원.
- 한국개발연구원, 2008, 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구』,
(제4판), 서울: 한국개발연구원.
- _____, 2016, 『2016년도 예비타당성조사 보고서 광주천 도심하천 생태복원(지
방하천정비)사업』, 세종: 한국개발연구원.
- 한국개발연구원 공공투자관리센터·한국환경경제학회, 2012, 『예비타당성조사를 위한
CVM 분석지침 개선 연구』, 서울: 서울: KDI 공공투자관리센터; 한국환경경
제학회.
- 환경부·한국환경공단, 2011, 『생태하천 복원 기술지침서』, 과천: 환경부.
- _____, 2014, 『생태하천 복원사업 사업효과 분석 연구』, 인천: 한국환경공단.
- Arrow, K., R. Solow, P. R. Portney, E. E. Leamer, R. Radner, and H. Schuman, 1993,
“Report of the NOAA panel on contingent valuation,” *Federal Register*,
58(10), pp.4601-4614.
- Bateman, I. J., R. T. Carson, B. Day, M. Hanemann, N. Hanley, and T. Hettet et al.,
2002, *Economic valuation with stated preference techniques: A manual*,
Northampton, MA: Edward Elgar.
- Bateman, I. J., B. H. Day, S. Georgiou, and I. Lake, 2006, “The aggregation of
environmental benefit values: Welfare measures, distance decay and total
WTP,” *Ecological Economics*, 60(2), pp.450-460, DOI: 10.1016/j.ecolecon.
2006.04.003.
- Borzykowski, N., A. Baranzini, and D. Maradan, 2018, “Scope effects in contingent
valuation: Does the assumed statistical distribution of WTP matter?,”
Ecological Economics, 144, pp.319-329, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.
09.005.
- Burrows, J., R. Newman, J. Genser, and J. Plewes, 2017, Do contingent valuation
estimates of willingness to pay for non-use environmental goods pass the
scope test with adequacy? A review of the evidence from empirical
studies in the literature, In D. McFadden and K. Train (Eds.) *Contingent
valuation of environmental goods*, (pp.82-152), Cheltenham, UK and
Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Choi, A. S., 2013, “Nonmarket values of major resources in the Korean DMZ areas:
A test of distance decay,” *Ecological Economics*, 88, pp.97-107, DOI:
10.1016/j.ecolecon.2013.01.014.

- _____, 2020, "The impact of arbitrary constraints over the payment parameter on WTP: A case of a normally distributed random parameter," *Journal of Environmental Economics and Policy*, 9(2), pp.125-139, DOI: 10.1080/21606544.2019.1614482.
- Concu, N. and G. Atzeni, 2012, "Conflicting preferences among tourists and residents," *Tourism Management*, 33(6), pp.1293-1300, DOI: 10.1016/j.tourman.2011.12.009.
- Costanza, R., R. de Groot, P. Sutton, S. van der Ploeg, S. J. Anderson, and I. Kubiszewski et al., 2014, "Changes in the global value of ecosystem services," *Global Environmental Change*, 26, pp.152-158, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.
- Díaz, S., S. Demissew, J. Carabias, C. Joly, M. Lonsdale, and N. Ash et al., 2015, "The IPBES conceptual framework — Connecting nature and people," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, pp.1-16, DOI: 10.1016/j.cosust.2014.11.002.
- Daly, A., S. Hess, and K. Train, 2012, "Assuring finite moments for willingness to pay in random coefficient models," *Transportation*, 39(1), pp.19-31, DOI: 10.1007/s11116-011-9331-3.
- de Groot, R., L. Brander, S. van der Ploeg, R. Costanza, F. Bernard, and L. Braat et al., 2012, "Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units," *Ecosystem Services*, 1(1), pp.50-61, DOI: 10.1016/j.ecoser.2012.07.005.
- Ferrini, S. and R. Scarpa, 2007, "Designs with a priori information for nonmarket valuation with choice experiments: A Monte Carlo study," *Journal of Environmental Economics and Management*, 53(3), pp.342-363, DOI: 10.1016/j.jeem.2006.10.007.
- Frontuto, V., S. Dalmazzone, E. Vallino, and S. Giaccaria, 2017, "Earmarking conservation: Further inquiry on scope effects in stated preference methods applied to nature-based tourism," *Tourism Management*, 60, pp. 130-139, DOI: 10.1016/j.tourman.2016.11.017.
- Giguere, C., C. Moore, and J. C. Whitehead, 2020, "Valuing hemlock woolly adelgid control in public forests: Scope effects with attribute nonattendance," *Land Economics*, 96(1), pp.25-42, DOI: 10.3368/le.96.1.25.
- Hensher, D. A., J. M. Rose, and W. H. Greene, 2005, *Applied choice analysis: A primer*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnston, R. J. and M. Russell, 2011, "An operational structure for clarity in

- ecosystem service values,” *Ecological Economics*, 70(12), pp.2243-2249, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.07.003.
- Kim, J. Y., J. W. Mjelde, T. K. Kim, C. K. Lee, and K. M. Ahn, 2012, “Comparing willingness-to-pay between residents and non-residents when correcting hypothetical bias: Case of endangered spotted seal in South Korea,” *Ecological Economics*, 78, pp.123-131, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.04.008.
- Kotchen, M. J. and S. M. Powers, 2006, “Explaining the appearance and success of voter referenda for open-space conservation,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(1), pp.373-390, DOI: 10.1016/j.jeem.2006.02.003.
- Krinsky, I. and A. L. Robb, 1986, “On approximating the statistical properties of elasticities,” *Review of Economics and Statistics*, 68(4), pp.715-719, DOI: 10.2307/1924536.
- Lew, D. K. and K. Wallmo, 2011, “External tests of scope and embedding in stated preference choice experiments: An application to endangered species valuation,” *Environmental and Resource Economics*, 48(1), pp.1-23, DOI: 10.1007/s10640-010-9394-1.
- Louviere, J. J., 2001, Choice experiments: An overview of concepts and issues, In J. Bennett and R. Blamey (Eds.), *The choice modelling approach to environmental valuation*, (pp.13-36), Northampton, MA, USA: Edward Elgar.
- Louviere, J. J., D. A. Hensher, and J. D. Swait, 2000, *Stated choice methods: Analysis and applications*, Cambridge: Cambridge University Press.
- MA, 2005, *Ecosystems and human well-being: Synthesis (Millennium ecosystem assessment)*, Washington DC: Island Press.
- McFadden, D., 1974, Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in econometrics*, (pp.105-142), New York: Academic Press.
- _____, 2001, “Economic choices,” *American Economic Review*, 91(3), pp. 351-378, DOI: 10.1257/aer.91.3.351.
- McFadden, D. and K. Train, 2000, “Mixed MNL models for discrete response,” *Journal of Applied Econometrics*, 5, pp.447-470, DOI: 10.1002/1099-1255(200009/10)15:5<447::AID-JAE570>3.0.CO;2-1.
- Pascual, U., P. Balvanera, S. Díaz, G. Pataki, E. Roth, and M. Stenseke et al., 2017, “Valuing nature’s contributions to people: The IPBES approach,” *Current*

- Opinion in Environmental Sustainability*, 26, pp.7-16, DOI: 10.1016/j.cosust.2016.12.006.
- Poe, G. L., K. L. Giraud, and J. B. Loomis, 2005, "Computational methods for measuring the difference of empirical distributions," *American Journal of Agricultural Economics*, 87(2), pp.353-365, DOI: 10.1111/j.1467-8276.2005.00727.x.
- Rolfe, J. and J. Windle, 2012, "Distance decay functions for iconic assets: A ssessing national values to protect the health of the Great Barrier Reef in Australia," *Environmental and Resource Economics*, 53, pp.347-365, DOI: 10.1007/s10640-012-9565-3.
- Sillano, M. and J. de Dios Ortúzar, 2005, "Willingness-to-Pay estimation with mixed logit models: Some new evidence," *Environment and Planning A*, 37(3), pp.525-550, DOI: 10.1068/a36137.
- Thurstone, L. L., 1927, "A law of comparative judgement," *Psychological Review*, 34, pp.273-286, DOI: 10.1037/h0070288.
- Train, K., 2003, *Discrete choice methods with simulation*, Cambridge UK: Cambridge University Press.
- UKNEA, 2011, *The UK national ecosystem assessment technical report*, Cambridge: UNEP- WCMC.
- UKNEAFO, 2014, *UK national ecosystem assessment follow-on*, Cambridge: UNEP-WCMC.
- USEPA, 2015, *National ecosystem services classification system (NESCS): Framework design and policy application*, Washington DC: United States Environmental Protection Agency.
- Venkatachalam, L., 2004, "The contingent valuation method: A review," *Environmental Impact Assessment Review*, 24(1), pp.89-124, DOI: 10.1016/S0195-9255(03)00138-0.

[부록] 온라인 설문지 주요 장면 예시



EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%



본 설문조사는 국립생태원이 추진하고 있는 『하천복원 비용편익분석』 연구의 일환으로 국민 일반의 선호도를 조사하고 있습니다.

이 조사의 설문 응답에는 옳고 그른 답이 있는 것이 아니므로, 제시된 질문에 대해 충분히 생각하시고 귀하의 의견을 표시해 주시면 됩니다. 귀하의 의견은 정부가 추진하는 관련 정책 수립에 중요한 자료로 이용될 수 있으니 진지하고 성실한 답변을 부탁드립니다. 설문조사에서 밝혀주시는 귀하의 의견은 통계법에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며 통계적 분석을 위해서만 사용됩니다.

협조해 주셔서 감사합니다.

2019년 8월
연구책임자: 최성록 박사(국립생태원)
전 화: 041-950-5421
팩 스: 041-950-5921



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

연구책임자 : 국립생태원 최성록 박사(041-950-5421)

다음



EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%



본 설문은 광주광역시 광주천의 복원사업에 한정된 것입니다.

- ▶ **광주천**
무등산 발원하여 영산강과 합류하는 상무대교까지 23km
- ▶ **복원사업 범위**
구도심 6km + 하류 6km
(중심사천 합류 지점에서 영산강과 합류 지점 12km 구간)





광주천 하천관리 현황

- ▶ 1970년~1990년대 천변주차장 조성, 천변 교각도로 건설, 양동시장 복개
- ▶ 2000년대 이후 자연형하천정비 추진(아래 그림)



- ▶ 수질: 상류 좋음(일반적인 정수처리 후 생활용수 사용), 중하류 보통(일반적 정수처리 후 공업용수 사용, 고도의 정수처리 후 생활용수 사용)
- ▶ 유량: 영산강 하천수(6만여 톤/일) 상시 주입, 필요시 주암댐 원수(3만여 톤/일) 추가 주입
- ▶ 생물: 어류 16종, 조류 75종 서식
- ▶ 하천변: 자전거도로와 산책로, 체육시설 설치
- ▶ 하천이용: 구도심 구간 천변 교각도로, 양동상가 370m 구간 복개상가

광주천 하천관리 현황을 확인하신 후에 다음 버튼을 클릭해 주십시오



여러분들이 가지고 있는 경험과 생각을 알기 위해 몇 가지 질문을 드리겠습니다

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

1 귀하께서는 현재 귀하의 거주지 인근에 있는 하천을 방문한 적이 있습니까?

단수응답

예 아니오

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

2 귀하께서는 현재 거주지 인근 하천을 대략 얼마나 자주 이용하십니까?

단수응답

주 3~4회 이상 주 1~2회 한 달에 1~2회
 1년에 1~2회 방문경험 없음

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

2-1 귀하께서는 거주지 인근 하천에 오실 때 주로 어떤 교통수단을 이용하십니까?

단수응답

걷기 자전거
 자가용 버스/지하철
 택시 기타



EMBRRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%



2-2 귀하께서 **견기울/를** 이용하여 거주지 인근 하천까지 **오시는데 걸리는 시간은 얼마입니까?**

단수응답

10분 미만

10분 이상 ~ 20분 미만

20분 이상 ~ 30분 미만

30분 이상 ~ 1시간 미만

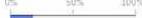
1시간 이상 ~ 2시간 미만

2시간 이상



EMBRRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%



2-3 귀하께서는 거주지 인근 하천을 주로 어떤 목적으로 이용하십니까?

단수응답

체력/건강 유지 (운동 등)

산책 및 휴식 (풍경 감상)

생태체험 (생물 채집 및 관찰 등)

통근 및 통학 (통과 및 이동)

수공간 이용 (물놀이 등 물과 접촉)

문화행사 참여

여가 및 교류 (가족/연인/회사/친구 등)

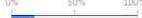
애완동물 산책

기타



EMBRRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%



2-4 귀하께서 거주지 인근 하천에 머무는 시간은 평균 어느 정도입니까?

단수응답

30분 미만

30분 이상 ~ 1시간 미만

1시간 이상 ~ 2시간 미만

2시간 이상

기타

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

2-5 귀하가 거주지 인근 하천에서 주로 이용하는 시설이나 장소는 어디입니까? ?

단수응답

자전거도로
 잔디밭, 풀밭
 각종 운동장 (게이트볼장 배드민턴장 등)
 다리 밑 그늘
 기타

산책로, 보행로
 체력단련시설 (운동기구)
 쉼터, 벤치, 파라솔
 수상레크레이션 시설 (카누, 수영 등)

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

3 귀하께서는 광주광역시 하천을 방문해 본 적이 있습니까?

단수응답

예
 아니오

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

3-1 귀하께서 방문해본 적이 있는 하천은 광주광역시의 하천 중 어느 곳입니까?

단수응답

광주천 및 주변
 영산강 및 주변
 황룡강 및 주변
 풍영정천 및 주변
 모르겠다

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

다음은 광주전에 관한 질문입니다.
광주전 방문경험이 없으셔도 그 현재 모습과 선호도에 대해 평가해주세요.

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

특원사업의 범위는 아래와 같습니다.

하류 6km 구도심 6km

영신강 무등아구장 중심사천

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

1-1 귀하께서는 현재 광주전이 어떤 공간이라고 생각하십니까?

단수응답

- 생활체육 운동공간
- 생태보존공간 및 생물서식지
- 도로 및 주차장
- 잘 모르겠다
- 휴식 및 여가공간
- 수변놀이 및 수상스포츠공간
- 홀수터 및 유사시 대피공간
- 기타



0% 50% 100%



1-2 귀하께서는 광주천이 **앞으로 어떤 모습**이 개선되었으면 좋겠습니까?

단수응답

- 생활체육 운동공간
- 생태보존공간 및 생물서식지
- 드론 및 주차장
- 잘 모르겠다

- 휴식 및 여가공간
- 수변놀이 및 수상스포츠공간
- 홍수터 및 유사시 대피공간
- 기타



0% 50% 100%



2 귀하께서는 광주천이 광주광역시를 대표하는 상징적 공간으로서 얼마나 중요하다고 생각하십니까?

매우 중요하다	중요하다	보통이다	중요하지 않다	전혀 중요하지 않다
<input type="radio"/>				



0% 50% 100%



3-1 귀하께서는 광주천의 유량을 유지하기 위해 **요원소**를 공급하고 있다는 사실을 알고 계십니까?

예
 아니오

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

3-2 현재 광주전에는 평상시 6만 톤/일(日)의 유입수가 공급되고 있고, 최대 24만 톤/일(日)까지 유입수를 공급할 수 있습니다. 귀하께서는 광주전의 **유입수**가 앞으로 어떤 상태가 되기를 바라십니까?

없음(0톤/일) 6만 톤/일 24만 톤/일

다 음

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

4-1 귀하께서는 광주전의 **소질**이 현재 어떤 상태라고 생각하십니까?

단수응답

물놀이 불가능(4급수) 수영 외 물놀이(3급수) 모든 물놀이(2급수)

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

4-2 귀하께서는 광주전의 **하천내부**가 현재 어떤 상태라고 생각하십니까?

단수응답

잡초를 통해 수량을 유지 모래톱 형성, 풀 있음 커다란 모래톱, 수풀 우거짐

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

4-3 귀하께서는 광주천의 **하천 주변이** 현재 어떤 상태라고 생각하십니까?

단수응답

하상도로, 주차장 중심
 운동시설, 잔디밭 중심
 동성한 나무 중심

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

4-4 귀하께서는 광주천의 **생물다양성은** 아래 세 가지 중에 현재 어떤 상태에 가장다고 생각하십니까?

단수응답

거의 없음
 어류 16종
 어류 24종

EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

양동상가



교각도로



4-5 광주천 구도심 구간에서는 하천을 구조물로 덮어서(복개) 그 공간을 활용하고 있습니다. 양동상가는 하천공간 전체를 370m 복개하여 사용하고 있습니다. 또한 구도심 구간의 제방 안쪽으로 편도 4차선의 교각도로가 있습니다. 귀하께서는 이러한 복개공간 철거가 현재 어떤 상태라고 생각하십니까?

① 철거 없음



② 복개상가 철거



③ 상가+교각도로 철거



EMBRAIN
a Macromill Group company

0% 50% 100%

복원사업의 범위는 아래와 같습니다.

하류 6km **구도심 6km**



영신강 무등야구장 중심시천

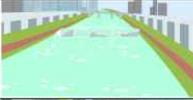
EMBRAIN
a Macromill Group company



0% 50% 100%



귀하께서 생각하는 현재 나의 광주천 모습은 아래와 같습니다.

항목		나의 광주천 모습
수질	느껴지는 수질	
하천내부	하천 내부 모습	
하천주변	하천 주변 모습	
생물다양성	물고기 종 수	
복개철거	복개공간 철거	

광주 하천의 현재 모습을 확인하신 후에 다음 버튼을 클릭해 주십시오

EMBRAIN
a Macromill Group company



0% 50% 100%



다음의 7개 질문에서는 광주천의 복원과 관리를 위해 **귀하가** 가장 선호하는 것을 선택해 주세요.

귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하고, 불성실한 답변은 설문결과에 부정적인 영향을 줄 수 있습니다.

CV1

하천을 복원하거나 잘 관리하기 위해서는 많은 비용과 노력이 필요합니다. 만약 광주천에 다음과 같은 변화를 만들 수 있다면 **귀하는 개인적으로 매년 얼마의 부담금을 지불할 의향이 있으십니까?**
(※ 부담금이란 하천복원과 같은 공익사업을 위해 국민 개인이 부담해야 하는 금액 의미)

단수응답

항목	현재 모습	복원 후 모습
수질 느껴지는 수질		
하천내부		
하천주변		
생물다양성 물고기 종 수	16종	24종
복개철거 복개공간 철거	교각도로 유지 복개상가 유지	교각도로 유지 복개상가 유지

- 0원 5천원 1만원 2만원
 3만원 4만원 5만원 이상

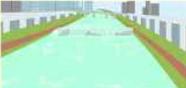
다음



0% 50% 100%

C1 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어졌다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하십니까?**

단수응답

항목	하천 A	하천 B	
수질			
하천내부			 어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)
하천주변			
생물다양성			
복개철거			
개인 부담금 (매년)	1만 5천원	2만원	

하천 A
 하천 B
 선택 안함

다 음

EMBRAIN
a Macromill Group company



0% 50% 100%

C2 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어졌다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하십니까?**

단수응답

항목	하천 C	하천 D	 어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)
수질			
하천내부			
하천주변			
생물다양성	24종 	16종 	
복개철거	교각도로 유지 복개상가 유지 	교각도로 철거 복개상가 철거 	
개인 부담금 (매년)	1만 5천원	5천원	

하천 C

하천 D

선택 안함

다 음

EMBRAIN
a Macromill Group company

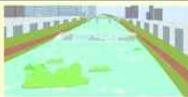


0% 50% 100%



C3 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어졌다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하시니까?**

단수응답

항목	하천 E	하천 F	
수질			
하천내부			 <p style="margin-top: 10px;">어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)</p>
하천주변			
생물다양성			
복개철거			
개인 부담금 (매년)	5천원	1만 5천원	

하천 E

하천 F

선택 안함

다 음

C4 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어졌다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하십니까?**

단수응답

항목	하천 G	하천 H	
수질			
하천내부			 어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)
하천주변			
생물다양성	 24종	 24종	
복개철거	 교각도로 철거 복개상가 철거	 교각도로 유지 복개상가 철거	
개인 부담금 (매년)	1만원	1만 5천원	

하천 G

하천 H

선택 안함

다 음



0% 50% 100%

C5. 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어졌다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하십니까?**

단수응답

항목	하천 I	하천 J	
수질			 어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)
하천내부			
하천주변			
생물다양성			
복개철거			
개인 부담금 (매년)	1만원	1만 5천원	

하천 I

하천 J

선택 안함

다음

EMBRAIN
a Macromill Group company

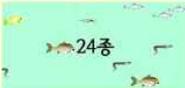


0% 50% 100%



C6 만약 광주 하천관리를 위해 아래와 같이 3가지 선택만 주어진다면 **귀하는 어느 것을 가장 선호하십니까?**

단수응답

항목	하천 K	하천 L	 어느 것도 선택하지 않음 (선호하는 것이 없음)
수질			
하천내부			
하천주변			
생물다양성	24종 	24종 	
복개철거	교각도로 유지 복개상가 유지 	교각도로 유지 복개상가 유지 	
개인 부담금 (매년)	2만원	5천원	

하천 K

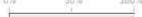
하천 L

선택 안함

다 음




0% 50% 100%



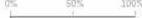
SQ1 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?

단수응답

남성
 여성




0% 50% 100%



SQ2 귀하의 주민등록상 출생 연도 4자리는 어떻게 되십니까?

출생연도 입력

출생연도 : 년

출생연도는 주민등록상의 출생연도를 입력해 주십시오.




0% 50% 100%



1 귀하의 최종 학력은 다음 중 어디에 해당하십니까?

단수응답

초등학교 졸업

대학교(전문대학 포함) 졸업

중학교 졸업

대학원(석사, 박사) 졸업

고등학교 졸업

EMBRAIN
a Macromilli Group company 

0% 50% 100%

5 귀하께서는 이명박 정부의 "4대강 사업"에 대해 현재 어떻게 생각하십니까?

단수응답

찬성한다 반대한다 잘 모르겠다

EMBRAIN
a Macromilli Group company 

0% 50% 100%

7 귀댁의 월 평균 가구소득은 세후 얼마입니까?
(임금 소득, 사업 소득, 연금 등을 포함하여 가족 모두의 소득 총합으로 응답해 주십시오)

단수응답

100만원 미만
 100만원 이상 ~ 200만원 미만
 200만원 이상 ~ 300만원 미만
 300만원 이상 ~ 500만원 미만
 500만원 이상 ~ 700만원 미만
 700만원 이상 ~ 1000만원 미만
 1000만원 이상

설문조사에 응답해 주셔서 감사합니다.
여러분의 의견이 세상을 움직입니다.



조사명: **자연 환경 관련 조사**

[자연 환경 관련 조사] 에 참여해 주셔서 진심으로 감사드립니다.
설문을 종료합니다.

최성록: 환경경제학 박사로 현재 국립생태원 책임연구원이다. 관심분야는 비시장가치평가, 선호도 이질성, 생태계서비스 가치평가 등이다. 주요논문에는 “Flying with climate liability? Economic valuation of voluntary carbon offsets using forced choices (2018)”과 “도심하천복원 경제가치 추정에서 사회규범편의 검정(2019)” 등이 있다 (kecc21@hanmail.net).

성찬용: 도시계획학 박사로, 현재 국립한밭대학교 도시공학과 부교수이다. 관심분야는 환경계획, 경관생태, 도시생태 등이다. 주요논문에는 “Politics of forest fragmentation: a multiscale analysis on the change in the structure of forest landscape in the North and South Korean border region, Regional Environmental Change(2019)” 등이 있다 (cysung@hanbat.ac.kr).

유영화: 전남대학교 문화학과 박사를 수료하였고, 문화전문대학원 행정조교이다. 관심 연구분야는 문화예술, 음악경관, 속성분석 등이다. 주요논문에는 “도시의 음악경관에 관한 총체적 분석: 광주광역시 음악경관의 요소와 속성 분석을 중심으로(2017)” 등이 있다 (cromise@hanmail.net).

투 고 일: 2021년 02월 17일
심 사 일: 2021년 02월 22일
게재확정일: 2021년 03월 22일

보전지역권 제도의 국내 보호지역 적용방안: 문경 돌리네습지를 대상으로*

A Study on the Application of Conservation Easement to the Protected Area in Korea: A Case Study of Doline Wetland in Moonkyong

김선영** · 오충현***

Seonyeong Kim · Choonghyeon Oh

요약: 미국에서는 토지의 개발을 막고 환경가치를 보전하기 위해 보전지역권이 발전되어왔다. 보전지역권은 정부 혹은 비영리 민간단체(랜드 트러스트)가 토지주와 협의하여 토지가 개발되지 않고 보전되도록 하고 토지주에게 댓가 혹은 세금혜택을 주는 법제도이다. 자발적인 계약에 기초하기 때문에 재산권 침해 문제가 해소되고, 보전관리에 있어 토지주의 협력을 이끌어낼 수 있다. 보전지역권은 생태계서비스지불제의 일종이지만, 물권적 성격을 갖고 있어 소유자변동에도 효력이 존속하고 제3자의 침해를 저지할 수 있으며, 직접 회복 및 완화 등 실행력이 있다는 강점이 있다.

본 연구에서는 국내 현행법상 보전지역권 도입이 가능하다고 보고 국내 습지보호구역내 사유지의 보전관리방안으로 정부가 보전지역권을 보유하고 자연환경국민신탁과 같은 민간전문단체에 관리를 위탁하는 방안을 제시하였다.

핵심주제어: 보전지역권, 생태계서비스 지불제, 보호지역 내 사유지, 인역권, 랜드 트러스트, 개발권, 보전지역권 표준법

Abstract: Conservation easements (CEs) in the United States have grown as legal contracts between landowners and government or nonprofit private organizations(Land Trusts). To preserve environmental values of private lands, CEs limit the land owners ability to develop the land and impose obligations to preserve the land's natural values. CEs are based on voluntary contracts, which resolve the issues of property right infringements and enable cooperative conservation management with the landowners.

CEs are a sort of 'Payment of Ecosystem Services'; acting as an incentives for providing some ecosystem services. CEs are property rights, however, that can stop violations by third parties and persist even after a change in ownership. They can be directly enforced through mitigating or restoring damaged areas. CEs can be a useful tool for the conservation management of wetland reserves in Korea.

I suggest that Korea adopt the conservation easements and entrust their management to private specialized organizations such as National Nature Trust.

Key Words: Conservation Easement, Payment of Ecosystem Services, Private Land in Protected Area, In Gross, Land Trust, Development Right, UCEA(Uniform Conservation Easement Act)

* 이 논문은 김선영의 석사논문과 2018년 한국환경정책학회 학술대회 발표논문을 수정하여 작성한 것이다.

** 주저자, 이천시 농업기술센터 농업정책과 주무관

*** 교신저자, 동국대학교 바이오환경과학과 교수

I. 서론

세계적으로 자연·생태·문화적 가치를 보전하기 위해 국가별로 보호지역을 지정하여 관리하고 있다. 보호지역의 면적은 지구 전체 육지의 15.34%, 해양의 7.65%에 이르고 있다.¹⁾ IUCN(세계자연보전연맹: International Union for Conservation of Nature)에 의하면, 보호지역이란 ‘법 혹은 그 밖의 효과적인 제도를 통해 명확하게 구획된 지리적 공간으로서, 자연 및 연관된 생태계서비스와 문화적 가치를 인정하고 장기적 보전을 위해 지정하여 관리되는 곳’을 말한다(IUCN Definition 2008).

미국에서는 국립공원, 주립공원 등 보호구역을 지정하여 자연환경을 보전하기 위한 노력을 해오고 있다. 하지만 산림훼손과 도시확산 현상으로 인한 서식지 파편화가 진행됨에 따라 서식지 연결을 위한 보호지역 주변 사유지 보전의 필요성이 제기되었다. 이를 위해 국립공원 주변 습지와 농지 등 보전가치가 있는 사유지 보전을 위한 제도로 보전 지역권(地役權)²⁾ 제도가 도입되었다. 보전지역권을 통한 사유지 보전방식은 캐나다(Good and Michalsky, 2008), 호주에 이어 칠레에도 도입이 되었다. 또한 다른 국가들도 보전지역권 도입을 검토하고 있으며³⁾ 최근 ELCN(European Private Land Conservation Network)에서는 보전지역권 도입을 위한 EU 회원국의 법률 체계 검토 보고서인 “The Use of Conservation Easements in the European Union”를 출간하였다(Racinska and Vahtrus, 2018).

우리나라도 우수한 자연환경을 보전하기 위해 보호구역을 지정하여 국

1) <https://www.protectedplanet.net/en>, [2021.2.8].

2) 지역권이란 일정한 목적을 위하여 타인의 토지를 자기토지의 편익에 이용하는 권리이다(민법 제291조).

3) ICREI(International Center for Research on Environmental Issues)는 2012년 ‘Property rights, economics and environment: Agriculture and forestry’를 주제로 제9회 국제회의를 개최하였는데, 환경보호를 위한 정부의 명령과 통제는 더 이상 효과적이지 않으므로 재산권과 시장 매커니즘을 조정하는 것이 시급한 책무임을 촉구하였다. 그 방법으로 미국에서 시행하는 보전지역권을 미국 외 다른 국가에도 도입하는 방안을 심도 있게 논의하였다.

그 외 보전지역권의 국제화에 관한 논문으로는 Korngold(2011) 참조.

가와 지방자치단체가 관리하고 있다. 그러나 보호지역 내 사유지 비율이 높고 사유지에 대한 보상체계가 미비하여 토지주와 정부 간에 많은 갈등이 있으며, 이로 인해 보호지역 확대에도 어려움을 겪고 있다. 이를 해결하기 위해 대상 사유지를 매입하고 있으나, 예산 부족 등으로 보호지역 내 사유지 전체를 매입하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 또한 보호지역의 실효성 있는 관리를 위해서는 지역주민의 협력과 참여가 필요하지만 토지 이용의 제한과 관련된 갈등으로 인해 주민참여를 통한 보전관리가 요원한 상황이다. 주민참여를 통한 보호지역 관리를 위해서는 토지주에게 보호지역 관리에 대한 인센티브를 부여하는 방식이 더 효과적이다. 따라서 토지주의 협력을 이끌어 내면서 재산권 침해의 문제를 해결할 수 있는 제도가 보호지역의 실효성 있는 관리를 위해 필요하다.

본 연구에서는 우리나라에서는 시행하지 않고 있는 보전지역권⁴⁾ 제도를 우리나라 보호지역 내 사유지에 도입하는 방안을 검토하였다. 연구대상지는 문경 돌리네 습지로서, 2017년 환경부에서 23번째 습지보호지역으로 지정한 곳으로 지형·지질학적 가치와 생물다양성이 우수하다고 평가받고 있는 곳이다. 하지만 사유지 비율이 전체면적의 90% 이상이며, 사유지 대부분이 농지로 유지되고 있는 곳이다. 따라서 습지 보전을 위한 토지주의 적극적인 협력을 이끌어내는 보상체계와 관리방안이 필요한 곳이므로 이를 위해 보전지역권을 도입하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

2. 연구방법

보전지역권 도입을 검토하기 위해 미국의 보전지역권 제도 발달 배경과 정책적 지원을 관련 문헌과 법령 등을 통해 조사하고, 이를 바탕으로 법적 성격과 제도적 기능을 검토하였다. 이와 함께 보전지역권 도입에 대한 선

4) conservation easement는 우리말 번역시 '보존'지역권 보다는 '보전'지역권이 더 적합하다. 보전(保全)은 "온전하게 보호하여 유지함."이라는 뜻이고 '보존(保存)'은 "잘 보호하고 간수하여 남김."이라는 뜻의 명사로, 생태계 또는 환경은 '보전'한다고 하는 것이 적절하기 때문이다.

행연구 결과를 국내외 문헌을 통해 살펴보고 쟁점을 분석하였고 특히 생태계서비스지불제 계약과 비교 검토하였다.

연구 대상지인 문경 돌리네 습지보호구역의 사유지의 현황을 조사하고, 우리나라 현행법에서도 보전지역권 제도를 도입할 수 있는지 검토하여 연구대상지에 적용하는 방안을 모색하였다. 보전지역권을 통해 보호지역 내 사유지 재산권을 보호하고, 생태계서비스 보전 및 증진에 대한 지불제로서의 효율적인 보전관리 체계를 구축할 수 있음을 제시하였다.

II. 선행연구 및 이론적 검토

1. 보전지역권의 도입 배경

사유지로부터 생물 서식처, 맑은 공기, 물 등과 같은 다양한 혜택을 입고 있음에도 불구하고 이를 유지하는데 드는 사회적 비용은 거의 고려되지 않고 있다. 이것은 생태계서비스를 제공하는 토지가 사유지임에도 불구하고 공공재라고 하는 인식에서 출발한다(Daly and Farley, 2004). 또한 생태계서비스를 제공하는 토지의 토지주는 이에 대한 유지비용의 보상 없이 토지개발을 억제하는 압력을 받기도 하고, 때로는 높은 재산세나 상속세를 감당하기 위해 토지 일부를 팔아야 하는 상황이 발생하기도 한다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 제도로 미국에서는 보전지역권이 도입되었다. 보전지역권은 자연자산, 농지, 숲 및 문화유적 등 우수한 자연환경 또는 역사적 가치가 있는 토지에 대해 토지주가 개발하지 않고 보전하도록 의무를 부여하는 대신 토지주의 세금 부담을 덜어주고 댓가를 지급하여 보상해주는 제도이다. 보전지역권은 토지를 구매하는 것보다 더 적은 비용이 소요되어 보다 많은 토지를 보전할 수 있는 수단이 되었다(Fairfax et al., 2005).

특히 미국에서 보전지역권이 발달하게 된 배경은 미국민들의 인식 즉, 정부의 토지와 자연자원에 대한 규제와 조치들에 대한 불신과 저항에서 그 원인을 찾을 수 있다(Jacobs, 1998). 1926년 용도구역제(zoning)가 연방대

법원에서 합헌 결정이 나고, 2002년 주정부의 토지 규제에 대해서도 법원에서 효력이 인정되었음에도 불구하고, 미국인들은 여전히 공적 규제의 합리적 범위에 관한 찬반논쟁을 진행하고 있다. 이러한 사회적 배경으로 인해 미국인들은 국가보다 랜드 트러스트(Land Trust) 등과 같은 민간단체에서 시행하는 보전 활동을 더 선호한다(Wright and Czerniak, 2000).

보전지역권의 구매(purchase)의 경우 토지소유자에게 반대급부를 지급하지만, 기부(donation)의 경우 토지소유자는 보전목적에 대한 순수한 동참에서 비롯된다. 미국 정부는 인센티브 정책으로 영구적인 기한의 보전지역권을 기부하는 경우 연방 소득세를 감면해주는 세제혜택(Section §170(h) of the Internal Revenue Code)을 주는 정책을 시행하였고, 이러한 세금혜택 제도와 함께 랜드 트러스트에 대한 영구적 보전지역권의 기부가 급격히 늘어났다(Gattuso, 2008)

보전지역권의 자발적이고 인센티브에 기반한 토지 보전 방식은 대상 토지의 취득에 비해 재정비용을 절감하고, 공적 규제 등이 직면하는 정치적 이슈를 피할 수 있다(Hilty and Merenlender, 2003).

1981년 미국 연방정부는 UCEA(보전지역권 표준법: Uniform Conservation Easement Act)를 제정하여 보전지역권에 관한 개별 주법(州法)의 표준이 되도록 하였다. UCEA는 보통법에서 제기되는 보전지역권의 법적 문제들을 해소해 실효성을 보장하여 보전지역권을 완전하고 유효한 법적 권리로 인정받게 하였다(Prefatory note to UCEA).⁵⁾ 2018년 현재, 24개주와 워싱턴 DC가 UCEA를 따른 보전지역권 관련 입법을 마친 상황이며⁶⁾ 그 외 주(州)들도 자체적으로 보전지역권 입법을 하였다.

5) Prefatory note to UCEA, “이 법을 통해 보통법에서 제기되는 법적 한계를 해소하고 토지보전을 위해 토지의 이용에 제한을 가하는 (보전지역권) 계약의 자유를 최대한 보장하고자 한다”.

6) Alabama, Alaska, Arizona, Arkansas, Delaware, Idaho, Indiana, Kansas, Kentucky, Maine, Minnesota, Mississippi, Nevada, New Mexico, Oregon, Pennsylvania, South Carolina, South Dakota, Texas, U.S. Virgin Islands, Virginia, West Virginia, Wisconsin, Wyoming 24개주에서 UCEA에 따른 입법을 하였다.

<https://www.uniformlaws.org/committees/community-home?communitykey=4297dc67-1a90-4e43-b704-7b277c4a11bd&tab=groupdetails>, [2020.12.10].

2. 보전지역권에 대한 국내 연구 검토

국내의 보전지역권 관련 연구를 <표 1>로 정리하였다. 국내에서는 농지 보전을 위한 보전지역권 검토 연구가 다수 있으며, 산림 생태계서비스 보상 방안으로 소개하거나 개발권 양도제와 관련한 용도지역제 개선 대안으로 보전지역권을 검토하였다. 대부분이 단순한 소개에 그치거나 보전지역권의 법리적 오해에 기인하여 국내 도입이 어렵다고 단정내린 문헌도 있다.

본 연구는 보전지역권의 법적 성격을 검토하여 국내 현행법체계에 맞춰 살펴본 다음, 국내 실행되고 있는 생태계서비스지불제 계약과 비교하였다. 검토결과 보전지역권은 현행법상 제한물권으로 운용이 가능하다고 보고, 국내 습지보호구역에 보전지역권 도입방안을 제시하였다.

<표 1> 국내 보전지역권 연구 현황

연구제목	연구내용
미국의 사유림지원 정책 연구 (석현덕·윤여창, 2003)	미국의 사유림 보호를 위한 여러 정책을 소개하고 산림유산보전 프로그램인 FLP(Forest Legacy Program) 벤치마킹을 권장 FLP를 산지의 개발권 구매로 이해함
정부 규제에서 규제 거버넌스로-뉴욕 상수원 수질 관리 제도 심층 분석과 한강 상수원 관리에의 함의(김준석, 2006)	상수원 수질 관리를 위해 보전지역권 도입을 검토하고, 보전지역권을 개발권 양도제도로 이해
습지보전을 위한 정책방안 연구 (방상원 등, 2006)	미국 습지보전책으로 보전지역권 언급됨
선진적 국토관리를 위한 용도지역 제 개선과 손익조정제도 도입방안 연구 I, II (채미옥 등, 2009, 2010)	농지보전지역권 구매 프로그램인 PACE(Purchase of Agricultural Conservation Easement)를 개발권 매입 제도로 소개
상수원지역의 친환경 토지 관리 방안 (최지용, 2010)	상수원 보호지역에 보전지역권 도입을 검토하였는데, 적절한 개념설명과 실행방안을 구체적으로 제시
농업진흥지역에 대한 보상-한국과 미국에서의 비교를 중심으로(금태환, 2013)	보전지역권을 개발권 양도와 구분하여 인식하면서, 양 제도는 한국 법제상 소유권으로부터 개발권 분리가 어려워 도입이 어렵다고 봄
주요국의 산림환경서비스 보상 실태와 산림환경서비스 보상방안(정호근·석현덕, 2013)	지역보전권, 산지이용권·사유림 사용권 구매 등 여러 명칭으로 소개함
미국의 농지보전지역권 매입 제도에 관한 연구 (김승중, 2015)	농지보전지역권은 농지소유자가 소유권으로부터 개발권을 분리하여 매각하는 것으로 소개하며, 현행민법상 소유권과 개발권 분리가 불가하여 도입이 불가하다 봄
서울 농지 보전방안(김원주·진정규, 2016)	농지 보전지역권 취득은 농지의 개발을 영구히 제한하고 제한의 대가를 지불하는 자발적 계약으로 봄. 그러나 우리 농지법의 경자유전원칙상 도입이 어렵다고 판단함 ⁷⁾
미국 생태계서비스 산림정책화의 핵심요인 및 기회(양희문 등, 2017)	산림 보전지역권 관련 FLP 프로그램 중 지역권 구매를 소개하면서, 토지를 자유롭게 사용할 수 있는 권리를 구입하는 것으로 설명함

Ⅲ. 미국의 보전지역권 운영 현황

1. 보전지역권 프로그램

미국의 보전지역권의 최초는 1891년 최초의 민간 랜드 트러스트인 “The Trustee of Reservations in Massachusetts”에서 보스톤을 관통하는 공공의 공원길의 경관을 유지하기 위한 목적에서 성립된 보전지역권이다. 그 뒤로 1930년대까지는 이용되지 않다가, 1940년대에 국가공원관리청(the National Park Service)이 현재의 Blue Ridge Parkway와 Natchez Trace Parkway를 따라 경관유지의 목적으로 주변토지에 경관목적의 보전지역권을 구매하게 되면서 발달하였다.

미국 USDA(농림부) 산하 NRCS(자연자원보전국: Natural Resources Conservation Service)에서 운영 중인 보전지역권 관련 프로그램에는 농업 보전지역권(ACEP: Agricultural Conservation Easement Program)과 건강한 숲 보전 프로그램(Healthy Forests Reserve Program)이 있다. 습지 보전 프로그램이었던 WRP(Wetlands Reserve Program)는 2014년 미국 농업법(Farm Bill)⁸⁾로부터 농지 보전지역권인 ACEP에 통합되어 운영되고 있다.⁹⁾ 국내 문헌에서 자주 소개된 산림유산 보전 프로그램(FLP: Forest Legacy Program)은 USDA 산하 산림청(Forest Service)에서 주관하는 것으로 1990년 농업법(Farm Bill)에서 수립된 것이다. 환경적으로 중요한 숲을 산림 전용(專用)의 위협으로부터 보전하기 위해 연방이 기금을 지원하여 소유자와의 자발적인 협약을 통해 산림의 소유권 혹은 보전지역권을 취득하여 숲을 보전하고 있다.

7) 이러한 결론은 타당하지 않다. 농지법 제6조[농지소유제한] ‘농지는 자기의 농업경영에 이용하거나 이용할 자가 아니면 소유하지 못한다’고 규정하여 경자유전원칙을 천명하고 있으나, 보존지역권 취득은 농지의 소유가 아니라 전세권 혹은 저당권과 같은 제한물권 설정이므로 규율 대상에 해당되지 않는다.

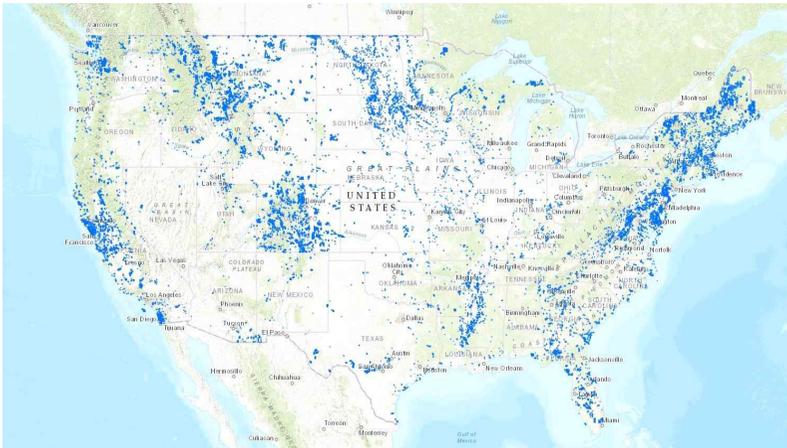
8) 미국 연방 정부의 농업 및 식량 정책의 기반이 되는 법으로, 5년마다 갱신되며, 미국 농무부의 주관 하에 농업과 관련 모든 업무를 모두 다룬다.

9) <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements>, [2020.12.10].

특히 2006년부터 영구적 기한의 보전지역권을 기부하는 경우 세금혜택이 커지면서 이러한 보전지역권을 랜드 트러스트에 기부하는 경우가 급증하였다. 보전지역권 기부를 권장하기 위해 임시적으로 만들어진 세금 감면 혜택은 2015년 의회에서 무기한으로 세금 혜택을 더욱 강화하는 것으로 확정하였다. 이에 따라 보전지역권을 기부할 경우 소득세 공제율(deduction: 소득공제)이 30%에서 50%로 증대되었고 공제하는 이월 기간이 5년에서 15년으로 연장되었다. 또한 적격 있는 농부와 목장주의 경우 소득세 공제율을 50%에서 100%까지 확대되었다.¹⁰⁾

2021년 2월 기준으로 미국에 보전지역권이 설정된 지역은 아래 <그림 1>과 같은데, 보전지역권은 191,476 개이고 이를 통해 보전된 사유지는 32,701,848 에이커(acres)에 이르고 있다.¹¹⁾

<그림 1> 미국의 보전지역권 분포현황



자료: <https://www.conservationeasement.us/interactivemap/>

2018년 미국 농업법(Farm Bill)을 기준으로 보전지역권 프로그램은 아래와 같이 정리할 수 있다.

10) Conservation easement tax incentive Brochure 2016-Land Trust Alliance.
 11) National Conservation Easement Database, <https://www.conservationeasement.us>, [2021.2.17].

〈표 2〉 보전지역권 프로그램 종류 (2018년 Farm Bill 기준)

프로그램	대상	내용	관 할
ACEP (농업보전지역권: Agricultural Conservation Easement Program)	농지, 초지 등	NRCS가 50-75%까지 지역권 취득비용 지원 농지전용을 막고 환경가치를 보전	NRCS
	습지	습지를 회복, 보호 및 강화하는데 기술적· 재정적 지원	
HFRP (건강한 숲 보전: Healthy Forest Reserve Program)	숲	숲을 회복하고 보호 멸종위기종 보호, 생물다양성 및 탄소격리 강화	Forest Service
RCPP (지역보전협력: Regional Conservation Partnership Program)	야생물서식처, 수역, 미개발된 사유지	- 랜드 트러스트는 RCPP 자금으로 보 전 지역권 취득 가능 - NRCS에서 비용분담자금을 지원하여 랜드 트러스트, 각 주 및 원주민부족 등 단체가 보전활동을 기획하도록 함 - 토지소유자와 농업종사자가 물·토양, 야생물서식처 및 자연자원을 개선하는 활동을 하도록 지원함	NRCS
영구적 보전지역권 기부시 연방소득세 감면	생태계 보호 등 공익 가치가 있는 사유지	- 자발적 계약에 기반한 영구적 기한의 보전지역권 대상 - IRC §501(c)(3)에 적합한 랜드 트러스트 및 정부기관에 기부할 것 - 공적 장부(등기부)에 기록 필수 - 대중의 야외활동 제공, 야생물서식처 등 생태계보호, 농지·숲 등 보전 목적	IRS (국세청: Internal Revenue Service)

자료: 아래 참고하여 작성함

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements/acep/>,
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements/forests/>,
 Mercer, Cooley and Hamilton, 2011

뉴햄프셔 주의 사례를 통해 ACEP의 일종인 습지보전지역권(Wetland Reserve Easement)을 NRCS가 취득하는 과정을 살펴보면 다음과 같다.¹²⁾

토지소유자는 지역권을 신청하기 최소 24개월 전부터 토지를 소유하고 있어야하는데, 이는 WRE를 목적으로 토지를 구매하는 것을 차단하기 위한 것이다. 단, 상속받은 경우나 WRE목적으로 취득한 것이 아님을 증명하는 경우에는 예외이다. 토지소유자는 자신이 진정한 소유자임을 증명해야

12) Natural Resources Conservation Service, 2016, How NRCS wetland reserve easements work: A guide to understanding the wetland reserve easement component of the agricultural conservation easement program.

하고, 토지에 필요한 통행권은 확보해서 같이 제공해야한다.

신청자는 1년을 기준으로 펀딩예산에 맞춰 우선순위를 매겨 선출되며, 선출되지 못한 신청자는 그 다음 펀딩으로 순위가 미뤄진다.

영구적 기한의 보전지역권 구매가격은 USPAP(Uniform Standards of Professional Appraisal Practice 감정평가실무 공통기준)에 따른 평가액 혹은 기존의 지불상한액을 넘지 못한다. 가격은 협상불가사항이다. 지역권의 댓가에 더해 습지보전비용을 100% 지원한다.

보전지역권과 양립 가능한 목재 벌목, 야생동물 서식처와 습지기능을 위한 건조·벌초·방목, 통행로를 이한 벌초 등 행위는 허가를 받아야 하며, 이러한 허가에는 허용되는 행위와 방법, 빈도, 시기, 강도, 허용기간을 구체적으로 특정하고 매년 검토하도록 한다.

협약이 종료하면 보전지역권 취득 협약서, 지역권 보증증서, 부속협정서가 작성된다.

NRCS는 항공사진과 매년 현장방문을 통해 보전지역권 지역을 모니터링 해야 한다. 모니터링은 습지의 완전한 기능과 가치를 유지하도록 확보하기 위한 필요와 위반사항을 탐지하고 관리과정을 지도하기 위함이다. 또한 토지소유자와 좋은 파트너십 관계를 유지하기 위해서도 필요하다.

2. 보전지역권 실제사례¹³⁾와 그 제도적 장점

1992년 Halsey 부부는 오레곤주의 농경지를 구매하였는데 원래 습지였던 곳이어서 생산량이 좋지 않았다. 1998년 NRCS에 69 에이커를 30년 기한의 습지보전지역권에 등록하여 재정적 기술적 지원을 받아 습지를 회복하고, 초목과 야생화, 나무와 덩굴을 식재하였다. 당시, US Fish and Wildlife Service(USFWS)는 제주왕나비를 연방 멸종위기동물 리스트에 등재하면서 서식처 보전을 하고 있었다. NRCS와 USFWS는 한 팀을 이루어 Halsey 부부 등을 포함하여 토지소유자들을 도와 Oregon의 Willamette

13) Oregon NRCS, "Bring back the monarch," <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/or/newsroom/stories/?cid=nrcseprd384816>, [2021.6.20].

Valley지역에 서식처를 확보하는 노력을 하였다. 토지소유자는 보전지역권 가치를 전액 지불받고 NRCS로부터 습지를 회복하고 고유종을 식재하는데 필요한 기술적 재정적 지원을 받는데, 영구적 기한의 지역권은 전액 비용을 보상받는다.

“만일 농지에서 생산량이 좋지 않은 부분이 있고 야생물에 관심이 있는 농부라면 지역권이 완벽한 방법이다. 지역권에 대한 댓가도 받고 NRCS와 USFWS같은 정부기관으로부터 우리에게 필요한 프로그램도 지원받을 수 있다. 습지보전지역권은 농경지 중에 비생산적인 부분에 설정하여 토지소유자가 소유를 계속한 채 친환경적인 관리를 하도록 하여 모두에게 윈윈(win-win)이다”라고 토지소유자 Warren Halsey는 말하고 있다.

Milkweed는 제주왕나비의 서식처에 중요요소이다. 제주왕나비가 알을 낳고, 애벌레의 먹이가 되는 유일한 식물종이기 때문이다. 십여년의 시행착오 끝에 Halsey의 토지에는 현재 19개의 milkweed 군락을 형성하게 되었고 전보다 많은 제주왕나비가 번식하게 되었다.

위 오레곤주 사례와 같이 보전지역권은 토지에 거주하여 그 토지를 이용하고 있는 토지소유자가 가장 최고의 환경증진활동을 수행할 수 있다는 인식에 기반하고 있다.

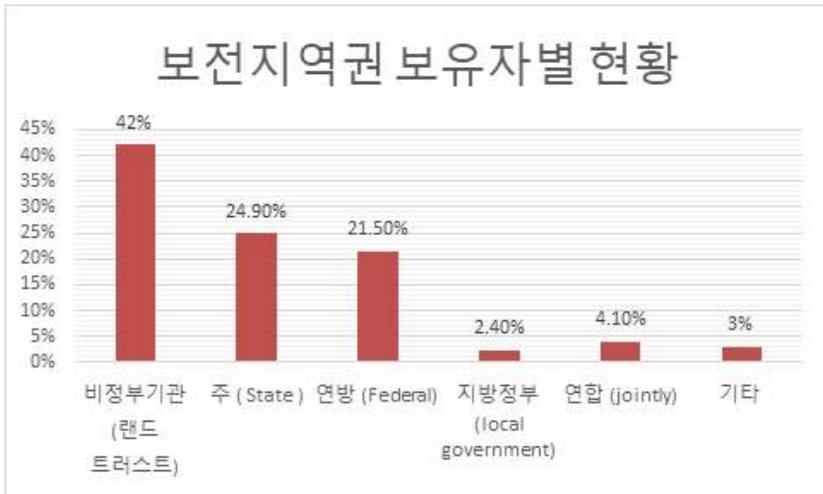
3. 랜드 트러스트의 보전지역권 보유

랜드 트러스트는 환경 가치 보전을 위해 대상 토지를 취득하거나 보전지역권을 취득하여 토지를 관리하는 비영리 민간기구(nonprofit organization)이다. 보전지역권 보유자인 랜드 트러스트는 보전지역권 협약내용에 따른 준수사항을 조사하고 실행할 권한과 책임을 갖는다(Pidot, 2005; Hilty and Merenlender, 2003). 또 보전 대상 토지의 생물이동통로(corridor)를 보호하고 멸종동물서식처 보호감호 등과 같은 환경보호 활동 뿐 아니라, 그 지역의 토지사용계획에의 참여 그리고 생태복원 등 환경가치증진을 위한 중요한 역할을 하고 있다.

2015년 기준 랜드 트러스트가 보전하는 토지는 5천6백만 에이커이고,

이 중 보전지역권으로 보전하는 토지는 1천6백만 에이커에 달한다. 전체 랜드 트러스트가 보전하고 있는 토지 중에 보전지역권을 취득한 비율이 30%에 이른다.¹⁴⁾ <그림 2>는 미국의 보전지역권 보유자별 현황을 그래프로 나타낸 것이다. 비정부기관인 랜드 트러스트 등 민간단체가 보전지역권을 보유하고 있는 비율이 연방과 주정부 등을 합한 비율과 대등하다. 영구적 기한의 보전지역권을 기부하는 경우 소득세 감면의 혜택이 생긴 뒤로 랜드 트러스트의 보전지역권 보유는 급격히 증가하였다. 랜드 트러스트 연맹(Land Trust Alliance)에서는 자율적으로 랜드 트러스트의 인증 제도를 운영하며 민간 랜드 트러스트가 사회적 책무를 다하도록 검증하고 있다. 2021년 현재 인증된 랜드 트러스트는 446개에 이르고 있다.¹⁵⁾

<그림 2> 보전지역권 보유자 유형에 따른 보전지역권 면적



출처: National Conservation Easement database-2012년

14) 2015 Land Trust Census Results.

15) <http://www.landtrustaccreditation.org/about/accredited-land-trust-statistics>, [2021.5.30].

IV. 보전지역권의 국내 도입 검토

1. 보전지역권의 법적 쟁점

미국의 보전지역권은 보통 30년 이상의 기한 또는 영구적인 기한으로 설정되는 비점유 부동산 권리로서 토지소유자는 개발을 하는 등의 행위가 금지되며(不作爲), 협약조항에 따라 보전을 위한 적극적인 행위를 할 작위(作爲, affirmative)의무를 부담할 수 있다. 이러한 보전지역권의 내용은 우리 민법의 제한물권인 지역권이 작위·부작위 내용의 지역권을 인정하고 있으므로 적용에 무리가 없다. 영구적인 기한의 지역권도 소유권을 제한하는 부분이 크지 않아 국내 학계와 판례는 이를 인정하고 있다(이영준, 2009; 송덕수, 2014).¹⁶⁾ 아래에서는 미국에서 보전지역권 발달 초기단계에서 쟁점이 되었던 인역권 인정여부와 국내 문헌에서 문제를 삼는 소유권에서 개발권 분리문제를 살펴보겠다.

1) 인역권(人役權)¹⁷⁾ 인정 여부(지역권의 부종성(附從性) 문제)

현행 민법 제291조는 ‘지역권자는 일정한 목적을 위하여 타인의 토지를 자기토지의 편익에 이용하는 권리가 있다’고 규정하여 지역권은 토지의 편익을 위한 권리로서 요역지(편익을 요하는 토지)와 승역지(편익의 부담을 지는 토지)와의 이용조절 관계로만 설정할 수 있다. 즉 요역지 소유자로서 누리는 권리이지 요역지와 무관하게 개인이 누리는 권리, 즉 인역권(in gross)은 인정하지 않고 있기 때문에 미국과 같은 요역지 없이 설정되는 인역권 방식의 보전지역권은 현행 민법상 불가하다(이영준, 2009; 송덕수, 2014).¹⁸⁾

16) 大判 79다1704. 그러나 위 사례는 통행지역권의 경우이다. 통행지역권에 비해 보전지역권의 내용은 소유권을 제한하는 부분이 작다고 할 수 없어 영구적 기한의 보전지역권의 인정여부는 논의가 더 필요할 것이다.

17) 특정인의 편익을 위하여 다른 사람의 동산 또는 부동산을 이용하는 물권, 우리나라 현행 민법에서는 인정하지 않음.

그러나 현행 민법의 요역지 부종성 원칙에 부합하는 보전지역권 설정은 가능한데 이는 다른 국의 사례에서도 찾아볼 수 있다. 미국에서는 UCEA 등의 입법 조치 전 요역지에 부속성을 갖추기 위해 대상지 부근의 토지를 일부 구매하여 그 토지를 요역지로 삼아 그에 부속된 권리로서 보전지역권을 취득하는 형식을 취한 사례가 있다(Lindstrom, 2005). 캐나다의 퀘벡 주(州)는 보통법을 따르는 다른 주들과는 다르게 대륙법 계통으로 현재에도 보전지역권을 취득하려는 대상 토지 부근의 토지를 구매하여 이를 요역지로 삼아 보전지역권을 활용하고 있다. 칠레에서도 부동산권(servidumbre)을 취득하기 위해 요역지를 구매하는 방식으로 보전지역권을 활용하고 있다(Johnson, 2014).

따라서 우리나라에서는 요역지에 부속하는 권리로 보호 대상지에 보전지역권을 설정할 수 있다. 이로써 성립되는 보전지역권은 요역지의 환경가치 보전을 위해 대상 토지인 승역지의 개발을 제한하고 보전의 의무를 부과하는 내용의 지역권으로 요약할 수 있다.

2) 개발권 명칭 문제

미국 보통법에서는 소유권을 다양한 권리들의 집합(bundle of rights)으로 보며, 지역권과 같은 재산권은 그 권리 중 일부 권리들을 분리하여 이전하는 것으로 설명하고 있다. 예컨대 공원의 경관 유지를 목적으로 주변 나대지에 '건축 금지'라는 지역권을 설정하는 경우 토지소유자가 건축할 권리를 지역권자에게 양도한 것으로 해석한다. 즉, 보전지역권은 협약내용에 따라 토지소유자가 개발할 권리 등 특정한 권리들을 포기 또는 양도하는 것으로 본다(Olmsted, 2011; Korngold et al., 2016).

우리 민법에서 소유권은 전면적 지배권으로 설명하고 타인의 부동산에 대한 이용 및 권리는 소유권을 제한하는 제한물권으로 설명한다. 우리 민법은 개별 권리들을 분할 가능한 것으로 설명하지 않고 절대적인 소유권과

18) 1999년 민법개정위원회에서 인역권 신설에 관해 논의가 있었지만 결국 개정대상에서 제외되었다(윤석찬, 2011, “한국용익물권법의 개정방향”).

제한물권으로 양분하는 물권 체계이다. 소유권을 권리들의 집합(bundle of rights)으로 보고 타물권은 각 개별 권리들을 분리하여 양도하는 것으로 설명하는 미국식 법적 은유(the legal metaphor)는 우리나라 민법의 물권에 대한 설명으로는 적합하지 않다.

그러나 미국 보전지역권의 본질은 토지의 개발권을 이전(transfer)하는 것이 아니라 제한(restrict)하는 것이다. 보전지역권에서 개발권은 분리하여 양도 가능한지가 핵심이 아니라 보전 목적을 위해 토지의 개발권을 제한(to restrict the development rights)하는 것이 목적이며, 이는 토지소유자가 개발할 권리 등을 포기하는 것(relinquish)이다(Bernstein and Mitchell, 2005; Zhang, 2004). 국내의 보전지역권에 관한 일부 연구에서는 보전지역권을 ‘개발권 구매’로 소개하고,¹⁹⁾ 개발권 양도제 도입과 관련하여 소유권에서 개발권을 분리하는 것을 보전지역권까지 확대하는 문헌이 있다. 이들 연구에서는 현행 민법의 물권법정주의 원칙과 소유권의 절대성에 비추어 소유권으로부터 개발권 분리가 불가하므로 우리나라에는 보전지역권 도입이 어렵다고 결론을 내리고 있다(채미옥 등, 2009; 금태환, 2013; 김승중 2015).

그러나 이는 PDR(개발권 구매: Purchase of Development Rights) 또는 TDR(개발권 양도: Transfer of Development Rights)의 도입 여부와 관련된 논의로서 보전지역권과 관련해서는 그 전제가 다르므로 논의할 사항은 아니다. 보전지역권에서 개발권은 매수 대상이 아니라 제한 대상이기 때문이다.

보전지역권은 소유권을 구성하는 권리 중에서 기존 토지 현황을 변화시켜

19) 석현덕 등(2003)이 개발권 구매라는 관념으로 보전지역권을 처음 소개한 것으로 보인다. 석현덕 등은 FLP를 소개하면서 산주로부터 개발권을 구매하여 타 용도로 전용되는 것을 방지하는 것으로 설명하고 있다. 그러나 FLP는 1990년 Farm Bill에서 수립된 것으로 USDA산하 Forest service에서 주관하는 것인데, 환경적으로 중요한 산림을 비산림전용의 위협으로부터 보전하기 위해, 연방이 기금을 지원하여 소유자와의 자발적인 협약을 기초로 산림의 소유권을 취득하거나 혹은 영구적인 보전지역권을 취득하여 숲을 보전하는 프로그램이다. 즉 법적 형식은 소유권을 취득하거나 보전지역권을 취득하는 것이지, 개발권 구매가 아니다.

개발할 수 있는 권리를 제한하는 내용이다. 즉, 일단 보전지역권이 성립되면 개발할 수 있는 권리가 사라지는 것으로 본다(Gattuso, 2008, Jacobs, 2014). 보전지역권이 성립되면 ‘본질적으로 개발할 권리 등은 몰수되고 더 이상 존재하지 않게 된다’(In essence, the rights to subdivide or develop are forfeited and no longer exist.)고 설명되고 있다(Kay, 2015; The Nature Conservancy).²⁰⁾

2. 국내 보호지역 현황과 문제점

2018년 11월 기준으로 WDPA(World Database on Protected Areas)에 등재된 우리나라 보호지역은 자연환경보전지역, 국립공원, 습지보호지역 등 여러 유형이 있고 상당부분이 사유지인 것으로 추정된다. 보호지역 중 17%를 차지하는 국립공원의 경우 2019년 기준으로 <표 4>와 같이 사유지(사찰지 포함) 비율은 34%에 이른다.

<표 3> 국립공원 공원구역 2019년 토지소유 현황

합계	소계	6,726 (km ²)
공원구역	국유지	4,933
	공유지	511
	사유지	1,003
	사찰지	279

국립공원공단, 2020, 국립공원기본통계

선진국의 보호지역 관리사례와 생물다양성협약, UNESCO, IUCN 등 관련프로그램에서는 보호지역의 생물다양성을 보전하기 위한 지역주민과의 협조체계의 중요성이 강조되고 있다. 박용하 등(2012)은 “보호지역의 지속가능한 이용 및 관리”에서 보호지역의 지역주민에 대한 설문조사를 하였는데, “주민들은 보호지역이 사유재산제를 침해하는 제도이고, 자연환경보전을 위해 반드시 필요한 것은 아니다”라고 인식하는 것으로 조사되

20) https://www.nature.org/en-us/about-us/who-we-are/how-we-work/private-lands-conservation/?tab_q=tab_container-tab_element_670, [2021.6.20].

있다. 보호지역 제도에 대한 주민들의 부정적 인식은 갈등을 초래하고 보호지역 해제 주장으로 이어지기도 한다. 주변 보호지역이 해제되면 보호지역의 핵심구역을 생태적으로 위협하는 것이어서 보호지역의 관리를 위해 주민들과의 갈등을 해소할 필요가 있다.

3. 국내 생태계서비스지불제와의 비교

보전지역권 표준법(UCEA) 1절 (1)항 개념정의에 따르면 “보전지역권은 부동산에 직접 제한을 가하고 적극적 의무를 가하는 비(非)점유권리로서, 토지의 자연·경관이나 공터의 가치를 보호하고, 농업·산림·휴양·공터로써의 사용을 확보하며, 자연자원을 보호하고, 맑은 공기와 물을 유지하고 강화하거나, 건축물 등의 역사적·고고학적·문화적 가치를 보호하려는 목적이다”. 보전지역권의 법적 성격은 채권이 아닌 대물권(in rem)이기 때문에 현재 소유자 뿐 아니라 변경된 소유자 및 제3자도 보전지역권 내용을 침해할 수 없다. 이러한 대세효(大世效) 때문에 소유권 증서(fee title)에 기록(record)되어 공시되고 있다.

보전지역권이 설정된 토지는 그 사용이 보전목적 내로 제한되어 개발 등이 금지되며, 적극적인 증진 활동(생물다양성을 위해 특정 작물을 식재할 의무 등)을 포함한다. 즉 보전지역권의 본질은 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률(이하 법으로 칭함) 제16조의 ‘생태계서비스 보전 및 증진 활동에 관한 계약을 체결하고 이에 대한 대가를 지급하는’ 생태계서비스 지불제²¹⁾의 일종으로 볼 수 있다.²²⁾

그러나 양 제도는 그 법적 성격이 다른데, 보전지역권은 물권이고 생태계서비스지불제계약은 채권계약이라는 점에서 <표 5>와 같이 계약의 존

21) 법 제16조(생태계서비스지불제계약) 및 환경부, 2021.1.6. 보도자료.

22) 유럽 등에서는 생태계서비스지불제가 발전하였고 미국은 보전지역권 형태가 그 유사한 목적으로 발전하였다고 볼 수 있다. 보전지역권은 세금혜택과 결부된 생태계서비스지불제의 사례로 꼽히고 있다(Payment ecosystem Services: Getting started a primer, 2008, <https://www.ecosystemmarketplace.com/payments-ecosystem-services/>).

속기간과 효력, 위반 시 조치 등에서 큰 차이가 있다. 또 보전지역권은 보통 영구적인 기한으로 설정되고 계약의 변경 및 해지 등 종료 권한은 법원에게 있어 공익을 위한 보전지역권의 효력의 존속을 보장하는 반면, 생태계서비스지불제계약은 보통 1년 단기간 존속하고 양 당사자 모두 자유롭게 해지가 가능하게 되어있다.²³⁾ 계약을 위반하는 경우에 지불제 계약에서는 토지주가 지불받은 금액에 대한 반환 또는 감액에 그치는 반면,²⁴⁾ 보전지역권은 위반사항을 통지하여 회복하도록 조치하고 직접 보전조치 (restore, mitigate)로서 더 적극적인 대처가 가능하다. 또 댗가 지급의 기준에서 생태계서비스지불제는 보전 및 증진활동으로 인한 손실액이 주요하다면²⁵⁾ 보전지역권 구매의 경우 개발을 제한하는 지역권 설정으로 인한 토지의 시세(교환가치) 하락분을 지급하게 된다.²⁶⁾ 보전 및 증진 활동으로 인한 비용의 보상 측면에서는 지불제 계약은 비용을 보상하고 있으나, 보전지역권의 경우 관리비용은 토지주가 부담하는 것이 원칙이다.²⁷⁾

〈표 4〉 생태계서비스지불제계약과 보전지역권의 비교

구분	생태계서비스지불제계약	보전지역권
목적	생태계서비스 보전·증진	토지 개발을 제한하여 환경가치 보전
법적근거	생물다양성법 제16조	UCEA, 개별 주(州)법
계약당사자	정부, 지자체	정부, 지자체, 환경단체(랜드 트러스트) 등
	토지소유자, 점유자 및 관리인	토지소유자
대상토지	생태경관보전지역, 습지보호지역, 자연공원 등	농지, 숲, 초지 및 야생물서식처 등 보전할 가치 있는 토지
댗가 지급기준	소득상실분	토지의 가치하락분 (기부의 경우 세금 감면 혜택)

23) 법 제16조 제3항 “생태계서비스지불제계약을 체결한 당사자가 그 계약 내용을 이행하지 아니하거나 계약을 해지하려는 경우에는 상대방에게 3개월 이전에 이를 통보하여야한다”.

24) 환경부 보도자료, 2021.1.6., 붙임3.

25) 시행령 별표1 <생태계서비스지불제계약에 따른 정당한 보상의 기준>에서 1호와 2호는 비용보상적인 측면이고 3호는 손실액 측면이다.

26) 미국에서는 댗가가 주어지는 보전지역권 구매의 경우보다 세금혜택을 받기 위한 기부의 경우가 많은데, 기부의 경우 세금혜택 받는 정도는 개인별로 큰 차이가 있다.

27) 보전지역권 프로그램에 따라 비용을 정부에서 지원하는 경우도 있다. <표 2> 보전지역권 프로그램 종류(2018년 Farm Bill 기준) 참조.

관리비용	보상	토지주 부담 원칙
의무내용	휴경, 친환경적 작물경작 등 보전 및 증진 활동	개발행위 제한, 보전 및 증진 활동
존속기간	1년 이내	영구적 (보통 30년 이상)
해지권	양 당사자 모두 행사 가능	법원의 권한
법적 성질	채권계약	물권계약
절대효 (대세효)	없음 → 제3자에게 주장못함 토지소유자 변동되면 계약 효력 상실	있음 → 제3자에게도 권리 주장 가능 토지소유자 변동되어도 효력
위반시 조치	계약금 환수 및 감액	위반행위에 대한 제재, 회복·보전 조치 및 비용청구

이상을 종합해보면 보전지역권은 그 효력과 존속력이 보다 강력한 생태계서비스 지불제 계약으로 볼 수 있다. 보전할 토지가 소유자 변동과 무관하게 30년 이상 장기적으로 보전할 필요성이 있는 경우 혹은 제3자의 침해행위나 토지주의 계약 위반의 경우 직접 보전 및 회복의 실행조치가 필요한 경우에 보전지역권을 활용할 가치가 크다.

V. 문경 돌리네 습지보호지역에 적용방안

1. 문경돌리네 습지보호지역 현황

문경 돌리네 습지는 석회암이 빗물에 용해되고 남은 점토질 광물 등이 계속 쌓여 배수가 잘 이루어지지 않아 만들어진 매우 특이한 지형으로 세계적으로도 희귀한 사례로 평가된다. 또한 육상·초원·습지 생태계가 공존하여 좁은 면적임에도 불구하고 멸종위기 야생생물 6종을 비롯해 산림청 지정 희귀식물 3종 등 731종의 야생생물이 서식하는 생물다양성이 풍부한 지역이다.²⁸⁾ 이에 환경부는 2017년 이 지역을 23번째 습지보호구역으로 지정하면서 ‘문경 돌리네 습지보호지역 보전계획’을 수립하고 세부적인 보전관리방안을 시행하고 있다.

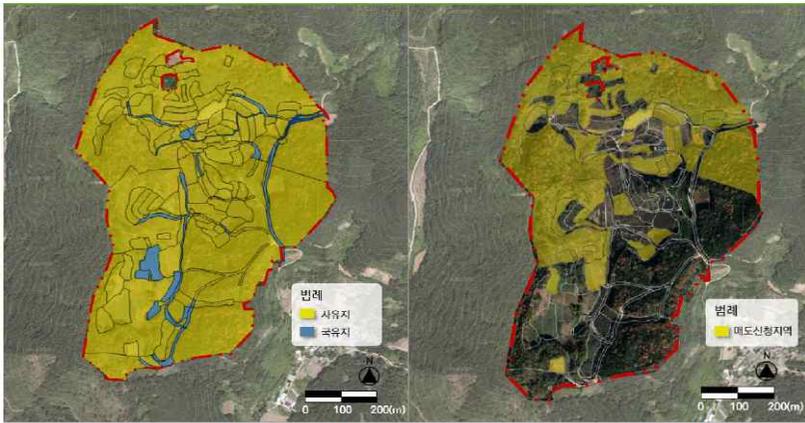
28) 환경부, 2017.6.15., 보도자료.

지정 면적은 경북 문경시 산북면 우곡리 굴봉산 정상부 0.49 km²이고 이중 사유지 비중은 96.5%로서 대부분을 차지하고 있다. 습지의 보전관리를 위해 단계적으로 사유지 매입을 계획하고 있고 매입한 토지는 돌리네 습지 지형으로 원형 복원할 계획이다. 습지 내부 지목은 대부분 전(56.6%), 임야(24.2%)로 경작 활동이 진행 중이다.

〈표 5〉 돌리네습지 토지 소유현황

구분	필지수 및 토지이용			면적(m ²)
국공유지(3.5%)	34			17,200
사유지 (96.5%)	148	농경지	44	312,943
		임야	35	83,701
		기타	69	80,590

〈그림 4〉 돌리네 습지 사유지 및 매도신청지역(노란색 부분)



돌리네 습지보호지역 내 국유지, 사유지

돌리네 습지보호지역 내 매도신청지역

출처: 소이자연(주), 2018, 문경돌리네 습지보호지역 보전계획 수립

습지 보전을 위해 습지와 인접한 경작지 및 용출구가 위치한 토지 등을 우선 매수하고 그 외 경작지는 습지보전을 위한 협력적 관리가 필요하다. 이 협력적 관리를 보장하는 장치로써 보전지역권 도입을 검토해볼 수 있다.

2. 보전지역권 도입방안

1) 보전지역권 도입 필요성

보호지역 내 사유지에 대한 규제는 지역주민들에게 반감과 갈등의 원인이 되어왔다. 한편 보호지역 전체를 매입하여 국유화 또는 공유화하구매 비용이 많이 들고, 당초 활용되고 있는 생물다양성에 부합한 토지이용을 배제하는 등 효율적인 관리가 아니다. 실제 보호지역에서 농지 등의 토지를 매수한 후 방치되어 농지 기능이 상실됨으로써 오히려 생물다양성이 감소한 사례가 국내에 다수 있다. 그러므로 보전관리의 범위 내에서 토지 소유자가 당초 토지가 가지는 기능에 따라 토지를 이용하도록 하고 보전관리의 협력을 이끌어내는 것이 바람직하다고 하겠다.

문경 돌리네 습지보호지역은 절대적으로 사유지의 비율이 높고, 매수신청을 하지 않는 토지가 과반을 차지하는 만큼(〈그림 3〉 참조), 핵심지역 주변의 사유지를 대상으로 보전관리를 촉진하고 협력을 이끌어 내는 제도로써 보전지역권의 도입 필요성이 크다.

2) 보전지역권 설정(구매)

문경 돌리네 습지 보호지역에는 국유지가 있으므로, 그 국유지를 요역지로 삼고 주변의 사유지를 승역지로 하여 보전지역권을 설정할 수 있다.

보전지역권 취득방식은 구매와 기부의 경우가 있는데 우리나라 상황에는 생태계서비스지불제로써 보전지역권의 반대급부가 지급되는 구매(purchase)로 실행하는 것이 보다 더 적합하다.

보전지역권의 구매비용은 토지의 구매비용보다는 훨씬 낮고 임대비용보다도 낮게 설정된다. 토지소유자는 기존대로 토지를 점유하면서 보전범위 한도에서 사용할 수 있기 때문이다. 구체적인 보전지역권 댓가는 토지의 임대비용 이하에서 정책적으로 인센티브를 부여할 유인수단에 대한 판단과 대상지의 개발압력 등에 따라 결정할 수 있다. 미국에서는 보통 보전

지역권 설정 전·후 가격을 비교하여 그 차액을 보전지역권 가치로 보고 있다.²⁹⁾ 보통 농지 위의 보전지역권은 토지 실제가치의 25%-50% 범위에 있고, 개발의 압력이 거센 지역은 토지가격의 90%에 이르기도 하는 등 차이가 크다.

보전지역권의 기간은 30년 이상 장기간 존속이 가능하다. 현행 물권법의 성립주의 원칙상 토지등기부 을(乙)구에 기입됨으로써 성립하고 공시주의로서 대세효(大世效)가 있게 된다.

3) 보전지역권 법률관계와 효력

보전지역권의 도입방안은 <표 6>과 같이 정부가 보전지역권을 보유하고 관리하는 방안, 정부가 보유하고 민간에 관리를 위탁하는 방안 및 민간이 보유하고 관리하는 방안 등 세 경우로 구분할 수 있고, 미국에서는 세 가지 경우 모두 다 활용하고 있다. ‘보전지역권의 관리’라 함은 보전지역권의 내용인 토지소유자의 작위·부작위 의무준수사항을 모니터링하고 의무를 위반할 경우 제재까지 포함하는 개념이다.

<표 6> 보전지역권 보유자 유형별 장단점

구분	정부 보유		민간단체 보유
	정부관리(제1안)	위탁관리 (제2안)	지역권 보유·관리 (제3안)
장점	절차의 민주성, 신뢰성	정부의 장점 민간의 장점	전문성 주민과의 협력 관계 용이
단점	전문성 부족, 비효율적 관리	민간단체 책무성 확보방안 필요	요역지 확보 선결문제, 민간단체 책무성 확보 전제

29) If no substantial record of market-place sales is available to use as a meaningful or valid comparison, as a general rule (but not necessarily in all cases) the fair market value of a perpetual conservation restriction is equal to the difference between the fair market value of the property it encumbers before the granting of the restriction and the fair market value of the encumbered property after the granting of the restriction.: U. S. Treasury Regulation Section 1.170 A-14 (h) (3).

도입방안 중 제3안은 민간단체가 요역지를 확보하고 지역권도 보유하는 것으로 현재 현실적인 가능성이 가장 낮은 방안으로 보인다. 우리나라 각 보호지역의 특성을 고려하여 지역주민의 적극적인 협조체계 아래 효율적인 거버넌스를 구축할 필요성이 있다는 점에서 정부가 보전지역권을 보유하고 모니터링 등 관리 감독은 민간전문기관에 위탁하는 방안인 제2안이 최선으로 보인다. 국내에서는 ‘문화유산과 자연환경자산에 관한 국민신탁법’에 기해 2007년도에 “자연환경국민신탁”이 발족하여, 보전가치가 있는 자연환경자산을 취득하여 이를 보전·관리하고 있다. 자연환경국민신탁에 보전지역권의 관리를 위탁하여 이들의 보전활동의 역량을 활용할 수 있도록 체계를 갖출 수 있다. 제 2안을 활용한 보전지역권 설정에 따른 법률관계는 <표 7>과 같이 요역지 소유자에게 지역권이 부종하므로 정부가 보전지역권자가 되고, 보전지역권 관리권한을 위탁받은 자연환경국민신탁과 같은 전문기관에서 보전지역권의 모니터링과 실행권한을 수행하게 된다.³⁰⁾ 보전지역권자인 정부는 총괄적인 관리권한을 통해 보전지역권이 잘 관리되고 실행되는지 위탁관리기관을 지시·감독할 수 있다.

<표 7> 도입방안 2안에 따른 보전지역권 설정시 당사자 관계

구분	당사자	권리 및 의무
요역지 소유자	정부	총괄적인 관리권한
승역지 소유자	토지 소유자	토지 점유하여 보전범위 내 사용 의무사항 준수 및 협력
보전지역권 관리주체	자연환경국민신탁	의무사항 감독 및 관리 위반시 제재 및 회복 실행 주민과의 협업관계

지역권은 물권이므로 대상 토지소유자의 변동은 지역권의 효력에 영향을 주지 않는다. 즉 미래의 토지 소유자 및 제3자도 보전지역권 의무내용에 법률적으로 구속되어 그에 따라야 하므로 제3자의 보전지역권을 침해하는 행위에도 제재 및 회복 등 보전조치를 취할 수 있다.

30) UCEA section1. (3)에서 보전지역권의 당사자가 아닌 “제3자의 실행권”을 인정하고 있다. 다만 보전지역권 실행권한의 제3자가 될 수 있는 자는 보전지역권 보유자가 될 수 있는 정부기관이나 랜드 트러스트에 한정된다.

VI. 결론

미국의 보전지역권은 정부 혹은 랜드 트러스트가 토지소유자와 자발적인 합의에 기초하여 토지의 개발 등을 제한하는 부동산물권(property rights)이다. 기존의 국내 문헌에서 보전지역권을 ‘개발권 구매’라고 소개하고 있는 경우가 있는데, 이는 소유권을 권리 집합(bundle of rights)으로 보는 미국식 해석으로써 우리 현행 민법상 보전지역권의 법적 성격을 이해하기 쉽지 않았다.

본 연구에서는 보전지역권을 우리나라 물권법 체계에 맞춰 제한물권으로 해석하고, 이에 따라 보전지역권이 우리나라 현행법상 도입이 가능하다고 보았다. 다만 현행 민법상 인역권 방식은 인정되지 않고 요역지 부종성에 따르면 가능하다.

보전지역권은 국내 실행중인 생태계서비스지불제의 일종으로 볼 수 있지만, 물권으로서 대세효와 직접 실행할 권한이 있으며 효력이 장기간 존속된다는 강점이 있다. 생태계서비스지불제 계약이 매년 토지주 등과 계약해야 하고 계약 위반의 경우 지불액을 환수하거나 감액할 뿐 직접 중단 및 회복조치를 할 수 없는 한계가 있는데 이러한 한계 극복방안으로 보전지역권이 주목받는 점이다.

본 연구에서는 문경돌리네 습지보호지역의 보전관리방안으로 국유지를 요역지로 하고 사유지를 승역지로 삼아 정부가 보전지역권을 취득하고, 보전관리는 민간전문기관에 위탁하는 방안을 제시하였다. 보전지역권 협약내용에 따른 모니터링 등 관리는 자연환경국민신탁과 같은 전문적인 기관을 활용할 필요성이 있다.

미국은 UCEA 제정을 통해 보전지역권의 인역권으로서의 효력, 요역지의 편익으로서 보전의 목적, 적극적인 증진활동 의무 내용 및 대세효 인정 등 법적 쟁점이 될 만한 사항을 명확히 규정하여 보전지역권이 향후 발전하는 토대가 되었다. 우리나라에서도 보전지역권 활용에 기준이 되도록 성립 및 절차적 요건(의무내용, 존속기간 및 등기사항), 보전지역권의 가

치평가 기준, 변경 및 해지권 제한 그리고 위반시 실행조치 절차 등을 입법을 통해 명확히 규정하는 것이 필요하다. 보전지역권이 법 16조 4항의 “민간기구의 생태계서비스지불제 계약의 이행지원”과 함께 활용된다면 미국의 랜드 트러스트가 보전지역권을 통해 발전한 것과 같이 민간기구의 환경보전 활동의 역량을 강화하는 기능도 할 수 있다.

■ 참고문헌 ■

- 국립공원공단, 2020, 『국립공원기본통계』, 원주: 국립공원공단.
- 김준석, 2006, 『정부 규제에서 규제 거버넌스로-뉴욕 상수원 수질 관리 제도 심층 분석과 한강 상수원 관리에의 함의』, (기본연구; 2006-24), 수원: 경기개발연구원.
- 금태환, 2013, “농업진흥지역에 대한 보상-한국과 미국에서의 비교를 중심으로-”, 『행정법연구』, 36, pp.1-22.
- 김승중, 2015, “미국농지보전지역권 매입제도에 관한 연구,” 『법과정책』, 21(1), pp.127-149, DOI: 10.36727/jilpr.21.1.201503.005.
- 김원주·진정규, 2016, 『서울농지보전방안』, (서울연; 2016-PR-07), 서울: 서울연구원.
- 大判 79다1704, 대법원 1980.1.29., 선고.
- 박용하·전성우·엄정희·홍현정·최현아·변병설, 2012, 『보호지역의 지속가능한 이용 및 관리-지역의 생태·경제·사회적 특이성을 기반으로 한 접근』, (녹색성장연구: 2012-02), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 방상원·안선영·박주현, 2006, 『습지보전을 위한 정책방안 연구-습지은행제도(Wetland Banking)를 중심으로-』, (KEI 연구보고서; 2006 RE-13), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 시행령, 2020, 별표1, 생태계서비스지불제계약에 따른 정당한 보상의 기준.
- 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률, 2019, 제16조, 생태계서비스지불제계약.
- 석현덕·윤여창, 2003, “미국의 사유림지원 정책 연구,” 『산림경제연구』, 11(1), pp.38-46.
- 소이자연(주), 2018, 『문경돌리네 습지보호지역 보전계획 수립』, 대구: 대구지방환경청.
- 송덕수, 2014, 『물권법』, 서울: 박영사.
- 양희문·천정화·박찬우·신유진, 2017, “미국 생태계서비스 산림정책화의 핵심요인 및 기회,” 『NIFOS 국제산림정책토포픽』, 54, pp.1-22.
- 윤석찬, 2011, “한국공익물권법의 개정방향,” 『토지법학』, 27(1), pp.175-198, DOI : 10.22868/koland.2011.27.1.007.

- 이영준, 2009, 『새로운 체계에 의한 한국민법론-물권편』, 서울: 박영사.
- 정호근·석현덕, 2013, 『주요국의 산림환경서비스 보상실태와 산림환경서비스 보상방안』, (KREI 농정포커스; 제68호), 서울: 한국농촌경제연구원.
- 채미옥·구형수·안영아, 2009, 『선진적 국토관리를 위한 용도지역제 개선과 손익조정제도 도입방안 연구(I)』, (국토연; 2009-18), 안양: 국토연구원.
- _____, 2010, 『선진적 국토관리를 위한 용도지역제 개선과 손익조정제도 도입방안 연구(II)』, (국토연; 2010-43), 안양:국토연구원.
- 최지용, 2010, 『상수원지역의 친환경 토지관리방안』, (정책보고서; 2010-13), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 환경부, 2017.6.15., “세계적으로 희귀한 문경둘리네 습지 습지보호지역으로 지정,” 보도자료, 환경부 고시 제2017-117호.
- _____, 2021.1.6., “생태계서비스지불제 계약 본격 추진, 지침서 배포,” 보도자료.
- Bernstein, J. and B. A. Mitchell, 2005, “Land trusts, private reserves and conservation easements in the United States,” *Parks*, 15(2), pp.48-60.
- Daly, E. H. and J. Farley, 2004, *Ecological economics: Principles and applications*, Washington, DC.: Island press.
- Fairfax, S. K., M. A. King, L. Gwin, and L. Raymond, 2005, *Buying nature: The limits of land acquisition as a conservation strategy, 1780-2003*, Massachusetts: MIT Press.
- Gattuso, D. J., 2008, *Conservation easements: The good, the bad, the ugly*, Washington DC., USA: National Policy Analysis, National Center for Public Policy Research.
- Good, K. and S. Michalsky, 2008, *Summary of Canadian experience with conservation easement and their potential applications to agri-Environmental policy*, Ottawa - Ontario: Agriculture and Agri-Food Canada.
- Hilty, J. and A. Merenlender, 2003, “Studying biodiversity on private lands,” *Conservation Biology*, 17(1), pp.132-137, DOI: 10.1046/j.1523-1739.2003.01361.x.
- Jacobs, H. M., 1998, *Who owns America? Social conflict over property rights*, Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- _____, 2014, *Conservation easements in the U.S and abroad : Reflections and views toward the future*, (Lincoln Institute of Land Policy Working Paper), Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Johnson, L. A., 2014, *Emerging opportunities for a global private land conservation movement*, (Working Paper WP14LJ1), Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Kay, K., 2015, “Breaking the bundle of rights: Conservation easements and the legal

- geographies of individuating nature,” *Environment and Planning A*, 48(3), pp.504-522, DOI: 10.1177/0308518X15609318.
- Korngold, G., 2011, “Globalizing conservation easements: Private law approaches for international environmental protection,” *Wisconsin International Law Journal*, 28(4), pp.585-638.
- Korngold, G., S. Munteanu, and L. E. Smith, 2016, “An empirical study of modification and termination of conservation easements: What the data suggest about appropriate legal rules,” *N.Y.U. Environmental Law Journal*, 24, pp.1-58.
- Pidot, J., 2005, *Reinventing conservation easements: A critical examination and ideas for reform*, Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Land Trust Alliance, 2016a, *Conservation easement tax incentive brochure*, Washington: Land Trust Alliance.
- _____, 2016b, *2015 land trust census results*, Washington: Land Trust Alliance.
- Lindstrom, T., 2005, “Changes in the law regarding conservation easements : An update,” *Wyoming Law Review*, 5(2), Article 8, <https://scholarship.law.uwyo.edu/wlr/vol5/iss2/8>.
- Mercer, D. E., D. Cooley, and K. Hamilton, 2011, *Taking stock: Payments for forest ecosystem services in the United States*, Washington, DC.: Forest Trends, Ecosystem Marketplace.
- Natural Resources Conservation Service, 2016, *How NRCS wetland reserve easements work: A guide to understanding the wetland reserve easement component of the agricultural conservation easement program*, Massachusetts: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Olmsted, J. L., 2011, “The invisible forest : Conservation easement databases and the end of the clandestine conservationn of natural lands,” *Law and Contemporary Problems*, 74(4), pp.51-82.
- Racinska, I. and S. Vahtrus, 2018, *The use of conservation easements in the European Union*, (Report to NABU Bundesverband), Berlin: European Land Conservation Network.
- The Katoomba Group, UNEP, and Forest Trends, 2008, *Payment for ecosystem services : Getting started a prime*, Washington, DC: Forest Trends, The Katoomba Group, UNEP, <https://www.ecosystemmarketplace.com/payments-ecosystem-services/>.
- Wright, J. B. and R. J. Czerniak, 2000, “The rising importance of voluntary methods

of land use control in planning,” *Journal of Planning Education and Research*, 19, pp.149-423, DOI: 10.1177/0739456X0001900411.

Zhang, X., 2004, “The effects of conservation easements on land values,” Masters Theses, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

U. S. Treasury Regulation Section 1.170 A-14 (h) (3).

IUCN, “IUCN definition 2008,” <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about>, [2020.12.10]

Land Trust Accreditation Commission, “Accredited land trusts statistics,” <http://www.landtrustaccreditation.org/about/accredited-land-trust-statistics>, [2021.5.30]

National Conservation Easement Database, <https://www.conservationaleasement.us/>, [2021.2.17]

Natural Conservation Easement Database, “NCED mapping application,” <https://www.conservationaleasement.us/interactivemap/>, [2020.12.10]

Natural Resources Conservation Service (NRCS), “Easements,” <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements/>, [2020.12.10]

_____, “Agricultural conservation easement program,” <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements/acep/>, [2020.12.10]

_____, “Healthy forests reserve program,” <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/easements/forests/>, [2020.12.10]

_____, “Bringing back the monarch,” <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/or/newsroom/stories/?cid=nrseprd384816>, [2021.6.20]

Protected Planet, <https://www.protectedplanet.net/en>, [2021.2.8]

The Nature Conservancy, “Private lands conservation,” https://www.nature.org/en-us/about-us/who-we-are/how-we-work/private-lands-conservation/?tab_q=tab_container-tab_element_670, [2021.6.20]

Uniform Law Commission, 1981, “UCEA(Uniform Conservation Easement act) (Last revised or amended in 2007),” <https://www.uniformlaws.org/committees/community-home?communitykey=4297dc67-1a90-4e43-b704-7b277c4a11bd&tab=groupdetails>, [2020.12.10]

김선영: 동국대학교 바이오환경과학 석사 취득 후 현재 이천시 농업기술센터 농업정책과 주무관으로 근무 중이다. 관심분야는 토지 보전 법제, 생태계서비스지불제 유형, 주택가격의 적정성을 위한 공유자산제 등이다. 최근 논문으로는 “분양전환형 공공임대아파트 문제점 해결을 위한 제한자산형 주택협동조합(LEC) 도입 검토”가 있다(apres2022@gmail.com).

오충현: 서울시립대학교에서 조경학을 전공하고 동 대학원에서 환경생태학으로 석사와 박사학위를 취득하였다. 서울시 도시계획국에서 도시생태보전 업무를 수행하였고, 지금은 동국대 바이오환경과학 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 도시생태학, 생태공학, 생물다양성과 생태계서비스 분야로서 도시생태현황도, 보호지역 지정 및 관리, 생태계서비스 평가 및 지불제도 등을 연구하고 있다. 공저로 『환경생태학』, 『산림과학개론』, 『자연자원의 이해』 등이 있다(ecology@dongguk.edu).

투 고 일: 2021년 02월 17일
심 사 일: 2021년 03월 03일
게재확정일: 2021년 04월 06일

4대강 살리기 사업의 수질 개선 성과지표의 적절성 연구: 낙동강을 중심으로

Study of Effectiveness Problem of Water Quality Indicators for the Evaluation of the Project Saving the Four Major Rivers: An Example of Nakdong River

김용기*
Yong-Ki Kim

요약: 본 연구에서는 정부의 4대강 살리기 사업의 일환으로 추진된 낙동강 인공보 설치에 따른 수질개선 정도를 확인하고, 수질개선 성과지표 설정의 적절성에 대한 논의를 통해 향후 수질 환경정책의 개선방향을 도출하고자 한다. 조사를 위해 낙동강 인공보 설치 지역의 주요 수질 데이터들의 변화 양상을 비교 분석한 결과, 수질 지표 변화가 인공보가 설치된 지점마다 다양하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 특히, 상류, 낙단보에서 조류대발생 지표인 엽록소 a 측정량이 인공보 설치 이후 상당히 증가된 것을 확인할 수 있었고 상대적으로 하류 지역인 합천청녕보와 창녕함안보에서는 오히려 감소한 것을 확인하였다. 또한, 4대강 사업을 통해 총인, 총질소 등 개선된 수질오염 지표들도 확인되었으나 유기탄소와 연관된 TOC, BOD 및 COD 값을 포함하여 대장균수와, 남조류 관심 경계수준 발령 횟수가 인공보 설치 이후 상당히 증가하였다. 하지만 수질 개선을 담당하는 낙동강 수계 위원회의 관련 예산은 지속적으로 증액되어왔으며 수질 개선 사업 평가 시 관련 성과지표들이 모두 100% 이상으로 성과 목표치를 상회했다는 사실을 확인하였다. 이러한 사실은 수질 개선을 위한 계획 수행단계에서의 성과 목표 설정시 유기탄소 관리 등을 위한 충분한 검토가 이뤄지지 못한 것으로 판단되며, 추후 인공보 설치에 따른 수질 개선 관련 환경정책 수립 시 다양한 수질 지표를 포함하여 오염 원인을 모니터링하고 이를 개선해나갈 수 있는 계획수립이 필요할 것으로 사료된다.

핵심주제어: 조류대발생, 낙동강, 수질 성과 지표, 수질, 환경관련 예산

Abstract: The present study aimed to verify the changes in water quality and to elicit the direction of improvement during the Project to Save the Four Major Rivers. To examine water quality improvement, this study analyzed the changes in water quality near the artificial weirs in the Nakdong River. Different patterns in the changes in water quality were found for each measurement point. There were also significant increases in several water quality indicators including total phosphorus, total nitrogen, and organic carbon-related indicators such as total organic carbon (TOC), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), the number of *Escherichia coli*, and the cyanobacterial harmful algal bloom events. However the related budget of the Nakdong River Water System Committee in charge of water quality improvement has been continuously increased and it was confirmed that all relevant performance indicators exceeded the performance target by more than 100%. These results revealed that the performance target indicators were not sufficiently reflected to the organic carbon management plan, thereby causing an effectiveness problem. Consequently, our results speculated that diverse water quality indicators should be considered when designing a future environment policy such as water quality project plan.

Key Words: Algal Bloom, Nakdong River, Performance Indicator, Water Quality, National Budget

* 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사 수료

I. 서론

4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강)을 체계적으로 관리하여 물부족 해결, 기후변화에 따른 홍수예방, 수질개선, 시민을 위한 다기능 복합공간 조성 및 수변경관을 활용한 지역발전에 기여하는 5대 핵심과제를 중심으로 추진된 4대강 살리기 사업은 이명박 정부에 의해 일련의 정책 절차를 거쳐 진행되어왔다(박창근, 2009; 김창수·정은정·박두호, 2012). 2018년 7월 감사원의 “4대강 살리기 사업 추진실태 점검 및 성과분석”의 ‘4대강 살리기 마스터플랜 수립과정’의 적정성(pp.35-36)에 따르면, 2008년 초 국토해양부¹⁾를 중심으로 한 한반도대운하 사업 추진 중 대운하 관련 국민 여론이 크게 악화되었다. 이를 대응하기 위해 대통령실(홍보비서관)은 맑은 물 공급·치수개선 등으로 사업 재구성이 필요할 것으로 판단하였다. 이후 이명박 대통령은 2008년 6월 국민 반대여론에 따라 대운하 사업 추진 중단을 발표하였고, 당해 년 8월말 대통령 하천정비 사업 지시에 따라 국토해양부를 중심으로 10월부터 국가하천 정비방안 마련계획에 착수하였고, 2008년 11월과 12월, 2회에 걸쳐 ‘홍수의 근원적인 방지’ 등을 목적으로 제방보강·준설 위주의 ‘4대강 종합정비방안’ 사업을 (예산 약 13.9조원) 수립하였다. 이에 대통령은 보 설치와 수자원 확보, 이를 위한 수심 5~6 m 굴착 등을 마스터플랜에 반영할 것을 국토해양부에 지시하였다. 이러한 일련의 절차에 따라 국토해양부는 4대강 수심확보 등은 마스터플랜 수립 시 검토하기로 하였고, 일부 지시사항을 반영하여 2008년 12월 4대강 살리기 사업을 발표하였다.

이후 4대강 살리기 프로젝트에 대한 감사원의 주요 지적 사항은 처음 대운하 사업 계획에서 논의된 사항들이 4대강 살리기 사업으로 변경된 이후 어떠한 변화가 있었는지에 대한 것들이었다. 이러한 사실은 감사원 측에서 4대강 살리기 사업을 대운하 사업의 후속으로 판단하고 있다는 것을 나타내고 있다. 4대강 살리기 사업 마스터플랜 수립당시 국토해양부는 낙

1) 현재는 국토 해양부가 분리되어, 국토 교통부와 해양수산부로 분리 됨.

동강 최소 수심을 6 m 수준으로 해야 홍수방어와 물 부족 대처가 가능하다는 전문가들의 주장을 검토하였지만, 대운하 사업 추진의 일환으로 판단될 수 있는 논란에 대응하고자 국토해양부가 계획한 최소수심 2.5~3 m 수준으로도 홍수방어와 물 부족 대처가 충분히 가능하다는 검토결과를 대통령에게 보고하였다. 하지만 마스터플랜 중간발표 전인 4월 중순에 국토해양부는 낙동강 최소수심 4~6 m, 그 외의 강은 2.5~3 m까지 준설하고, 인공보 16개 설치 등 4대 강에 7.6억 톤의 수자원을 확보하는 계획²⁾을 반영한 마스터플랜을 최종 확정하여 발표하였다(감사원, 2018).

4대강 살리기 사업 추진에 따라 5대 중점 목표중 하나인 수질개선을 위해서 환경부는 2009년 1월부터 4대강 사업의 수질개선 대책을 담당하였다. 이를 위해서 환경부는 하천의 '생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD) 기준 좋은 물(II급수) 비율'을 높이고, 총인처리시설 등의 환경기초시설을 확충하는 대책을 마련하여 이를 마스터플랜에 반영하였다(환경부, 2009).³⁾ 마스터플랜 수립 당시 법령으로 지정된 생활환경기준은 하천의 경우 BOD 등으로, 호소(湖沼)의 경우 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총인, 엽록소-*a*(조류농도) 등의 지표로 판단하는 것으로 정하고 있었다(하수도법 시행규칙 일부개정령안, 2009년 9월, 환경부). 하지만, 환경부는 2007년부터 하천에서 BOD는 좋아지고 있으나 COD와 총인 농도가 증가하고 있어 BOD 중심의 수질대책으로는 생활환경기준을 지정하는 것에 한계가 있다는 사실을 알고 인지하였으며, 이에 따라 2009년 3월 하천의 생활환경기준에 COD와 총인을 추가하였다(관련 시행령은 7월 개정). 뿐만 아니라 4대강에 보를 설치할 경우 하천의 호소화와 이에 따른 조류대발생(Algal bloom) 등 수질오염이 발생할 수 있음을 우려하였고 이를 대통령실에 보고하기도 하였다(감사원, 2018). 그럼에도 불구하고 환경부는 4대강 사업의 수질개선 목표 수립당시 하천은 BOD만을 기준으로 수질개선 목표를 정하였다. 2009년 5월 국립환경과학원(National Institute

2) 실제로는 7.2 톤 확보.

3) 이는 낙동강 수계 기금 사업의 예산 변경으로도 알 수 있다. 토지 매수 사업을 제외한 예산은 매년 증가한 것을 알 수 있다.

of Environmental Research, NIER)은 인공보 설치에 따른 수질변화를 연구하였고, 마스터플랜 상의 수질개선대책이 시행되면 BOD나 총인 농도는 좋아질 수 있으나 16개 보 구간 중 일부(9개)에서는 조류농도가 증가할 것이라 예측하였다. 그럼에도 불구하고 환경부는 같은 해 5월 22일과 7월 2일에 각각 대통령실과 대통령에게 4대강 모든 수역에서 수질이 개선(BOD 기준) 될 것으로 예측된다 보고한 바 있다(감사원, 2018).

이와 같은 일련의 과정을 통해 4대강 살리기 사업이 진행되면서 여론을 통해 녹조발생 등 다양한 환경문제가 보도됐고, 부영양화 및 유해성조류대 발생(Harmful algal bloom)과 관련한 다양한 연구들이 진행되어왔다(Seo, Kim and Kim, 2020; Lee, Park and Kim, 2020). 일례로, 신현주·이옥민(2014)은 4대강 살리기 사업 일환으로 만들어진 남한강 3개 인공보(강천보, 여주보, 이포보) 지역의 식물플랑크톤 군집 변동성과 생물학적 수질평가에 관한 연구를 진행하였으며, 인공보 건설 이후 총질소는 평균 2.4 mg/L, 총인은 평균 0.04 mg/L, BOD 1.1 mg/L로 수질이 ‘ 좋음 ’ 등급으로 나타났고, 식물플랑크톤의 군집 변동도 *Cyclotella* sp., *Aulacoseira* sp., 및 *Nitzschia* sp. 등의 유사 분류군이 출현하여 보건설 전후 군집변화에 큰 영향이 없다고 보고한 바 있다. 이러한 연구의 일환으로, 본 연구에서는 4대강 살리기 사업에 따른 인공보 건설이 수질 개선에 어떠한 영향을 주었는지를 다른 지역보다 다소 사업 진행이 늦춰져 왔던 낙동강에 집중하여 확인하고자 하였다. 이를 위해 인공보 설치에 따라 수질이 어떻게 개선됐는지를 살펴보고, 이 과정에서 환경부에서 추진된 수질 개선 목표 성과 지표와 수질 개선 여부 및 목표 수립이 적절하였는지에 대한 논의를 통해 추후 수질 개선 환경정책 수립시에 도움을 줄 수 있는 중요한 시사점을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

이번 연구에서는 낙동강의 인공보 건설 이후 수질 개선 정도를 파악하

고자 하였다. 이를 위해 이중차분법(Difference-in-difference, DID)을 활용하여 보 건설이 이루어진 지점 9개와 이뤄지지 않은 지점 21개 지역의 데이터를 확보하였고, 보 건설 전후의 수질 변화를 비교 분석하였다. 총인(Total phosphorus, TP), 부유물질(Suspend solid, SS), 수온은 통제 변인으로 분석하였다. 이중차분법 분석에 활용된 데이터는 2008년 1월부터 2015년 12월까지의 월별 데이터를 부산광역시 기본 통계에서 추출되어 공개된 통계청 데이터를 활용하였고, 종속변인은 BOD, COD로 설정하여 보의 완성 시점인 2012년을 기준으로 분석을 진행하였다. <그림 1> 지도에서 나타낸 바와 같이, 4대강 정비 사업에 따라 낙동강에 설치된 보의 종류는 낙동강 상류에서 하류 순서로 다음과 같았다; 창녕함안보(경남 창녕군, 함안군), 합천창녕보(경남 창녕군, 합천군), 달성보, 강정보(이상 대구 달성군, 경북 고령군), 칠곡보(경북 칠곡군), 구미보(경북 구미시), 낙단보(경북 의성군, 상주시), 상주보(경북 상주시).

<그림 1> 대한민국 4대강과 낙동강의 보 설치 지역



①상주보 ②낙단보 ③구미보 ④칠곡보 ⑤강정보 ⑥달성보 ⑦합천창녕보 ⑧창녕함안보

〈그림 1〉 지도에서 표시된 총 8개의 낙동강 인공보 중에서 2010년 이전의 자료가 없는 ②낙단보와 ④칠곡보의 경우 이중차분법 분석 시 정책 효과를 판단할 수가 없으므로 제외하였다. 낙단보와 칠곡보를 제외하고 6개 보 근처 9개 지역⁴⁾의 수질 데이터와, 대조군의 자료로서 왜관, 성주, 현풍, 창녕, 함안천, 삼랑진, 주천강, 밀양강, 물금, 금곡, 구포, 낙동강 하구언, 형산강, 기계천, 칠성천, 덕현, 총 21개 지역의 수질을 비교 분석하였다. 비교 가능한 모든 지역의 데이터 확보를 위해 연도별 자료가 없는 지역의 경우 월별 수질 데이터를 산술평균하여 자료로 활용하였고, 연도별 자료가 존재하는 수질 데이터는 연도별 자료를 활용하였다. 이중 차분 분석을 위한 총 비교 기간은 2008년부터 2015년까지로 사업 시작 전후인 2012년도를 기준으로 비교 분석하였다. 강수량 데이터의 경우 지점별로 분석된 정확한 데이터 확보에 어려움이 있었다. 일례로 낙단보와 가장 가까운 지역의 강수량 데이터는 구미지역의 자료를 활용해야 하므로 이에 따른 정보 획득에 어려움이 있었다. 따라서 강수량 데이터는 상주보의 경우 상주, 낙단보 및 구미보는 구미, 칠곡보, 강정보는 대구, 합천창녕보는 합천, 창녕함안보는 밀양의 강수량 데이터를 각각 기상자료개방포털 사이트의 데이터베이스⁵⁾에서 얻어 활용하였다.

이러한 이중차분법은 두 집단의 유의한 차이를 비교해보는 것으로, 보통 정책 시행 전후 수혜 집단과 비 수혜 집단의 차이를 비교하는데 널리 활용되고 있다. 이중차분법을 통해 수혜자만을 대상으로 정책 수혜 전후를 비교하는 것보다 수혜자(실험집단)와 비수혜자(비실험집단)를 나누어 차이를 비교하는 것이 순수한 정책 수혜의 영향을 확인할 수 있다는 장점이 있다. 단, 통제 변인을 제대로 통제하지 못하는 경우 혹은 독립 변인들 간의 내생성을 고려한 분석 모형 설계가 뒷받침 되지 못하는 경우에는 통계적으로 유의한 값을 찾기 어려운 측면이 존재한다. 이중차분법 분석은 통계프로그램인 STATA/SE-12를 활용하여 진행하였다.

4) 상주1, 상주2와 같이 동일 지역에서도 강이나 보의 크기가 큰 경우 별도로 측정하는 지점이 존재한다.

5) <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>.

또한, 인공보 설치 전후의 수질개선 결과를 비교 분석하기 위해, 각 인공보가 설치된 지점들과 가까운 수질측정지점(상주보-상주2, 낙단보-상주3, 구미보-강정(해평), 칠곡보(왜관), 강정보(달성), 합천창녕보(합천), 창녕함안보(임해진))의 수질데이터를 국립환경과학원의 물환경정보시스템 DB⁶⁾로부터 얻었고, 기간은 2012년을 기준으로 전후 5년간(2007~2017년)의 수질데이터를 추출하여 분석하였다. 데이터 분석을 위해 각 수질측정 항목간의 인공보건설 전후 쌍체비교(t-test)를 Excel 2016 통계분석 프로그램을 활용하여 진행하였으며, 평균 수질데이터 값의 유의성 ($P < 0.05$)을 검증하였다. 분석에서 달성보의 경우 2012년 전후 데이터를 얻을 수 없었으므로 인공보 설치 전후 수질분석 데이터에서는 제외하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 이중차분법 분석 결과

2008년~2015년 통계청 데이터베이스인 KOSIS에서 하천수의 수질현황-낙동강 권역 데이터⁷⁾를 활용하여 BOD와 COD를 종속변인으로, 온도, 부유물질, 총인, 엽록소-*a*를 통제 변수로 이중차분법 통계분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

〈표 1〉 BOD가 종속변인인 경우 이중차분법 분석 결과

R-squared = 0.6139

bod	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
time	0.5212427	0.1058450	4.92	0.000	0.3126734	0.7298120
treated	-0.3156280	0.1267028	-2.49	0.013	-0.5652980	-0.0659582
did	0.2048546	0.1749238	1.17	0.243	-0.1398356	0.5495449
temp	0.2176237	0.0326894	6.66	0.000	0.1532087	0.2820388

6) <http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>.

7) http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_01_0100061.

ss	0.0000466	0.0039912	0.01	0.991	-0.0078181	0.0079113
tp	11.4647900	0.8814552	13.01	0.000	9.7278700	13.2017100
_cons	-2.6542300	0.5148240	-5.16	0.000	-3.6686990	-1.6397610

BOD: 생화학적 산소 요구량, time: 종속군, treated:처치군, DID: 이중 차분 분석을 통한 변수, temp:온도, ss:부유물질, tp:총인

먼저 BOD가 종속 변인인 경우의 이중차분법 통계분석 결과는 <표 1>과 같았다. BOD, 수온, 부유물질, 총인은 서로 통계적으로 상관관계가 있는 수치라고 알려져 있으며, 이로 인해 통제 변인으로 통제를 하여도 내생성이 발생하는 측면이 있어, *P*-value가 다소 높게 측정되는 결과가 나타났다. 따라서 내생성을 제거하여 정확한 통계적 상관관계를 파악해야 할 필요가 있으나, 보의 건설로 인한 BOD 변화의 경향성은 확인 가능하므로 본 분석 결과를 사용할 수 있을 것으로 판단하였다. <표 1>에서 보이는 Coefficient 값이 0.20인 것으로 판단 시, 2012년 보 건설 전후에서 BOD 양이 상당히 증가한다는 사실을 확인할 수 있었다. 정수현(2016)도 2004년에서 2014년 기준으로 생화학적 산소 요구량(BOD)은 보 설치 전후를 비교하여 모든 수질측정망에서 수치가 증가하였고 중·하류로 갈수록 그 차이가 심하다고 지적하였다. 이러한 결과는 낙동강 인공보 설치 이후 유기물 오염도가 상당히 증가하였다는 사실을 의미한다.

<표 2> COD가 종속변인인 경우 이중차분법 분석 결과

R-squared = 0.6165

cod	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
time	0.9118745	0.1814281	5.03	0.000	0.5543674	1.269382
treated	-0.6220903	0.2171802	-2.86	0.005	-1.050048	-0.1941331
did	0.4386171	0.2998356	1.46	0.145	-0.1521938	1.029468
temp	0.3915102	0.0560327	6.99	0.000	0.2810969	0.5019236
ss	0.0388047	0.0068413	5.67	0.000	0.0253238	0.0522855
tp	15.21544	1.510896	10.07	0.000	12.23819	18.19268
_cons	-3.171588	0.8824558	-3.59	0.000	-4.910481	-1.432694

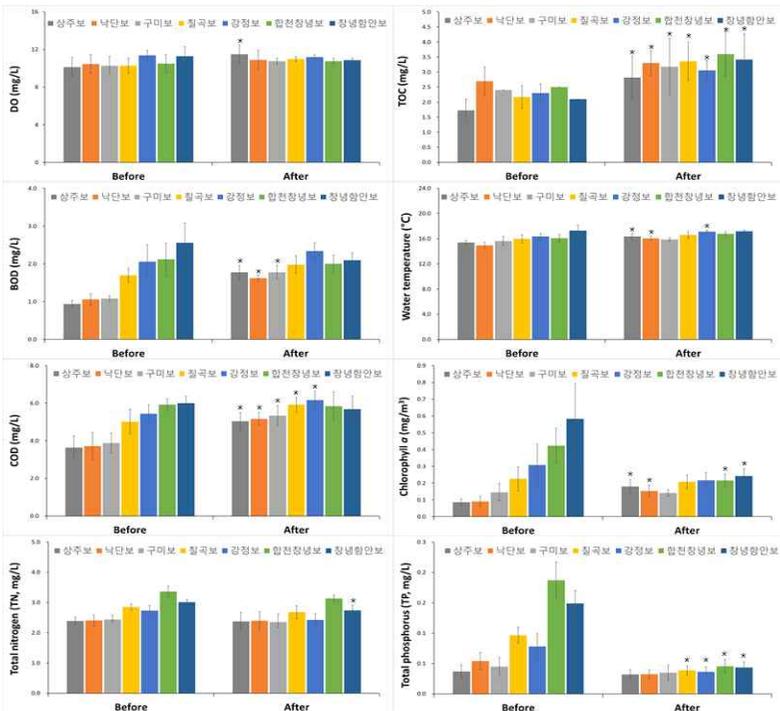
COD: 화학적 산소 요구량, time: 종속군, treated:처치군, DID: 이중 차분분석을 통한 변수, temp:온도, ss:부유물질, tp:총인

다음으로 COD를 종속 변인으로 놓고 이중차분법 분석을 수행한 결과 <표 2>에 나타난 것처럼 Coefficient 값이 BOD의 경우보다 높게 나온 것을 확인할 수 있었다. COD는 화학적 산소요구량으로 이러한 결과는 낙동강 인공보 설치 후의 수질이 생물화학적 요소에 추가적인 처리가 필요할 정도로 오염되었음을 의미하며, 동 기간 생화학적으로 분해가 안 되어 생태계에 영향을 줄 수 있는 물질이 더욱 증가하였음을 나타내고 있다.

2. 인공보 설치 전후의 주요 수질 데이터 비교

낙동강 인공보 설치 전후의 주요 수질데이터들을 각 보가 설치된 지점별로 정리한 결과는 <그림 2>와 같았다.

<그림 2> 낙동강 인공보 지점별 설치 전후 5년간의 주요 수질데이터의 변화

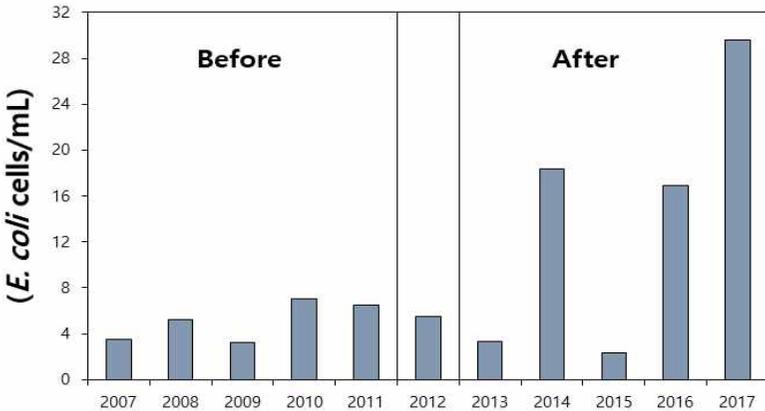


별표(*)는 P<0.05 인 값을 의미하며 쌍체비교를(t-test)을 통해 유의성을 확인함

〈그림 2〉에서 나타난 것처럼 주요 수질 지표들인 용존산소량(Dissolved oxygen, DO), BOD, COD, 총질소(total nitrogen, TN), 총유기탄소(total organic carbon, TOC), 수온(water temperature), 엽록소 *a*(Chlorophyll *a*), 총인(total phosphorus, TP)의 인공보 설치 전(Before), 후(After) 5년간의 비교 결과는 인공보가 설치된 지점마다 다양하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 특히, 데이터를 토대로 수질의 개선정도를 확인하였을 때, 상류보다 상대적으로 하류지역에 설치된 칠곡보, 강정보, 합천창녕보, 창녕함안보 근처에서 총인의 검출량이 상당히 줄어들었으므로 수질 개선이 이뤄진 것을 확인할 수 있었고, 조류대발생의 지표로 활용되는 수질 지표인 엽록소 *a*도 별표로 표시된 합천창녕보와 창녕함안보에서는 상당히($P < 0.05$) 줄어들었다는 사실을 확인할 수 있었다. 그뿐만 아니라 총질소의 양도 하류인 창녕함안보 근처 수계에서 상당히 줄어들었다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 사실은, 총인과 총질소에 대한 수질 개선이 보 설치 이후 하류 지역인 합천창녕보, 창녕함안보 등에서 상류지역보다 상대적으로 잘 이뤄진 것을 보여주고 있다. 또한, 깨끗한 물의 지표인 용존산소량의 5년간 평균치를 비교하였을 때 상대적으로 상류 지역에 설치된 상주보 근처에서 상당히 높게 나타났으며, 용존산소량만을 결과로 놓고 봤을 때 수질 개선이 되었다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 반대로 유기물의 오염지표인 BOD와 TOC의 양은 상당히 증가하였다. 특히 BOD의 경우 상대적으로 상류 지역인 상주보, 낙단보, 구미보에서 상당히 증가 되었으며 인공보 설치 전 5년 평균치보다 각각 약 1.9배, 1.5배, 1.6배 이상의 증가 수준을 보였다. TOC의 경우 모든 측정 지점에서 인공보 설치 전보다 상당히 늘어난 수치를 나타내었으며, 조류대발생 지표인 엽록소 *a*의 양도 상주보와 낙단보에서는 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 상주보, 낙단보 등 상대적으로 상류지역의 인공보 설치 지역에서 나타나는 오염 정도는 COD의 증가를 통해서도 확인할 수 있었으며, 상주보, 낙단보, 구미보, 칠곡보, 강정보에서 COD 값이 인공보 설치 전보다 상당히 증가된 수치를 나타냈다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 사실은 실제 수질개선 정도가 보가

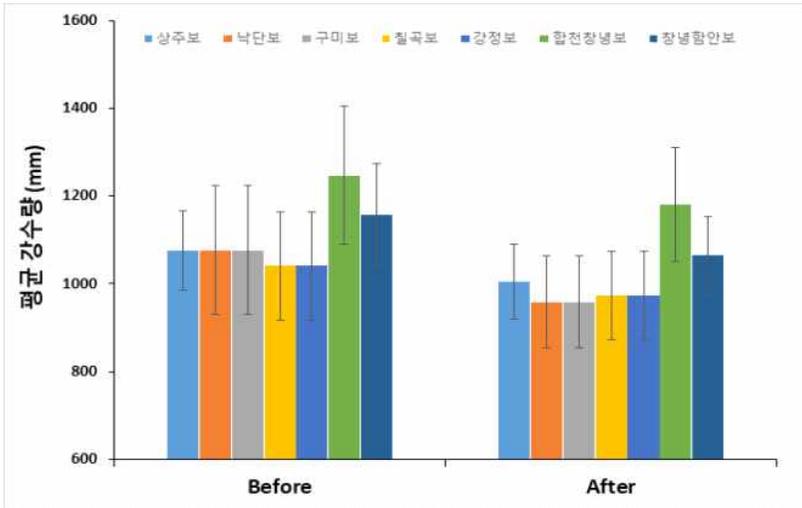
설치된 지역마다 서로 다르게 나타나고 있으며, 특히 유기 탄소의 증가양상이 뚜렷하게 나타나는 현상으로 인해 TOC, BOD, COD의 양이 상당히 높게 나타난 것으로 판단된다. 이러한 유기탄소의 증가는 다양한 미생물의 증식에 큰 영향을 주며, 미세조류 및 박테리아의 성장에 특히 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되어 왔다(Chen, 1996; Perez-Garcia, Escalante, De-Bashan and Bashan, 2011; Escobar, Randall and Taylor, 2001). 따라서 물환경정보시스템의 대장균(*Escherichia coli*)의 증가 정도를 확인한 결과 <그림 3>에 나타난 것처럼 보설치 시점인 2012년에 비해 그 수가 눈에 띄게 증가하는 양상을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

<그림 3> 낙동강 인공보 설치 전후 5년간 대장균(*Escherichia coli*) 세포수 변화



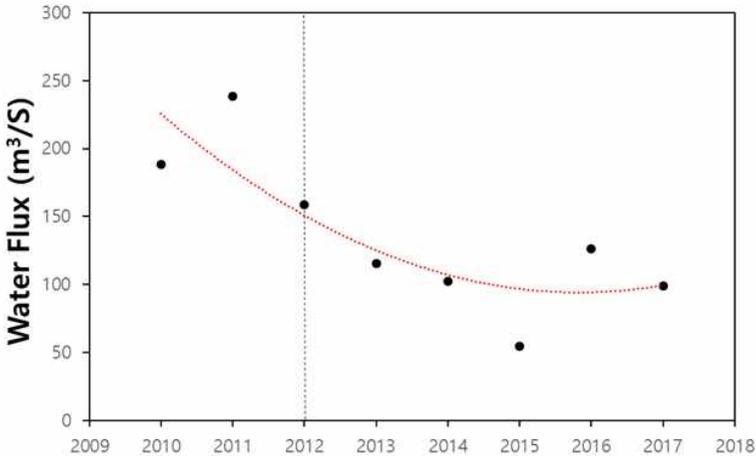
또한, 이러한 수질 데이터에 영향을 줄 수 있는 강수량의 인공보 설치 전후 변화를 살펴본 결과 <그림 4>에서 나타난 것처럼 각 지점별로 유의미하게 변화되는 강수량의 차이는 확인할 수 없었다($P>0.05$). 이러한 사실은 강수량이 TOC 등 수질 변화에 직접적인 영향을 미치지 못했다는 것을 의미하며 보설치 이후에 유기물에 의한 오염이 심각하게 증가해오고 있음을 나타낸다. 따라서 질소와 인에 대한 개선은 이루어졌지만, 유기물 또는 유기탄소에 대한 관리는 잘 이뤄지지 않았음을 보여주고 있다.

〈그림 4〉 낙동강 인공보 설치 전후 5년간의 평균 강수량 변화



유기탄소의 증가는 다양한 미생물 및 미세 조류의 증식에 영향을 줄 수 있으며, 이로 인해 BOD 및 COD를 증가시키고 수질을 악화시키는 중요한 역할을 할 수 있다. 이러한 TOC, BOD, COD의 상관관계는 이전 연구에서도 잘 설명이 이뤄진 바 있다(Dubber and Gray, 2010). 비록 낙동강 유기탄소의 증가에 대해서는 아직 연구가 많이 이뤄지지 않아 정확한 원인 규명이 필요한 실정이지만, 보설치 및 준설로 인한 유속의 감소 또한 유기탄소 축적에 영향을 주었을 것으로 추측된다. 이러한 유속의 감소는 특정지역에서의 유량(Water flux)과 큰 관련이 있으며, 따라서 유량=유속x면적으로 계산된다. 실제 낙단보 지역에서의 유량⁸⁾은 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 2012년 보설치 이후 크게 감소했다는 사실을 확인할 수 있다.

8) 물 환경 정보 시스템(<http://water.nier.go.kr/>) 보 모니터링 낙단보.

〈그림 5〉 인공보 설치 전후의 유량(m^3/S) 비교

따라서 이러한 유속 및 유량의 변화와 낙동강 수계에서의 유기탄소 축적이 어떠한 원인으로 이뤄지는지에 대한 선행 연구를 통해 추후 하천에서의 보설치 이후 나타날 수 있는 환경정책에 반영하기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

이러한 유기탄소, BOD, COD 등의 증가와 더불어 K-Water에서 운영하는 물정보포털(My Water)⁹⁾의 조류경보제와 수질 예보제 자료를 기반으로 2010년부터 2016년 기간 동안 남조류(Cyanobacteria) 번식을 확인한 결과는 〈표 3〉과 같았다. 여기서 남조류는 우리가 흔히 알고 있는 녹조대발생을 일으키는 대표적인 분류군이며, Microcystin 및 Anatoxin 등의 독성 물질을 분비하는 마이크로시스티스(*Microcystis*), 아나베나(*Anabaena*) 및 아파니조메논(*Aphanizomenon*)과 같은 유해성 남조류 속을 포함한다. 이러한 유해성 남조류의 세포 개수에 따라서 조류경보제 발령 수준이 결정되며 채수된 샘플의 10^4 cells/mL 이상을 조류경보제의 관심 경계수준으로 판단한다(김석구, 2017).

9) <https://www.water.or.kr/disaster/safety>.

〈표 3〉 남조류 세포가 관심 경계수준(1만 세포/mL 이상) 이상 발생한 일수

지점	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
상주보	0	0	0	0	0	12	15
낙단보	0	0	7	4	0	33	8
구미보	0	0	8	17	0	48	6
칠곡보	0	0	15	6	20	63	11
강정보	0	0	6	9	69	62	6
달성보	0	0	1	38	59	111	37
합천보	0	0	22	34	80	138	66
함안보	0	0	21	31	65	145	68
평균	0	0	10	17.3	36.6	76.5	27.1

조사결과 위의 〈표 3〉에서 보이는 것처럼 남조류 세포가 관심 경계수준으로 발생한 일수는, 2012년 이후 급격하게 증가한 것을 확인할 수 있다. 남조류의 대발생 원인은 수온, 강수, 비점오염원의 영양염류 유입, 생물학적 상호작용 등 다양한 요인으로 발생하지만, 주로 질소, 인, 철 및 유기물 등의 영양염류 체류시간, 기상 조건, 유속 등에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Paerl, Gardner, McCarthy, Peierls and Wilhelm, 2014; Glibert et al., 2004; Romo, Soria, Fernandez, Ouahid and BARÓN-SOLÁ, 2013; Ahn, Chung and Oh, 2002). 류성훈·이인철·장태영·김경희(2015)는 인공보 건설로 인해 약 4억 톤에 달하는 준설이 실시 되면서 지형적 체적증가에 따른 외부 오염부하에 대한 완충 능력이 증가되는 효과를 보였지만, 이로 인한 체류 시간의 증가는 부영양화에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 하였으며, 특히, 낙동강의 경우 상류에서 생활하수, 점오염원 및 비점 오염의 영향을 받고 중류에서는 공업단지의 처리된 폐수들이 유입하므로, 하류에서는 정체 수역으로 인한 조류 및 수질 악화가 심각하다고 이야기하였다. 따라서, 인공보 건설로 인한 물의 체류 시간 증가와 유기탄소의 부영양화가 박테리아뿐만 아니라 유해성 남조류 번식에도 큰 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이러한 보설치 이후 조류 발생의 변화에 관한 연구는 남한강에서 전승훈·채수권·오승은·안홍규(2016)에 의해서 진행된 바 있으며, 남한강의 이포보 건설 이후 체류 시간, 수온 및 일조시간 증가에 따라 조류 예보 발생 횟수가 증가했다고 보고한 바 있다.

3. 낙동강 수계 기금의 수질개선 목표 및 지표의 적절성

위 서론에서 설명했듯이, 낙동강의 인공보 건설 사업은 ‘4대강 정비 사업’으로 국토 해양부 및 4대강 살리기 추진 본부에서 진행한 사업이지만, 실질적인 낙동강의 관리시스템은 환경부에서 진행되어 왔으며, 환경부 산하의 ‘낙동강 수계 관리 기금’에서 진행되어 왔다. 낙동강 수계 기금은 2002년 7월 15일에 설치되었으며, 설치 목적은 낙동강 수계 수자원과 오염원을 적정하게 관리하고 상수원 상류지역 수질 개선 및 주민 지원 사업을 효율적으로 추진하여 낙동강수계의 수질을 개선하기 위함이다(환경부 낙동강유역환경청, 2021). 이러한 기금을 이용한 주요사업은 주민지원사업, 환경기초시설의 설치 및 운영사업, 토지 등의 매수사업 및 수변녹지조성사업, 기타수질개선지원사업, 오염총량관리사업 및 수계관리위원회 운영경비(기금운영비) 등으로 구성되어 있다.

먼저 주민지원사업의 경우 상수원관리지역 지정으로 재산권 행사 등에 제약을 받고 있는 주민들의 생활환경 개선과 소득 수준 향상 등의 직·간접적인 주민지원 사업을 통해 상수원 수질보전 정책에 대한 지역주민의 적극적인 협조와 참여 유도하는 사업이며, 지원대상은 상수원관리지역 및 댐 주변지역 또는 그 지역의 주민이다. 환경기초시설의 설치 및 운영사업은 재정이 열악한 지방자치단체의 지방비 부담분 일부를 기금으로 지원하여 환경기초시설 조기 확충을 유도하고 직접적으로 수질오염방지 및 낙동강 수질개선에 기여하는 것을 목적으로 진행된 사업이며 국고가 보조되는 공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 가축분뇨공공처리시설, 하수관로 설치사업의 지방비 부담분 중 일정비율을 재정자립도 등을 고려하여 지역별로 구분하여 기금을 지원한다.

토지 등의 매수사업 및 수변녹지조성사업은 상수원 수질에 영향이 큰 상수원 상류지역 토지 등을 직접 매수 및 오염원을 제거하여 수질오염을 유발하는 토지이용을 사전 예방 및 수질개선을 위한 목적으로 진행된 사업이며, 낙동강의 수질보전을 위하여 상수원관리지역, 상수원보호구역, 수변구역 및 환경부령이 정하는 지역의 토지와 시설물을 매입하고, 낙동

강수계 매수 토지를 대상으로 수변생태벨트 조성을 통해 비점오염물질이 직접 수계로 유입되는 것을 예방하고 자연정화기능 증대를 통해 낙동강수계 상수원 수질개선을 도모한다. 사업내용은 매수한 토지에 수변생태벨트 수목식재 습지조성 등 수변생태벨트를 조성하기 위한 공사비 및 수변녹지 조성지역의 사후관리를 위한 사업비로 이용된다.

기타수질개선지원사업은 낙동강 원수를 취수하는 상수원관리지역, 상수원보호구역 및 수변 구역의 관리비용 일부를 지원하여 상수원 수질개선을 목적으로 진행된 사업이며, 사업내용은 지자체의 상수원관리지역 관리를 위한 인건비 시설 및 장비 표지 초소 등 설치비 개보수 등 유지관리비 및 오염행위 감시를 위한 경비 지원 등을 포함한다. 세부사업 중 비점 오염 저감사업(2009년 시작, 비점오염관리대책지역 축산단지 하류지역 도시지역 등의 비점오염물질 유출 저감 및 제거를 위한 습지 등 시설 설치비 지원, 국고 지원이 확정된 사업에 대해 지방비 부담분의 일정비율 지원), 하천하구쓰레기정화사업(2015년 시작, 유역의 상수원댐 상류와 하천변 등에 방치 산재된 쓰레기를 장마 태풍 등 집중호우 전 후에 신속하게 수거 처리 인건비 처리비 수거차량 임차비 등 지원비용 국고 지원이 확정된 사업에 대해 지방비 부담분의 40% 지원)이 대표적이거나, 사업의 시작시점이 늦고, 투입 예산이 적은 관계로 본 분석에서는 제외하였다.

그 밖에 오염총량관리사업은 수질오염총량관리계획을 수립 시행하는 지자체의 시행계획 수립 및 이행 평가에 소요되는 비용, 오염총량관리 배출 삭감시설 모니터링 비용 등 지원하는 사업이며, 수계관리위원회 운영 경비 지원사업은 낙동강수계관리위원회 운영 및 개 광역시 도의 기금업무에 소요되는 경비를 지원하여 기금관리의 효율적 운영을 도모하고, 기금의 효율적 관리를 위한 회계직 사무보조 등의 인건비 등으로 사용되는 사업이다(환경부 낙동강유역환경청, 2021).

본 연구에서 진행한 이증차분법 분석, 인공보설치 전후의 수질분석, 조류경보발생 일수의 증가 수준으로 판단하였을 때, 낙동강의 인공보 설치 이후 총인과 총질소에 대한 수질개선은 확인되었지만, 유기탄소의 관리

미비로 인해 일부 인공보 설치 지역에서 BOD, COD와 TOC 및 남조류 경보횟수가 상당히 증가했다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, <표 4>에서 나타낸바와 같이 각 항목별 낙동강수계관리기금 관련 사업의 예산은 지속적으로 증가되어 왔다(낙동강수계관리위원회, 2018).

〈표 4〉 2008-2015년 낙동강 수계 기금 세부 사업별 예산 변동 내역

(단위, 억원, 년)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
주민지원사업	271	270	271	272	271	272	265	288
환경기초시설	1,000	1,079	1,375	1,475	1,289	1,322	1,261	1,421
기타수질개선	84	97	96	100	90	141	156	140
토지매수사업	445	438	181	216	368	364	351	359
오염총량관리	44	41	44	53	56	75	58	72
기금운영비	28	30	31	34	33	33	33	35

물론, 이러한 예산변경 항목들 중 토지매수사업의 경우 수변 지역 및 상수원 지역의 토지를 국가가 개인이나 기관으로부터 매수하는 사업이므로, 예산을 집행하는 과정에서 매수가 실패하거나, 매도자에게 맞는 가격을 제시 못하는 상황이 발생하여 불용 처리되는 경우가 종종 발생한다. 더불어, 사업기간이 길어서, 당해년도에 예산을 이용하여 철거, 녹지 조성, 등을 진행하기 어렵다고 볼 수 있다. 하지만 이번 연구를 통해 인공보가 설치된 각 지점별로 주요 수질 지표들의 악화가 뚜렷이 관찰되었고, 남조류의 대발생 빈도수 및 세균 번식이 증가되어 수질오염 문제가 인공보 설치 이후 발생했다는 사실을 확인할 수 있었으며, 사업의 각 항목별로 전반적인 수질개선사업에 투입된 예산 대비 실효성 있는 성과를 거두었는지는 구체적이고 세부적인 분석이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 이러한 분석을 위해 위에서 실시한 이중차분법 분석과 더불어 구체적인 성과계획서에 관한 내용 검토를 진행하였다. 현재 대한민국 53개 부처의 모든 단위사업은 사업의 내용이 인건비, 경상비, 교육비 등의 운영비 명목이 아닌 사업예산의 경우 1년간의 성과를 측정할 수 있는 성과지표를 설정해야

하며, 이는 정부부처들이 다음 회계연도의 성과지표를 직전년도 6월~8월의 기간 성과 계획서 검토를 통해 작성하는 것으로, 성과 측정 당해 연도 이후 보고서를 통하여 목표치 대비 실적의 달성률을 기준으로 성과 보고를 하게 된다. 이러한 절차는 다음연도 예산 반영에 중요한 참조자료로 활용되며, 예산을 받아 진행되는 사업의 연간 실적을 측정하는 데 있어 중요한 척도로 사용된다.¹⁰⁾

2008년부터 2015년까지의 낙동강 수계 기금의 성과 지표 (수질 관련)의 성과 지표의 목표치, 실적치, 달성률의 현황¹¹⁾은 <표 5>와 같았다.

<표 5> 2008년~2015년 기간 동안의 성과 지표 달성률 현황

성과지표명		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
년간 투입예산 당 오염물질 저감량(톤/억원)	목표	303.2	304	305					
	실적	335.2	421.2	423.8					
	달성률	110.6	138.6	138.9					
기금지원환경기초시설오염물질감량(kg/년)	목표	116.8	120.5	122.3					
	실적	129.7	145.4	163.4					
	달성률	111	120.7	133.6					
오염부하량할당시설의할당부하량준수율(%) -(오염부하량할당시설의 할당부하량 준수여부 지도·점검시설 대비 준수시설)*100	목표			60	70				
	실적			100	97.9				
	달성률			166.7	139.9				
기금으로 운영비가 지원되는 환경기초시설의 오염물질 삭감량(천톤/년) =(유입부하량-방류부하량)	목표		120.5	178	182	178	188	189	191
	실적		122.3	181.4	182.4	181.4	188.5	196.2	191.9
	달성률		101.5	101.9	100.2	101.9	100.3	103.8	100.5
오염총량관리단위구역목표수질달성률(%) -수계내단위구역 ¹²⁾ (41개)중평균수질 의목표수질달성(비율)	목표							78.2	80.7
	실적							85.4	87.8
	달성률							109.2	108.8
총량협의사업장삭감계획이행률(%) -전년도준공된개발사업장중총량협의 (삭감계획)이행사업장수(비율)	목표							75	78
	실적							76.4	79.5
	달성률							101.9	101.9

10) 환경예산과 예산제도(환경부 기획재정담당관실, 2016).

11) 환경부 성과 계획서 2008년~2015년 저자 재구성.

12) 수계내 단위구역 41개 - 부산 2곳, 경남 12곳, 경북 19곳.

〈표 5〉에서 제시된 6개 지표들은 연간 투입예산 당 오염물질 저감량(톤/억 원), 기금지원환경기초시설 오염물질 삭감량(kg/년) 등을 포함한 6개의 항목으로 구성되어 있으며 2008년부터 성과 목표 대비 달성율이 모두 100%를 상회하고 있는 것을 확인할 수 있다. 물론, 오염물질 저감량을 목표로 설정하여 이를 체계적으로 수행하는 것은 수질 개선에 상당한 도움이 될 것으로 사료되며, 몇몇 인공보 설치 지점에서 실제 총질소와 총인의 개선 효과를 나타내었다는 사실을 확인할 수 있었으나, 이종차분법 분석 결과와 남조류 대발생 빈도수 및 인공보설치 전후 수질개선 데이터에 따르면, 낙동강에 인공보 건설 이후 TOC 증가 등에 의해 BOD와 COD 등이 크게 악화된 것으로 판단되며 이로 인한 유기탄소 부영양화가 심각하게 진행되었다. 그럼에도 불구하고, 관련된 사업의 성과지표 달성률이 100%라는 사실은 실질적인 수질개선과 관련된 성과지표 설정시 부족한 부분이 존재할 가능성을 나타내고 있다. 또한 대다수의 성과 지표들이 투입 예산 당, 기금 지원을 받은 시설의 삭감량, 기금으로 운영되는 환경 기초 시설의 오염 물질 삭감량 등의 형태를 지니고 있다. 즉, 투입 예산이 증가하면 관련된 산출물이 증가하는 형태의 투입 및 산출 지표의 형태를 가지고 있다.

하지만, 이러한 오류 발생 가능성에도 불구하고 〈표 4〉에서 보이는 것처럼 각 세부사업 항목별 국가 예산은 지속적으로 증액됐으므로, 녹조대발생 등으로 많은 언론의 주목을 받는 상황과 더불어, 추후 실효성 없는 사업에 국가 예산을 낭비하였다는 비판에 직면할 가능성이 존재한다. 이러한 사실들을 토대로 본 연구에서는 그동안 실질적인 수질 개선 실효성이 부족한 성과지표 설정을 유기탄소관리를 포함하여 체계적으로 개선하고, 주기적인 수질데이터 모니터링과 TOC의 증가 원인을 정확하게 밝혀내는 작업을 진행하는 등 적극적인 수질개선 성과 목표가 수립되어야 함을 강조하고자 한다. 특히, 사회적 문제가 되고 있는 남조류 대발생의 빈도수 문제를 일으키는 부영양화현상을 줄이기 위한 성과목표 설정 또한 필요할 것으로 판단되며, 이를 통해 국민 건강 개선을 위해 노력해나가야 할 것이다.

IV. 결론 및 제언

이번 연구에서는 4대강 살리기 사업의 일환으로 추진된 낙동강 인공보 건설 사업이 설치구간의 수질개선에 어떠한 영향을 주었는지에 대하여 공개데이터를 활용하여 분석을 진행하였다. 이후 다양한 수질 지표들의 인공보 설치 전후 비교를 통해 낙동강 수계기금의 연간 예산 변동과 수질 관련 성과지표의 적절성 여부를 검토하였다.

이번 연구를 통하여 낙동강의 인공보 건설 전후 BOD, COD 및 TOC 변화량은 인공보 설치 지점마다 다양하게 나타났지만, 기존보다 증가된 경향성을 나타낸다는 사실을 확인 할 수 있었다. 또한, 총질소 및 총인 등의 주요 수질 지표들의 개선이 이루어진 특정 지점들을 확인할 수 있었던 반면, 동 기간의 남조류 대발생 빈도가 인공보 설치 이후 다소 증가된 것을 확인할 수 있었다. 따라서 인공보 설치 이후 전반적인 수질 개선을 위해서 TOC, 남조류 대발생 등의 관리방안 등에 대한 지표 설정이 추가적으로 필요함을 확인할 수 있었다. 또한, 낙동강 수계기금의 6개 성과지표의 달성률을 검토한 결과는 수질 개선의 직접적인 효과를 위한 정책설정이 필요하다는 사실을 시사한다. 이러한 사실은 사업별로 투입된 예산대비 산출지표의 형태를 벗어나기 어려운 사업의 한계점 및 사업의 효과가 나타나는 시기의 적절함이 충분히 고려되지 않기 때문으로 판단할 수 있다. 하지만, 수질 개선에 해당하는 평가 지표의 명확한 기준과 동사업을 통한 개선된 성과 목표가 적절하게 제시되지 못했기 때문이라 판단된다. 추가로, 생활환경개선 기준으로 BOD, COD, 총인, 부유물질, TOC 등의 전체적인 수질지표들을 포함하지 않고, BOD만을 기준으로 설정한 것은 수질 개선 정도를 정확하게 평가하기 어려울 수 있다고 판단된다. 본 연구는 수질 개선이라는 목표 달성 과정에서 사업계획의 수립뿐 아니라 고유 사업의 수행에 해당하는 모니터링과 평가의 과정에서 정부 부처, 전문가 및 정책 수립자들 간의 심층적인 토론의 필요성을 다시 한번 고찰시켜준다. 물론, 이번 연구는 저수량, 일조량 등의 기상 조건, 비점오염원 등의 다양

한 항목들을 포함 시키지 못한 한계점이 존재하지만, 향후 수질 개선과 관련하여 정부 부처, 환경단체, NGO 등 다양한 분야의 환경 정책 전문가들의 의견을 수렴하고, 수질 개선 지표 항목들의 정확한 모니터링과 실효성 있는 성과 항목 관리가 정책수립 및 사업 계획시에 중요하다는 점을 시사해주고 있다. 여기에는 사업수행 및 수행 과정에서의 적정한 평가를 통한 결과를 사업의 계획과 수행 과정에 환류하여 기존에 수립한 사업의 목적 달성을 용이하게 하는 과정 또한 포함하고 있다. 더불어, 향후 인공보 설치 전후의 장기 모니터링 결과와 비점오염원의 발생 여부, 다양한 기상환경, 수문학적 요인들에 대한 상관관계에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이와 함께, 앞서 언급한 바와 같이 낙동강 수질 오염과 관련하여 인공보 설치 후 보의 수문 개방에 관련한 지역 생태계 변화 및 보의 수위 조정으로 인한 수질 및 생태계 변화에 대한 보다 심층적인 연구가 필요하다. 이를 얻어진 결과를 토대로 정책 수립이 필요하며 수립된 정책의 영향에 관해서도 심층적인 연구와 평가가 필요할 것으로 사료된다.

■ 참고문헌 ■

- 감사원, 2018, 『4대강 살리기 사업 추진실태 점검 및 성과분석 - 주요 감사결과 및 성과 분석 결과』, 서울: 감사원.
- 김석구, 2017, "녹조와 조류경보제," 『물과 미래』, 50(7), pp.22-26.
- 김창수·정은정·박두호, 2012, "4대강 관광 및 레저사업 성과 분석," 『관광경영연구』, 16(4), pp.93-115.
- 낙동강수계관리위원회, 2018, 『낙동강수계관리기금 통계(2002-2017)』, 창원: 낙동강수계관리위원회.
- 류성훈·이인철·장태영·김경희, 2015, "낙동강 유역 보 건설로 인한 수질환경 변동특성 분석," 『한국해양환경·에너지학회 학술대회논문집』, 경상대학교 통영 캠퍼스, pp.16-20.
- 박창근, 2009, "녹색성장 정책과 4 대강 살리기 사업의 문제: 토목공학의 관점," 『경제와 사회』, 83, pp.117-142.
- 신현주·이옥민, 2014, "남한강 3개 인공보의 식물플랑크톤 군집 변동과 생물학적 수질 평가," 『한국물환경학회지』, 30(6), pp.612-621.

- 전승훈·채수권·오승은·안홍규, 2016, “남한강 강천보와 이포보 건설 전·후 조류 발생의 변화에 대한 연구,” 『한국습지학회지』, 18(4), pp.394-403, DOI: 10.17663/JWR.2016.18.4.394.
- 정수현, 2016, “4대강 사업 후 수질변화 분석 낙동강 4개 인공보 중심으로,” 『2016년 한국환경정책학회 춘계학술대회 요약집』, 서울대학교 환경대학원, pp.55-56.
- 하수도법 시행규칙, 2019, 환경부령 제833호.
- 환경부, 2007, 『2008년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2008, 『2009년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2009, 『2010년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2010, 『2011년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2011, 『2012년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2012, 『2013년 환경부 성과 계획서』, 과천: 환경부.
- _____, 2013, 『2014년 환경부 성과 계획서』, 세종: 환경부.
- _____, 2014, 『2015년 환경부 성과 계획서』, 세종: 환경부.
- _____, 2015, 『2016년 환경부 성과 계획서』, 세종: 환경부.
- 환경부 기획재정담당관실, 2016. 『환경예산과 예산제도』, 세종: 환경부.
- Ahn, C. Y., A. S. Chung, and H. M. Oh, 2002, “Rainfall, phycocyanin, and N: P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir,” *Hydrobiologia*, 474(1-3), pp.117-124, DOI: 10.1023/A:1016573225220.
- Chen, F., 1996, “High cell density culture of microalgae in heterotrophic growth,” *Trends in Biotechnology*, 14(11), pp.421-426, DOI: 10.1016/0167-7799(96)10060-3.
- Dubber, D. and N. F. Gray, 2010, “Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste,” *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 45(12), pp.1595-1600, DOI: 10.1080/10934529.2010.506116.
- Escobar, I. C., A. A. Randall, and J. S. Taylor, 2001, “Bacterial growth in distribution systems: Effect of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon,” *Environmental Science & Technology*, 35(17), pp.3442-3447, DOI: 10.1021/es0106669.
- Glibert, P. M., C. A. Heil, D. Hollander, M. Revilla, A. Hoare, and J. Alexander et al., 2004, “Evidence for dissolved organic nitrogen and phosphorus uptake during a cyanobacterial bloom in Florida Bay,” *Marine Ecology Progress Series*, 280, pp.73-83, DOI: 10.3354/meps280073.
- Lee, S. M., K. D. Park, and I. K. Kim, 2020, “Comparison of machine learning

- algorithms for Chl-*a* prediction in the middle of Nakdong River (focusing on water quality and quantity factors),” *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 34(4), pp.277-288, DOI: 10.11001/jksww.2020.34.4.277.
- Paerl, H. W., W. S. Gardner, M. J. McCarthy, B. L. Peierls, and S. W. Wilhelm, 2014, “Algal blooms: Noteworthy nitrogen,” *Science*, 346(6206), p.175, DOI: 10.1126/science.1255679.
- Perez-Garcia, O., F. M. Escalante, L. E. De-Bashan, and Y. Bashan, 2011, “Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products,” *Water Research*, 45(1), pp.11-36, DOI: 10.1016/j.watres.2010.08.037.
- Romo, S., J. Soria, F. Fernandez, Y. Ouahid, and Á. N. G. E. L. BARÓN-SOLÁ, 2013, “Water residence time and the dynamics of toxic cyanobacteria,” *Freshwater Biology*, 58(3), pp.513-522, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02734.x.
- Seo, D., J. Kim, and J. Kim, 2020, “Analysis of influence on water quality and harmful algal blooms due to weir gate control in the Nakdong River, Geum River, and Yeongsan River,” *Journal of Korea Water Resources Association*, 53(10), pp.877-887, DOI: 10.3741/JKWRA.2020.53.10.877.
- 국가통계포털, 2008-2015, “하천수의 수질현황 낙동강권역,” http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_01_0100061, [2020.10.21]
- 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>, [2021.3.23]
- 물환경정보시스템, 2008-2015, “물환경데이터,” <http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>, [2020.10.25]
- _____, 2008-2015, “보 모니터링,” http://water.nier.go.kr/bo/downTabList.do?menuIdx=7_1, [2020.10.21]
- 환경부 낙동강유역환경청, 2021, “수계관리위원회,” <http://me.go.kr/ndg/web/index.do?menuId=3600>, [2021.1.21]
- MyWater, 2008-2015, “수질오염사고 통계 - 물재해 현황,” <https://www.water.or.kr/disaster/safety>, [2020.10.23]

김용기: 포항공과대학교에서 산업경영공학, KDI국제 정책대학원에서 경영학과 공공정책학을 전공하였다. 현재는 서울대학교 환경대학원에서 환경계획학과 박사과정을 수료하였으며, 이전에는 연세대학교 사회과학연구소, 한국조세재정연구원, UNPD GEF YSLME (Yellow Sea LArge Marine Eco-system)에서 근무하였다. 관심 연구 분야는 Green Finance, 녹색 채권 평가, ESG 성과평가 등이다(rocker9018@gmail.com).

투 고 일: 2021년 02월 17일
 심 사 일: 2021년 03월 07일
 게재확정일: 2021년 04월 06일

복합재난 대응지역 설정을 위한 시공간 클러스터 분석

Space-Time Cluster Analysis for Detecting of Multi-Hazard Response Areas

김효정* · 이성호**

Hyojeong Kim · Sungho Lee

요약: 최근 국내외적으로 두 개 이상의 위험이 동일 지역에 동시 또는 연속적으로 발생하는 복합재난의 발생빈도가 잦아지고 있으나 복합재난에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 과거 10년간 자연재난 및 사회재난 데이터를 바탕으로 시공간스캔통계량의 시공간순열모델을 이용하여 복합재난 시공간 클러스터를 분석하였다. 그 결과, 부산을 비롯하여 울산·경남·대구·경북 일부를 포함한 지역에서 9월~11월 경 1차 시공간 클러스터가 도출되었다. 또 자연재난과 사회재난을 각각 개별적으로 분석했을 때와 재난을 종합적으로 고려하였을 때 분석되는 시공간 클러스터가 다름에 따라 복합재난 대응을 위한 분석이 별도로 필요함을 확인할 수 있었다. 본 연구는 통계적인 검증을 거쳐 복합재난 핫스팟 클러스터 분석 및 지도 작성에 의의가 있으며 이는 복합재난 대응을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심주제어: 복합재난, 시공간스캔통계량, 시공간순열모델, 클러스터, 핫스팟

Abstract: Recently, the frequency of disasters in which more than one hazard occurs simultaneously or continuously in the same area has been increasing both domestically and abroad. However, research on multi-hazard responses has been insufficient. This study included an analysis of space-time clusters about multi-hazard in Korea by using space-time scan statistics based on natural and social disaster data over the past decade. Consequently, space-time cluster was analyzed in Busan and in parts of Ulsan, Daegu, Gyeongsangnam-do, and Gyeongsangbuk-do between September and November. In addition, it was confirmed that an analysis of multi-hazard-response areas was needed separately, instead of an individual disaster-response area analysis. This study is significant in that it included statistical analysis, verification, and mapping out of multi-hazard hotspot cluster. Its use as basic data that can be employed to respond to multiple hazards is anticipated.

Key Words: Multi-Hazard, Space-Time Scan Statistics, Space-Time Permutation Model, Cluster, Hot spot

* 주저자, 부산대학교 공간정보전공 박사수료

** 교신저자, 부산대학교 도시공학과 명예교수

I. 서론

최근에는 자연적 위험(Natural Hazard)과 사회적 위험(Social Hazard) 등 두 개 이상의 위험요인에 의해 동시 또는 연속적으로 피해가 발생하는 재난의 발생빈도가 국내외적으로 증가하고 있으며 급격한 기후 변화 및 도시고도화로 인하여 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그러나 기존의 재난 대응은 각 재난을 단일재난으로 보고 대응하고 있으며 넓은 범위에서도 태풍, 홍수 등과 같은 자연적 위험에 의해 피해가 발생하는 재난(이하 자연재난) 혹은 도시화, 사회발전 등에 따른 화재·붕괴·폭발·감염병 등 사회적 위험에 의해 피해가 발생하는 재난(이하 사회재난)으로 이분화하여 대응하고 있다. 다중 위험들에 의해 복합화, 대형화, 다양화되어 발생하는 재난(이하 복합재난)으로 인한 인명피해 및 재산피해가 증가하고 있으며 재난 발생 이후 피해 복구에 사회적, 경제적, 환경적 비용이 증대됨에 따라 복합재난 대응 필요성이 대두되고 있다(한우석 등, 2019; 오승희 등, 2018).

재난대응에 있어 피해를 감소시키기 위해서는 재난 대응지역을 사전에 선정하는 단계가 가장 선행되어야 한다. 다양한 재난 유형에 있어서 대응 지역의 적절한 범위 설정은 방법론적인 면에서나 적용 면에서 항상 이슈가 되어 왔다(최예술 등, 2018; 안찬중 등, 2020; 이명진·강정은, 2012). 한정된 자원을 사용하여 효율적으로 재난에 대응하기 위해서는 재난의 발생 가능성이 높은 지역과 예상되는 재난피해 시나리오 등을 사전에 파악하여 예방적 차원에서 이들 지역의 체계적 관리 필요성이 증대됨에 따라 재난 지도화 작업이 필요하다(강영옥, 2004). 미국, 일본 등 국외에서는 재해 유형별로 취약한 지역을 사전에 파악하고 이를 토대로 대응할 수 있는 재해위험지도 작성·활용 사례가 많다. 국내에서도 침수흔적도, 산사태 위험지도 등을 비롯하여 단일 재난별 취약지역 및 피해범위를 파악할 수 있는 정책이 기 진행되고 있으며 「자연재해대책법」을 비롯한 여러 법률에서 재난의 가능성이 있는 지역을 대상으로 사전 예방하기 위하여 지역·지구

를 지정하고 있다. 그러나 아직 단일 재난 중심으로 진행되고 있으며 기존 예측 시스템으로는 한계가 있다. 두 가지 이상의 위험이 상호 연계된 재난에 대해서는 국내·외적으로 아직 초보적인 연구 수준에 머무르고 있으며 제도적 기반 역시 크게 미흡한 실정이다(오승희 등, 2018; 정우석 등, 2019; 김태훈·윤준희, 2018; 김동영·정일원, 2018). 재난을 단일재난으로 단편 분석할 경우, 하나의 재난이 다른 재난에 주는 영향을 고려하지 못해 재난의 강도가 달라질 수 있고, 동일한 지역에 대한 반복적인 피해가 이중으로 계산되는 문제가 발생할 수도 있다. 이로 인해 재난 대응을 위한 우선순위, 지역의 취약성·위험성 등이 왜곡되거나 과소·과대평가 될 수 있다(Tobin and Montz, 1997; ARMONIA, 2007; Kappes et al., 2010; Budimir et al., 2014; Mignan et al., 2014).

복합재난의 효율적 대응을 위해서는 단일재난이 아닌 모든 재난을 전체적으로 파악 할 수 있어야 하며 복합재난 분석지도의 개발로 우선적으로 대책마련이 필요한 지역 도출이 필요하다(나유경, 2020; 한우석 등, 2019). 따라서 본 연구는 자연재난 및 사회재난의 발생 통계 데이터를 바탕으로 시공간 클러스터 분석방법 중 하나인 시공간스캐통계량을 이용하여 시공간적으로 재난이 집중된 복합재난 클러스터를 확인하고 복합재난 대응이 우선적으로 필요한 지역도출 및 지도 작성에 그 목적이 있다.

II. 이론적 고찰

1. 복합재난

복합재난은 법적으로 정의하고 있지 않으나, 다수 연구자들의 정의를 참고·정리하면 '최소 시·군·구 단위 규모의 광범위한 지역에서 동시 또는 연속적으로 두 개 이상의 자연재난과 사회재난이 발생하고 그 영향이 복합화되어 인명, 재산, 기반시설 마비 등 피해가 극심해서 범부처의 통합적 대응이 필요한 재난'을 의미한다(박미리·이영근, 2016; 한우석 등, 2019; 정우

석 등, 2019; 김동영·정일원, 2018). 복합재난을 전개 양상에 따라 분류하면 서로 연관성이 없는 재난이 동시에 발생하는 다발형과 선재 재난이 원인이 되어 그 결과로 후속 재난이 발생하는 연속형, 다발형과 연속형이 혼합되어 있는 복합형으로 구분 할 수 있다(남기훈, 2014; 나유경, 2020). 본 연구에서의 복합재난은 두 개 이상의 재난이 동시 또는 순차적으로 발생하여 그 피해가 복합적으로 나타나 기관 간의 협력이 필요한 재난으로 복합적 피해에 대한 대응·관리 측면이며 전개양상에 따라 분류하면 다발형과 유사하다. 복합재난의 대표사례로 2005년 미국 허리케인 카트리나, 2011년 일본 대지진 등이 있으며 최근 2020년 여름에는 코로나19 감염병 확산 상황에서 집중호우로 인한 많은 인명·재산 피해가 발생하였으며 복합재난 대응에 대한 준비가 부족하여 급작스런 이재민 대피소 폐쇄 및 복구지원인력 부족 등 원활한 대응이 이뤄지지 않았다(연합뉴스, 2020).

복합재난은 단일재난과 달리 동시성(Simultaneity) 또는 연속성(Continuity)의 요소를 반드시 고려해야 한다. 동시성은 다른 종류의 재난이 동일 지역에 동시에 일어나거나 처음 영향을 끼친 재난의 영향이 소멸되기 전 두 번째 재난이 영향을 미치는 경우를 의미하며, 연속성은 하나의 재난발생 후 이 영향으로 다시 두 번째 재난이 발생하는 것을 의미한다(Kim et al., 2011; 강호권, 2020). 따라서 복합재난을 연구하기 위해서는 공간적 개념 뿐만 아니라 시간적 개념도 함께 고려해야만 한다.

복합재난 대응지역 분석 및 지도작성 관련 선행연구는 국내외적으로 아직 많지 않으며 한우석 등(2019)은 재난 대응별 시설물을 기준으로 복합재난 관리지도를 작성하고 있으며 그 밖의 대부분 논문은 자연재난 중 단일 재난 2~3개를 선정하여 위험지도를 작성하고 있다. 점차 대형화 되고 불확실해지는 새로운 형태의 재난인 복합재난 대응 필요성에는 공감하고 있으나 지역별 재난 발생이력을 바탕으로 자연재난과 사회재난을 모두 고려한 연구는 없으며 재난대응이 필요한 지역 뿐 아니라 시기도 확인할 수 있는 시공간 클러스터 분석 및 지도 작성 연구는 없는 실정이다.

〈표 1〉 복합재난 대응지역 분석 및 지도작성 선행연구

구분	선행연구	연구내용
국외	Pourghasemi et al. (2019)	SWARA-ANFIS-GWO 새 앙상블 모델을 사용하여 산사태, 홍수, 지진 3가지 위험에 대해 복합위험 확률을 평가하여 지도 작성
	Skilodimou et al. (2019)	산사태, 홍수, 지진에 따른 복합위험 지도를 작성하여 도시개발 적합성에 대하여 5가지 등급으로 분류
국내	한우석 등 (2019)	재해취약성분석방법을 준용하여 예방, 대응, 단기복구, 장기복구 단계로 구분하여 대응단계별 주요 취약 및 지원시설의 중요도를 도출하여 복합 재난 관리지도 개발
	나유경 등 (2019)	호우, 홍수 후 산사태 시나리오를 사례로 온라인 뉴스 데이터를 바탕으로 빅데이터 분석 방법을 활용하여 지역별 발생 가능성 및 기간 분석

2. 시공간 클러스터 분석

공간적 클러스터는 특정현상의 공간적 밀도가 높은 것, 즉 주변보다 개별 케이스 사이의 거리가 상대적으로 가까워 공간현상의 밀집이 이루어진 곳이라 할 수 있다. 시공간 클러스터는 이런 개념을 시·공간으로 확장한 것으로 공간적 x, y 좌표에 시간적 z 좌표를 추가하여 시간거리와 공간거리 모두가 밀집되어 있는 클러스터를 분석하는 것이라 할 수 있다(김영호, 2012). 공간통계학 분야에서 제시된 시공간 클러스터 분석방법 중 시공간 스캔통계량을 제외한 대부분의 방법은 시공간집중의 발생유무에 대한 답만을 제공하는 전역적 분석 방법으로 일부 범위를 제시하는 경우도 있으나 집중이 일어나는 구체적인 시간, 장소에 대해서는 명확한 답을 제시하지 못하고 있다(강호제, 2007; 정경석 등, 2010).

시공간스캔통계량 분석방법은 관심지역 내 특정지역의 중심에 원통을 투영하고 원의 크기와 높이를 최대치까지 증가시켜 나가면서 최대치의 우도비(likelihood ratio)를 계산하는 방법으로 원통의 지름과 높이는 각각 공간거리와 시간거리를 의미한다. 최대치에 이른 원통은 인근지역으로 이동하여 다시 각각의 원통에 대한 개별 우도비를 산정·비교하게 되며 이때 계산되는 우도비는 원통 내에서 관측된 사건의 수와 원통 외부에서 관측되는 사건의 수를 비교해서 최대우도비(maximum likelihood)를 산정함으로써 구체적 시공간 클러스터를 밝혀낼 수 있게 된다(Kuldorff, 2001; 강

호제, 2007; 정경석 등, 2010). 시공간스캐통계량 분석을 위한 통계 모델로는 포아송 모델, 베르누이 모델, 시공간순열모델 등이 있으며 다른 통계 모델들과 달리 시공간순열모델은 사례만을 가지고 분석이 가능하며 각 사례의 시간적 및 공간적 속성에 대한 많은 수의 무작위 순열을 만들어 시공간 클러스터를 분석하게 된다. 통계적 유의성은 CSR(Complete Spatial Randomness) 무위적 상태 가정 하에 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 평가한다(Kulldorff et al., 2005).

시공간스캐통계량 분석은 이 기법을 제안한 Kulldorff가 제작한 소프트웨어인 SatScan로 계산할 수 있으며 행정구역별로 집계되는 일반통계를 분석에 사용할 수 있기 때문에 자료구득이 비교적 용이한 장점이 있다. 나아가 데이터의 시간적 범위와 연속성의 여부에 따라 과거에 시공간집중이 발생했던 공간과 시간적 범위를 주로 찾는 소급적 분석방법(retrospective analysis)와 현재의 상황을 근거로 과거의 시·공간 데이터에 최신의 새로운 시·공간 데이터가 연속적으로 업데이트되어 실시간에 가까운 상태로 분석이 진행되는 전망적 분석방법(prospective analysis) 두 가지 형태의 분석이 가능하다.

이 분석방법은 주로 특정 질병에 대한 핫스팟 클러스터를 분석하는데 사용되었으며(Kulldorff et al., 2005; Tango et al., 2011), 재난연구에서는 감염병(Hohl et al., 2020) 및 화재와 관련된 클러스터 분석(Tonini et al., 2009; 지병곤·정대현, 2021) 등의 연구에 활용되었다.

III. 연구방법

복합재난 대응지역 설정을 위한 시공간 클러스터 분석의 대상지는 대한민국의 전역으로 하였으며 재난은 「재난 및 안전관리 기본법」에 따른 자연재난과 사회재난을 모두 포함하였다. 이를 위해 10년간(2010년~2019년)의 재해연보(자연재난) 및 재난연감(사회재난)을 바탕으로 데이터를 구축

하였으며 사회재난 중 감염병 자료는 질병관리청 감염병포털 자료를 바탕으로 작성하였다. 사회재난은 재난연감의 작성 기준에 따라 시·군·구 지역재난안전대책본부 이상 운영된 재난을 대상으로 하였으며 자연재난은 사회재난의 피해규모 및 프로그램 시뮬레이션 용량을 고려하여 재해연보상의 자연재난 중 피해액이 1억원 이상이거나 이재민을 포함하여 사망, 부상, 실종 등의 인명 피해가 있는 재난으로 하였다. 시공간 클러스터 분석을 위하여 시간단위는 월, 공간단위는 시·군·구를 기본으로 하였으며 가축질병은 시·군·구 단위의 자료 획득의 어려움으로 시·도 단위로 구축하였다.

〈표 2〉 분석데이터 개요

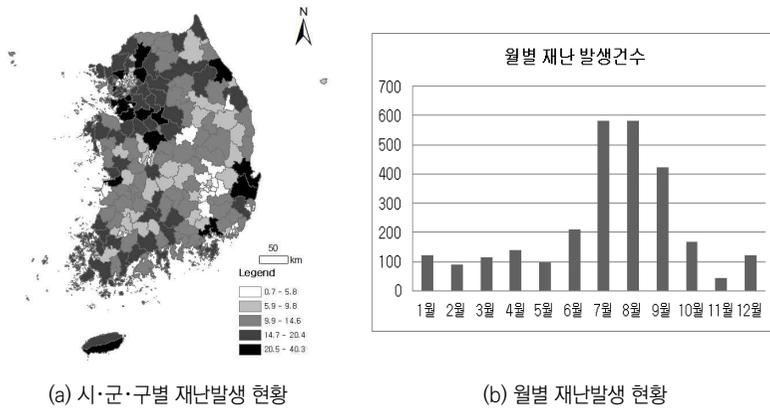
분석재난		분석단위 (최대 반경)	
대분류	소분류	시간	공간
자연재난 (재해연보)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 태풍 ■ 호우 ■ 대설 ■ 풍랑 ■ 강풍 ■ 폭염 ■ 지진 ■ 낙뢰 ■ 기타 	월 (3개월)	시·군·구 (최대시·도)
사회재난 (재난연감)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 산불 ■ 유해화학물질 유출사고 ■ 대규모해양오염 ■ 지하철대형사고 ■ 고속철도대형사고 ■ 다중밀집시설대형화재 ■ 해양선박사고 ■ 사업장대규모 인적사고 ■ 다중밀집건축물 붕괴 대형사고 ■ 감염병 ■ 전력 ■ 보건의료 ■ 육상화물운송 ■ 기타 		
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가축질병 		시·도 (최대시·도)

한편, 재난의 특성상 자연재난의 경우 이재민 발생 등의 피해가 많은 반면, 사회재난의 경우 인명·재산피해가 많이 발생하므로 피해금액이나 피해인력을 기준으로 분석할 경우 특정 재난에 치우치는 경향을 나타내는 문제가 있어 발생건수를 기준으로 분석하였으며 지난 10년간 발생현황 및 시간적, 공간적 재난발생 누적건수를 각각 〈표 3〉, 〈그림 1〉에 나타내었다.

〈표 3〉 2010년-2019년 재난피해 현황

구분		발생건수(건)	재산피해(억원)	인명피해(명)	이재민(명)
자연재난	총계	2,367	35,079	400	201,538
	건 평균	-	15	0.2	85.1
사회재난	총계	328	34,231	2,400	81
	건 평균	-	104	7.3	0.2

〈그림 1〉 2010년-2019년 시·공간별 재난발생 현황



시공간스캔통계량분석의 시공간순열모델을 이용하여 분석하였으며 이때 공간범위의 최대 분석반경은 입력한 기초데이터의 최대범위이자 보통의 재난대응이 이뤄지는 단위인 시·도 단위로 하되 입력한 데이터의 영향 범위를 모두 포함할 수 있도록 가장 큰 시·도의 반경을 기준으로 적용·분석하였다. 시간범위는 과도한 시뮬레이션 소요시간을 줄이기 위해 월 단위로 구축하였으며 발생한 재난피해를 대응하는 시간을 고려하여 3개월까지 확장하여 탐색할 수 있도록 설정하였다. 그 이상 기간으로의 확장은 복합재난의 동시성 및 연속성의 특징을 담아내기 어렵다고 판단하였다.

자연재난, 사회재난 각각의 시공간클러스터를 분석하고 최종적으로 복합재난 우선 대응이 필요한 시공간 클러스터 지역을 도출하였으며, 각 재난별 retrospective 분석과 prospective 분석을 모두 시행하였다.

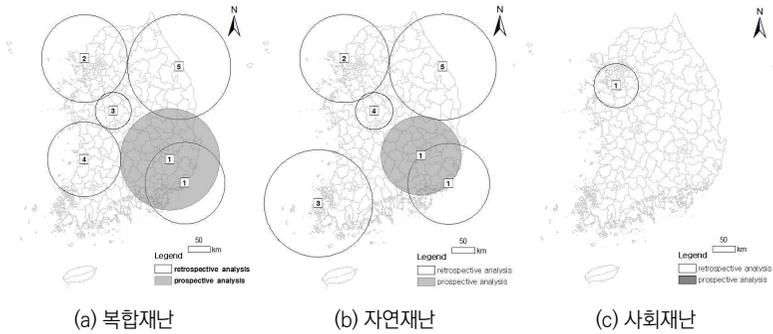
IV. 분석결과

자연재난, 사회재난, 복합재난의 시공간스캐통계량 분석 결과는 <표 4>, <그림 2>와 같으며 최대우도비를 가지는 클러스터 원통의 중심점 경위도 좌표를 포함한 공간범위 및 시간범위를 알 수 있고, 포함된 시·군·구의 수, 재난 실제 관측값(Obs)과 예측값(Exp) 그리고 그 비율인 ODE을 알 수 있다. 복합재난 1차 시공간클러스터를 예로 살펴보면 유의수준 내에서 과거 복합재난이 가장 크게 발생한 지역으로는 2016년 9월부터 11월까지 3개월 간 부산을 비롯하여 울산, 경남, 대구, 경북을 일부 포함한 48개의 시·군·구로 태풍 차바, 호우, 경주 지진 등과 더불어 서문시장 화재가 발생한 시점으로 분석되었으며 관측 값은 43건으로 무위적 분포를 가정 하였을 때 시뮬레이션 예측 값인 7.7건과 비교할 때 실질적으로 5배 이상 재난이 시공간적으로 밀집된 지역임을 알 수 있다. 현재를 기준으로 한 복합재난 시공간클러스터 분석은 입력한 자료 중 가장 최근의 자료인 2019년 하반기 자료를 근거로 재난이 집중된 지역이며 그 공간범위는 과거 1차 시공간클러스터의 반경보다 조금 더 넓은 범위로 분석되었다. 각 클러스터별 재난발생 내용을 살펴보면 retrospective 분석의 1, 2차 클러스터의 경우 2가지 이상의 재난이 발생된 복합재난의 형태를 보이며 3, 4, 5차 클러스터의 경우 한 가지 재난이 비교적 크게 발생되어 형성된 단일재난 클러스터로 확인되었다. 시기적으로는 9월의 밀도가 높은 것으로 나타나 지난 10년간 시간별, 공간별 재난발생 누계 자료<그림 1>과는 다른 복합재난 시간, 공간 클러스터를 확인할 수 있었다. 또 자연재난과 사회재난을 각각 개별적으로 살폈을 때 클러스터와 재난을 종합적으로 고려하였을 때 분석되는 클러스터를 비교하여 보면 지난 10년간 사회재난 발생 건수보다 자연재난의 발생건수가 더 많고 호우, 태풍, 지진 등 2가지 이상의 자연재난이 복합적으로 발생된 유형이 많아 일부 클러스터는 유사하게 분석되었으나 전체적으로 보았을 때는 분석결과가 다를 수 있다. 이에 따라 복합재난의 대응을 위한 분석이 별도로 필요함을 확인할 수 있다.

〈표 4〉 시공간 클러스터 분석 결과

재난 종류	분석 방법	번호	공간			시간		검정 통계량	관측 시군구	Obs	Exp	ODE	p-value	재난 형태
			위도	경도	반경	시점	종점							
복합 재난	Retrospective 분석	1	35.19	129.15	90.31	16/9	16/11	38.99	48	43	7.7	5.6	0.00	복합
		2	37.68	126.63	96.88	10/9	10/9	36.13	84	125	53.1	2.4	0.00	복합
		3	36.65	127.37	40.81	17/7	17/7	20.67	21	21	3.4	6.2	0.00	단일
		4	35.68	126.64	82.77	15/11	16/1	17.37	33	29	7.7	3.8	0.00	단일
		5	37.51	129.06	116.24	16/5	16/5	14.91	25	18	3.5	5.1	0.00	단일
	Prospective 분석	1	35.67	128.79	112.23	19/10	19/12	11.88	76	37	14.7	2.5	0.00	단일
자연 재난	Retrospective 분석	1	35.19	129.15	88.79	16/9	16/10	40.96	43	42	6.9	6.1	0.00	-
		2	37.68	126.63	96.88	10/9	10/9	37.03	75	125	52.5	2.4	0.00	-
		3	34.81	126.04	117.87	10/10	10/12	21.78	25	23	3.9	5.9	0.00	-
		4	36.65	127.37	40.81	17/7	17/7	21.52	20	21	3.2	6.5	0.00	-
		5	37.51	129.06	116.24	16/5	16/5	14.68	24	18	3.6	5.0	0.00	-
	Prospective 분석	1	35.76	128.50	86.83	19/10	19/12	14.11	59	32	10.57	3.03	0.00	-
사회 재난	Retrospective 분석	1	37.17	126.87	49.13	15/5	15/7	12.65	36	38	15.3	2.5	0.00	-
	Prospective 분석	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

〈그림 2〉 시공간 클러스터 분석 결과



V. 결론

10년간의 재해연보 및 재난연감 자료를 바탕으로 시공간스캐통계량의 시공간순열모델을 활용하여 복합재난 시공간클러스터 분석을 시행하였다. 부산을 비롯하여 울산·경남·대구·경북 일부를 포함한 지역에서 9월~11월 경 1차 시공간클러스터가 발생함을 알 수 있었다. 이는 단순 시간적, 공간적 자료의 누계 결과와 달리 시공간집중이 발생하는 클러스터를 확인할 수 있었으며, 자연재난, 사회재난, 복합재난의 각각의 시공간 클러스터 분석과 비교한 결과 클러스터의 위치 및 속성값이 달라 단일재난별 분석이 아닌 복합재난 대응지역 분석이 별도로 필요함을 확인할 수 있었다.

본 연구는 과거 동일공간과 동일시기에 걸쳐 발생했던 단일재난들을 복합재난으로 재해석하여 시공간분석을 시행하고 통계적인 검증을 거쳐 복합재난 대응을 위한 시공간 클러스터를 도출했다는 점에서 의의가 있으며 이는 다양화, 복합화되는 복합재난을 대응하기 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 복합재난 클러스터 분석 결과 구체적 시기와 지역이 설정되며 그 지역에서 빈번하게 일어나는 복합재난 시나리오를 확인할 수 있으므로 대비 집중 시기 및 지역을 설정할 수 있고 시나리오에 따른 재난현장에서의 명확한 지휘, 대응 우선순위 설정 등 대응 매뉴얼 개발이 가능하다. 이에 따른 복합재난 대응을 위한 인력을 효율적으로 배치하여 재난대응을 보다 신속하게 할 수 있으며 해당 지역의 재난담당 공무원 및 주민에게 지역의 취약성을 알리는 예방활동의 기초자료로도 활용 가능하다. 또한 매년 주기적인 데이터의 갱신을 통해 복합재난 클러스터 모니터링이 가능해지므로 지속적으로 재난 대응을 할 수 있다. 다만 원통을 기준으로 분석했기 때문에 모든 클러스터 지역은 원형이며 이는 실제 재난발생의 경계와 반드시 동일하지는 않다는 점에 유의하여야 한다.

본 연구는 과거 재난발생이력 통계를 기반으로 하였으므로 과거에 발생되지 않았던 새로운 유형의 재난이 발생하였을 때 이를 설명하지 못하는 한계가 있으며 향후 연구에서는 복합재난 클러스터 지역이 어떤 영향과

요인으로 인해 발생하였는지에 대한 분석이 추가적으로 필요하다고 사료된다.

■ 참고문헌 ■

- 강영옥, 2004, 『서울시 방재지도 작성방안 연구-화재위험지도를 중심으로-』, (시정연: 2004-R-39), 서울: 서울시정개발연구원.
- 강호권, 2020, “한국의 복합재난 대응을 위한 위기관리시스템 운영에 관한 연구,” 박사학위논문, 수원대학교, 경기.
- 강호제, 2007, “시공간분석기법:시공간분석의 변화와 응용,” 『국토』, pp.104-111.
- 국민안전처, 2014-2015, 『2013-2014 재난연감』, 서울: 국민안전처.
- _____, 2015, 『2014 재해연보』, 서울: 국민안전처.
- _____, 2016, 『2015 재난연감』, 세종: 국민안전처.
- _____, 2016, 『2015 재해연보』, 세종: 국민안전처.
- 김동영·정일원, 2018, “복합재난 시나리오 개발을 위한 국내 재난 사례 인벤토리 구축 연구,” 『복합신소재구조학회지』, 9(4), pp.27-31.
- 김영호, 2012, “공간데이터의 시공간적 평가방법에 대한 고찰,” 『한국지리학회지』, 1(2), pp.193-204.
- 김태훈·윤준희, 2018, “대형복합재난의 효율적 관리를 위한 제도개선방안 연구,” 『한국산학기술학회』, 19(5), pp.176-183, DOI: 10.5762/KAIS.2018.19.5.176.
- 나유경, 2020, “복합재난 피해 추정을 위한 GIS 모형 설계와 구현,” 박사학위논문, 경희대학교, 서울.
- 나유경·박진홍·최진무, 2019, “빅데이터를 이용한 복합재난의 발생 지역 및 유형 분석,” 『국토지리학회』, 53(4), pp.375-384.
- 남기훈, 2014, “베이지안 네트워크를 이용한 복합재난 위험성 평가에 관한 연구,” 박사학위논문, 인제대학교, 경남.
- 박미리·이영근, 2016, “대형복합재난 특집, 대형복합재난의 주요사례와 시사점,” 『방재저널』, 69(3), pp.19-27.
- 소방방재청, 2011-2013, 『2010-2012 재난연감』, 서울: 소방방재청.
- _____, 2011-2014, 『2010-2013 재해연보』, 서울: 소방방재청.
- 안찬중·박용미·최원식, 2020, “취약인자의 엔트로피 기반 중첩 분석을 이용한 부산광역시 의 적설재해 취약지역 등급 평가,” 『대한원격탐사학회지』, 36(2), pp.217-229, DOI: 10.7780/kjrs.2020.36.2.1.9.
- 연합뉴스, 2020.8.20., “[르포] 시멘트 바닥에 이불 한장이 전부...코로나 탓에 이재민 이

중고”.

- 오승희·손진·정우석·이용태, 2018, “시나리오 기반의 복합재난 통합모델링 개발,” 『한국통신학회논문지』, 43(11), pp.1920-1928, DOI: 10.7840/kics.2018.43.11.1920.
- 이명진·강정은, 2012, “빈도비 모델과 GIS을 이용한 침수 취약 지역 예측 기법 개발 및 검증,” 『한국지리정보학회지』, 15(2), pp.86-102.
- 정경석·문태현·정재희, 2010, “시공간점정통계량을 이용한 도시범죄의 핫스팟분석,” 『한국지리정보학회지』, 13(3), pp.14-28.
- 정우석·오승희·이용태, 2019, “재난 빅데이터를 활용한 대형복합재난 피해확산예측 시스템 구현에 관한 연구,” 『한국통신학회논문지』, 44(7), pp.1433-1442, DOI: 10.7840/kics.2019.44.7.1433.
- 지병곤·정대현, 2021, “스캔통계학을 이용한 국내 화재 발생 고위험군 탐색,” 『Journal of The Korean Data Analysis Society』, 23(1), pp.183-194, DOI: 10.37727/jkdas.2021.23.1.183.
- 최예술·김재원·임엽, 2018, “서울시 폭염 취약지역의 공간적 패턴 및 적응능력 취약지역 분석,” 『국토계획』, 53(7), pp.87-107, DOI: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87.
- 한우석·이병재·조만석·정연희·김태훈·라정일, 2019, 『대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안 연구』, (기본: 19-08), 세종: 국토연구원.
- 행정안전부, 2017-2020, 『2016-2019 재난연감』, 세종: 행정안전부.
- _____, 2017-2020, 『2016-2019 재해연보』 세종: 행정안전부.
- ARMONIA, 2007, *Assessing and mapping multiple risks for spatial planning*, (European union 6th framework orogramme reports), Italy: European Union.
- Budimir, M. E. A., P. M. Atkinson, and H. G. Lewis, 2014, “Earthquake-and-landslide events are associated with more fatalities than earthquakes alone,” *Natural Hazards*, 72(2), pp.895-914, DOI: 10.1007/s11069-014-1044-4.
- Hohl, A., E. M. Delmelle, M. R. Desjardins, and Y. Lan, 2020, “Daily surveillance of COVID-19 using the prospective space-time scan statistic in the United States,” *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 34, 100354, DOI: 10.1016/j.sste.2020.100354.
- Kappes, M. S., M. Keiler, and T. Glade, 2010, From single- to multi-hazard risk analyses: A concept addressing emerging challenges, in Mountain Risks: Bringing Science to Society, In J. P. Malet, T. Glade, and N. Casagli, (Ed.), *Mountains risks: Bringing science to society*, (pp.351-356), Strasbourg, France: CERG Editions.
- Kim, B. and J. Jeong, 2011, *Disaster management plan against new types of disasters*,

Seoul: National Institute for Disaster Prevention.

Kulldorff, M., 2001, "Prospective time-Periodic geographical disease surveillance using a scan statistic," *Journal of the Royal Statistical Society*, 164(1), pp.61-72, DOI: 10.1111/1467-985X.00186.

Kulldorff, M., R. Heffernan, J. Hartman, R. M. Assunção, and F. Mostashari, 2005, "A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks," *PLoS Medicine*, 2, pp.216-224, DOI: 10.1371/journal.pmed.0020059.

Mignan, A., S. Wiemer, and D. Giardini, 2014, "The quantification of low-probability -high-consequences events: Part I. A generic multi-risk approach," *Natural Hazards*, 73(3), pp.1999-2022, DOI: 10.1007/s11069-014-1178-4.

Pourghasemi, H. R., A. Gayen, M. Panahi, F. Rezaie, and T. Blaschke, 2019, "Multi-hazard probability assessment and mapping in Iran," *Science of The Total Environment*, 692, pp.556-571, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.203.

Skilodimou, H. D., G. D. Bathrellos, K. Chousianitis, A. M. Youssef, and B. Pradhan, 2019, "Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: A case study," *Environmental Earth Sciences*, 78, 47, DOI: 10.1007/s12665-018-8003-4.

Tango, T., K. Takahashi, and K. Kohriyama, 2011, "A space-time scan statistic for detecting emerging outbreaks," *Biometrics*, 67(1), pp.106-115, DOI: 10.1111/j.1541-0420.2010.01412.x.

Tobin, G. A. and B. E. Montz, 1997, *Natural hazards: Explanation and integration*, New York: Guilford Press.

Tonini, M., D. Tuia, and F. Ratle, 2009, "Detection of clusters using space-Time scan statistics," *International Journal of Wildland Fire*, 18(7), pp.830-836, DOI: 10.1071/WF07167.

질병관리청 감염병포털, <http://www.kdca.go.kr/npt/>, [2020.12.8]

김효정: 경북대학교에서 공간정보학 석사학위를 취득하고, 부산대학교에서 공간정보전공 박사 과정을 수료했다. 연구의 관심분야는 EcoGIS, 도시환경, 도시방재 등이다(hhhyo6@naver.com).

이성호: 서울대학교에서 도시계획전공 박사학위를 취득하고, 부산대학교 도시공학과 교수로 정년퇴임 후 현재는 명예교수로 재직 중이다. 연구의 관심분야는 지역계획 및 GIS, 방재계획이다(snhlee@pusan.ac.kr).

투 고 일: 2021년 02월 18일
심 사 일: 2021년 03월 03일
게재확정일: 2021년 04월 08일

『환경정책』 투고규정

1993年 06月 制定
 2014年 10月 改正
 2016年 03月 改正
 2016年 10月 改正
 2017年 02月 改正
 2017年 04月 改正
 2018年 02月 改正
 2020年 02月 改正
 2020年 08月 改正

제1조 (논문제출 및 심사)

1. 투고논문

『환경정책』에 투고하는 모든 원고는 투고규정과 윤리 규정에 위배되지 않아야 하며, 이 규정을 준수하여야 한다.

2. 투고자격

- (1) 환경정책 및 이와 관련된 학문분야의 회원은 누구나 본 학회지에 투고할 수 있다.
- (2) 투고자격은 주저자를 포함하여 모든 저자가 학회 회원이어야 하며 당해연도 연회비를 납부한 사람에 한한다. 단, 공동발행기관인 한국환경정책·평가연구원 소속 연구진은 학회 회원 여부와 관계없이 투고 자격을 부여한다.

(3)저자의 자격

아래 기준을 모두 충족한 연구자만 논문의 저자로 명시되어야 한다.

- ①연구의 개념이나 설계, 연구 데이터의 획득, 분석, 또는 해석에 상당한 기여를 한 자
- ②중요한 학술적 내용에 대해 초안 작업을 하거나 비판적으로 수정을 가한 자
- ③출판된 버전에 최종적으로 승인을 한 자
- ④연구의 어떤 부분의 정확성 또는 진실성과 관련된 질문이 적절히 조사되고 해결되도록 연구의 모든 측면에 대해 책임을 지는 것에 동의하는 자

3. 논문접수

- (1) 원고는 수시로 접수하며, 그 접수는 학회 홈페이지(<http://www.kepas.or.kr/>) 상의 온라인논문투고시스템을 이용한다.
- (2) 저자는 저자점검표의 점검사항 확인하고 논문을 제출한다.
- (3) 원고 접수일은 논문의 온라인 논문투고일로 하며, 게재확정일은 심사가 완료된 일자로 한다.
- (4) 논문의 내용에 대한 책임은 집필자가 진다.

4. 심사료 및 게재료

- (1) 투고자는 논문 게재확정시 심사료 및 게재료 100,000원을 납부하여야 한다. 단, 연구비 지원을 받아 사사를 표기하는 논문은 게재료 200,000원을 납부하여야 한다.
긴급심사 경우, 심사료 및 게재료는 일반논문의 2배로 한다.
- (2) 투고면수가 10면을 초과하거나 투고자가 다색인쇄를 희망하는 경우에는 추가 인쇄비를 부담하여야 한다.
- 초과 면당 10,000원
- (3) 게재논문의 별쇄본은 20부를 원칙으로 하며, 추가 인쇄를 희망하는 경우에는 투고자가 인쇄비를 부담하여야 한다.

5. 학회지 발간

- (1) 투고된 논문은 편집위원회의 심사를 거쳐 게재 여부를 결정한다.
- (2) 학회지는 연4회 (매년 3월 31일, 6월 30일, 9월 30일, 12월 31일) 발간하며 필요시 특별호를 발간할 수 있다.

6. 저작권

- (1) 본 학회지에 게재되는 모든 논문에 대한 저작권은 한국환경정책학회와 한국환경정책·평가연구원이 공동으로 소유한다.
- (2) 저작권에는 디지털로의 복제권 및 전송권을 포함한다. 다만 게재된 논문 등의 필자가 본인의 논문 등을 사용할 경우에는 본 학회는 특별한 사정이 없는 한 이를 승인한다.
- (3) 게재 확정된 원고의 저자는 저작권이양동의서를 최종논문 투고시 제출하여야

한다.

- (4) 저작권이양동의서에 서명하는 것은 저자가 본 동의서에 기재된 모든 내용을 읽고, 그 내용을 이해하였으며, 그 내용에 동의하는 것을 의미한다.

제2조 (논문 작성지침)

1. 작성언어 및 분량

- (1) 원고는 국문 또는 영문으로 작성하는 것을 원칙으로 하고, 필요한 경우에는 한자의 사용도 가능하다.
- (2) 원고는 워드프로세스 또는 아래한글 프로그램을 사용하여 작성한다.
- (3) 투고원고는 특별히 매수를 규정하지 않으나 A4용지 15매 내외로 작성한다. 논문의 최종 인쇄시 도표를 포함하여 10쪽 이내로 하며, 이를 초과하는 경우 제1조 4항에 의거하여 투고자는 1면당 초과계재료를 납부하여야 한다.
- (4) 약어를 사용하는 경우 처음에 원래의 용어를 표기하고 ()안에 약어를 표기한다. 그 다음부터는 약어를 사용할 수 있다.

[예] Green Climate Fund(GCF)

2. 논문의 구성

원고는 표지, 본문, 참고문헌, 저자소개 순으로 구성되며, 필요한 경우 부록을 포함할 수 있다.

2-1 표지

원고의 표지에는 논문제목(국·영문), 저자의 이름(국·영문) 및 소속, 초록 및 주제어(국·영문)를 수록한다.

2-2 논문제목

- (1) 논문 제목은 국문, 영문 순으로 한다. 단, 영문 논문의 경우에는 영문, 국문 순으로 한다.
- (2) 가운데 정렬을 하며, 국문과 영문제목은 행을 분리한다.
- (3) 부제목은 “:”으로 시작하고 주제목과 행을 분리하지 않는다.

- (4) 영문제목은 전치사와 접속사를 제외한 모든 단어를 대문자로 표기한다. 단 전치사가 제목의 첫 단어일 경우에는 대문자로 표기한다.
- (5) 연구비 지원, 감사의 글, 사전에 발표된 내용 등 논문에 관련된 사항이 있을 시에는 제목의 우측 끝 상단에 위첨자 “*”로 표기하여 첫 페이지 하단 각주에 그 내용을 기술한다.

[예] * 본 논문은 0000년도 00연구비 지원에 의하여 연구되었음.
 * 본 논문은 00에서 수행한 00연구보고서의 일부를 발췌, 수정·보완한 것임.
 * 본 논문은 0000년도 00학회 00학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완한 것임.

2-3 저자

- (1) 저자명 및 소속기관은 국문, 영문 순으로 한다. 단, 영문 논문의 경우에는 영문, 국문 순으로 한다.
- (2) 저자가 2인 이상일 경우에는 저자명 사이에 “.”를 삽입하여 구분한다.
- (3) 가운데 정렬을 하며, 국문과 영문이름은 행을 분리한다.
- (4) 영문 이름 경우, 영문 성명은 이름을 먼저 쓰고 성은 뒤로 쓴다.
- (5) 저자의 소속기관은 저자명 우측 끝 상단에 각각 저자 순서대로 위첨자 *, **, *** 기호로 표기한다. 논문제목에 각주가 있는 경우 위첨자 기호는 ** 에서 시작한다.

[예] 김철수*.이영희**.홍길동***
 Chul-Soo Kim*.Young-Hee Lee**.Gil-Dong Hong***

- (6) 각주에는 주저자(First author)와 교신저자(Corresponding author)를 포함한 모든 저자의 소속 및 직위를 기재한다. 또한 논문 저자가 현재 소속이 없는 미성년자인 경우, 최종 소속, 직위, 재학년도를 표기한다.

[예] * 주저자, 00대학교 00학과 교수
 ** 교신저자, 00대학교 00학과 교수
 *** 공동저자, 00연구원 00과 00연구원
 **** 공동저자, 00대학교 00과 석사과정
 ***** 공동저자, 00고등학교 0학년 학생

2-4 초록 및 주제어

- (1) 국·영문 초록은 논문의 목적과 주요성과를 구체적으로 기술하여야 하며, 그 분량은 가능한 300 단어 이내로 한다.
- (2) 초록은 국문, 영문 순으로 한다. 단 영문 논문의 경우에는 영문, 국문 순으로 한다.
- (3) 국문초록(요약)과 영문초록(Abstract)을 모두 작성해야 하며, 다섯 단어 이내의 핵심주제어(Key Words)를 초록 하단에 각각 명기하여 한다. 국문 초록 뒤에 국문 주제어, 외국어 초록 뒤에 외국어 주제어를 명기한다.
- (4) 영문 주제어는 전치사를 제외한 모든 단어를 대문자로 시작한다.

2-5 본문

- (1) 본문은 서론, 본론, 결론의 형식으로 구성하며, 본론은 내용에 따라 장을 세분해야 한다.
- (2) 서론과 결론에 해당하는 장의 제목은 각각 “서론”과 “결론”(영문 논문의 경우 “Introduction”과 “Conclusion”)으로 명시하거나, 또는 적어도 그 내용이 서론과 결론에 해당함을 알 수 있는 제목으로 표현해야 한다.
- (3) 본문 속의 제목들에 사용하는 기호 I., 1., 1), (1)...와 같다.

2-6 숫자, 수식, 단위, 기호의 서식

(1) 숫자

- ① 수량을 표시할 때에는 아라비아 숫자를 쓴다.
- ② 1 미만의 소수는 소숫점 앞에 반드시 0을 쓴다.
- ③ 분수는 가급적이면 $\frac{3}{4}$ 으로 표시하지 아니하고 $^3/4$ 으로 쓴다.

(2) 수식

- ① 수식은 줄(행)을 바꾸어 1행으로 씌울 원칙으로 하고, 수식이 2행 이상에 걸칠 때에는 “+”, “-”, “x”, “÷” 등 연산기호부터 줄을 바꾸되 그 위치를 통일한다.
- ② 수식의 첨자는 논문집으로 나왔을 때 보일 정도의 크기로 한다.
- ③ 수식은 수식 오른쪽에 (1), (2), (3) 등의 일련번호를 넣는다.

(3) 단위 및 기호

- ① 단위는 미터법을 사용함을 원칙으로 하고 필요한 경우 다른 단위를 병기한다.

[예] 면적(50m²), 무게(40kg)

- ② 단위기호 및 양(量)기호에 대하여는 한국공업규격의 단위기호, 양기호에 따름을 원칙으로 한다.
- ③ 단위는 이탤릭체가 아닌 정자로 쓴다.

2-7 표, 그림, 사진

- (1) 표와 그림, 사진은 본문의 삽입위치에 기재한다.
- (2) 표와 그림, 사진의 제목과 설명은 모두 한글로 표기하고, 차례대로 아라비아숫자로 번호로 표기한다. 단 영문 논문의 경우에는 영문으로 표기한다(예2).

[예1] 표1, 그림1, 사진1.....
 [예2] Table 1, Figure 1, Photo 1.....

- (3) 모든 제목은 해당 표, 그림, 사진 상단에 ‘가운데 맞추기’로 표기하며, 제목 끝에 마침표를 붙이지 아니한다.
- (4) 표와 그림에 대한 주(출처 및 추가사항)는 표, 그림, 사진 하단 좌측에 기재하며, 일반주(주 : , 영문논문 경우, Note 1), 개별주(a, b, c), 확률주(*p<.01, **p<.001) 출처 순으로 배열한다.
- (5) 동일한 번호 하에 두 개 이상의 그림 및 표를 두고자 할 경우 (a), (b)..로 구분하여 소제목을 부여한다.
- (6) 관련된 표와 그림을 본문에서 언급할 때 < >를 붙인다.

[예] <표 1>에서 볼 수 있듯이...
 ...단계로 구분하였다(그림 1).

[예] <표 11> 탄소포인트제 및 그린카드 동시 가입자 에너지 감축량

구분	전기	수자원	가스(LNG)
단위당 가격 ¹⁾	120.2 원/kwh	550.0 원/m ³	840 원 / m ³
탄소포인트 그린카드 동시가입자 감축량	19,476,189	642,141	545,202
그린카드 1매/월 평균 ²⁾	11.044	0.364	0.309

1) 전기요금 한국전력 요금정보 (도시가구 평균 전력사용량이 301.8kw(자식경제부)이며 감축했을 때 적용이 될 수 있는 구간인 200kwh~300kwh의 전기료 2012.09월 요금 기준), 서울시 상수자원사업본부 요금정보 (1인당 평균 346L/일 사용(수자원공사)기준
 2) 2011년 12월까지의 그린카드 누적발급수의 합 = 1,763,543좌 기준

[예1] 강영숙·고윤주(1992)는...

Dobson and White(2006)는..

[예2] ...라고 주장하였다(강영숙·고윤주, 1992; Dobson and White, 2006)

...밝혀졌다(김원도, 1984; 한영호·김보현·이동인, 1993; Baik et al., 2001).

[예3] 류창하·김인용·조태진(1994)에 따르면.....

류창하 등(1994, p.18)의 주장은

Wasserstein, Zappulla, Rosen, Gerstman and Rock(1994, pp.56-58)은 ...

③ 7인 이상 공저서 : 공저자 6인까지 기재하거나 처음 사람만 기재해도 되며, 두 번째 이하는 ‘등’, ‘et al.’로 표기한다.

[예] 김병철·이정운·이건수·김문석·이영석·정혜윤 등(1995)은

김병철 등(1995, p.37)은

④ 단체의 저서 : 단체명을 약어와 함께 기재하며, 두 번째 이하는 약어만 기재한다. 단체명을 약어로 쓰지 않은 경우는 모두 완전명으로 기재한다.

[예] 정신문화연구원[정문연](1999, p.72)은

정문연(1999, p.14)은.....

National Institute of Mental Health [NIMH] (1991, p.66).....

NIMH(1991, pp.37-38)

(3) 인용문에 저자명이 포함되지 않은 경우

① 1인 저서 : 직접 인용은 인용부호 “ ”로 그대로 기재하며, 서양인명은 ‘성, 발행 연도, 면수’로 기재한다.

[예] “아름다움을 만들어 가는 활동[i.e.: 활동] 속에서 인간의 정서는 결정처럼 아름다운 틀을 이룩하는 것”(Read, 1999, p.141)이라 한다면 ...

② 2-6인 공저서 : 두 저자명을 ‘와(과)’로 연결하거나(예1) 영문 문헌의 경우에는 ‘and’를 사용한다.

[예]한 집에서 일치하고 있다(West and Sandler, 2000, pp.30-41).

③ 동일인의 2개 이상의 저작 인용 : 한 저자의 동일 년도 저작은 발행년도에 ‘a, b’로 등을 붙여 구분한다.

[예] 특정지역을 나타내기 위한 보조표이다(오동근, 1994a, p.34).

… 보조표의 행정조직이 참조되어야 한다(오동근, 1994b, p.33).

- ④ 저자미상의 저서 : 무저자명의 자료는 ‘서명, 발행년도, 면수’ 기재한다.

[예] 의결권 제한조치를 내렸다”고 발표하였다(조선일보, 2000년 10월 19일, p.B1)

“racial injustice, war, and the university itself” (Report, 2000, p.3)

- ⑤ 인용문에 저자명과 자료명이 포함된 경우

[예] 김정현은 목록조직의 실제(pp.25-70)에서 그 예를 제시하고 있다.

브리태니커 백과사전(11판)에서...

McRae's *The Literature of Science* includes many examples of this trend.

- (4) 블록 인용 : 블록인용은 직접 인용되는 내용이 3행 이상(40 단어 이상)인 경우이며, 블록인용 내용의 일부를 생략할 경우 3점 줄임 ‘…’ 사용한다. 인용부호를 쓰지 않고, 인용문의 앞과 뒷부분을 2-3스페이스 들여쓰며, 본문보다 행간을 좁게, 활자를 1-2포인트 낮추어 쉽게 구별할 수 있게 한다.

[예] 현규섭은 국립중앙도서관의 MARC개발에 대하여:

국립중앙도서관은 한 나라의 법정납본기관이며 국비에 의해 공익적 선 투자의 가능성을 가진 기관이란 점에서 마땅히 MARC의 개발의 임무가 부여되었다. ...1909[i.e. 1980]년대에 한국문헌 자동화목록법을 출범시켰던 것이다. 이는 도서관의 자원을 통신계와 연결시키려는 노력이었다(1986, p.iii).

- (5) 2개 이상의 자료 동시 인용 : 한국어, 한국어와 가까운 언어순, 저자명은 문자순, 동일 저자는 연도순으로 기재한다. 저작과 저작 사이는 세미콜론으로 구분하며, 동일 저자의 다른 저작은 콤마로 구분한다.

[예] (김일석·조영석, 2002, p.102; 이진영, 2001, p.109)

(Kaku, 1998, p.42; McRae, 2001, pp.101-133)

(오동근, 1998a, 1998b; 오동근·황일원, 2003, pp.217-219)

(Brown, H. D., 1993; Brown J. D., 1994)

(Edeline and Weinberger, 1991, 1993)

2-9 참고문헌

(1) 참고문헌의 순서

- ① 원어로 표기함을 원칙으로 하며, 문헌의 기재 순서는 동양문헌(한국, 중국, 일본), 서양문헌(영문, 기타언어)로 한다. 국문 문헌은 신문기사, 법령, 보도자료 등을 포함하여 저자명의 가나다 순서로, 영어 및 기타 문헌(홈페이지 주소 등)은 저자명의 알파벳 순서로 기재한다.
- ② 참고문헌에 포함되어야 할 사항들을 순서대로 나열하며, 저자, 출판년도, 제목, 출판사명, vol., no., 그리고 페이지 등이다.
- ③ 동일한 저자의 문헌은 발표 년도의 순서로 기재하며, 발표 년도가 동일한 경우에는 “a”, “b”, “c……”를 연도 뒤에 붙여 구분해주며, 맨 처음 자료에만 저자명을 쓰고 다음부터는 저자명 자리에 밑줄로 (_____) 대체하여 표시한다.

[예] 김철수, 2013a,
_____, 2013b.

(2) 저자명 작성

- ① 서양저자명은 저자의 성 다음에 콤마(,)을 찍고 이름순으로 기입하며, 성은 완전명, 이름은 약자로 표기한다. (last name, first name middle name)
- ② 저자가 2인 이상일 때, 국내문헌의 저자명 사이에 가운데점(·)으로 구분하며, 외국문헌은 맨 마지막 저자명 앞에서만 ‘and’를 붙인다. 그리고 이때 외국문헌은 맨 처음의 저자명은 성, 이름 순으로 기재하고 두 번째 이후에는 이름, 성의 순으로 표기한다.
- ③ 공동 저자가 6인을 초과하는 문헌은 저자명을 6인까지만 나열하며 제6저자명 뒤에 국내문헌은 ‘등’, 외국문헌은 ‘et al.’을 붙인다.

(3) 문헌명 작성

- ① 외국문헌의 책명, 정기간행물명, 학회지명은 이탤릭체로, 국내문헌은 꺾임괄호(『 』)로 표기한다.
- ② 외국문헌의 저서 및 단행본, 논문의 제목은 첫 단어만 대문자로 표기하고 나머지는 모두 소문자로 표기한다. 단, 정기간행물의 책명은 각 단어의 첫 글자를 대문자로 표기한다.
- ③ 논문제목은 표기하는 방법에서 논문제목 뒤에는 콤마(,)후에 큰 따옴표로 표기한다.

(4) 기타

- ① 인용문헌은 본문이나 미주에서 인용한 모든 문헌을 빠짐없이 포함하여야 하며, 본문이나 미주에서 인용되지 않은 문헌을 포함해서는 안 된다.
- ② 년도는 아라비아 네 자리 숫자로 표기한다.
- ③ 쪽(페이지)이 2쪽 이상인 경우에는 “-”로 표기하고, 쪽의 모든 숫자를 표기한다.
- ④ 이상의 원칙과 함께 참고문헌은 다음과 같이 표기한다.

참고문헌 표기방법 예시

1. 정기간행물 : 저자명, 발행년, “논문명,” 『자료명(발행단체명)』, 권(호), 수록면.

(1) 학술지 논문

최강식·정진호, 2003, “한국의 학력간 임금격차 추세 및 요인분해,” 『국제경제연구』, 9(3), pp.183-208.

Bartel, A. P. and N. Sicherman, 1999, “Technological change and wages: An inter-industry analysis,” *Journal of Political Economy*, 107(2), pp.285-325.

Chusseau, N., M. Dumont, and J. Hellier, 2007, “Explaining rising inequality: Skill-biased technological change and north-south trade,” *Journal of Economic Surveys*, 22(3), pp.409-457.

(2) 학술지 논문(DOI 있는 경우)

장혜란·강길원·이영성·탁양주, 2008, “국내의학자가 국내외에 발표한 의학논문 현황 분석: 1960년부터 2008년까지,” 『한국문헌정보학회지』, 45(3), pp.259-277, DOI: 10.4275/KSLIS.2011.45.3.259.

Klimoski, R. and S. Palmer, 1993, “The ADA and the hiring process in organizations,” *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 45(2), pp.10-36, DOI: 10.1037/1061-4087.45.2.10.

(3) 학술지 논문(DOI 없는 경우)

오동근, 2011, “실생활에 적용된 분석합성식 분류기법의 사례에 관한 심층적 분석,” 『한국도서관정보학회지』, 45(2), pp.151-170, <http://scholar.ndsl.kr/schDetail.do?cn=JAKO201123457285969>.

Williams, J., 2008, “The victims of crime,” *Sociology Review*, 17(4), pp.30-32, Retrieved from <http://www.philipallan.co.uk/sociologyreview/index.htm>.

(4) 잡지 : 저자명, 발행년, “글 제목,” 자료명, 권, 수록면수.

김종태·정혜운, 2000, “자바언어의 보안구조,” 컴퓨터소프트웨어, 34, pp.23-54.

Posner, M. I., 1993, “Seeing the mind,” *Science*, 262, pp.673-674.

(5) 신문기사 : 저자명, 발행년월일, “글 제목,” 자료명, 수록면수.

출처는 대학입시, 1996.3.6., 한국교육신문, p.2.

김철수, 2002.8.12., “제왕적 대통령은 헌법유린,” 동아일보, p.6.

Schwartz, J., 1993, September 30, “Obesity affects economic, social status,” *The Washington Post*, pp.A1, A4-5.

2. 단행본 : 저자명(역할어), 발행년, 『서명(역할을 달리한 저자)』, (판차), 발행지: 발행사.

(1) 단행본 전체

김성태, 1994, 『발달심리학』, 서울: 교육과학사.

Atkinson, J. W., 1964, *An introduction to motivation*, Princeton, NJ: Van Nostrand.

(2) 단행본의 장

최석준, 2000, 가족치료 성과 연구방법, 김호영, 심영권(편), 『가족치료 핸드북: 제4권, 사회화와 성격 및 사회성 발달』, (제4판, pp.358-411), 서울: 상담과학사.

Fontana, A. and J. Frey, 1994, The art of science, In N. Denzin and Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research*, (pp.361-376), Thousand Oaks, CA: Sage.

(3) 편집본

이정환·남주성(편), 1996, 『질적연구의 이해』, 서울: 미래출판사.

Schubert, W. H. and W. C. Ayers (Eds.), 1992, *Minimal brain dysfunction in children*. New York: Longman.

(4) 재판(再版)

이정환·남주성, 1996, 『질적연구의 이해』, (2판), 서울: 미래출판사.

Levine, D. U. and R. J. Havighurst, 1995, *Society and education*, (8th Ed.), Boston: Allyn and Bacon.

(5) 번역서

Hemingway, E., 1959, 『누구를 위하여 종은 울리나』, (김형일 역), 서울: 동학사(원서출판 1956).

Sartre, J. P., 1962, *Imagination: A psychological critique*, (F. Williams, Trans.), Ann Arbor, MI: Press 1940.

(6) 다권본

이상욱, 1952, 『한국의 역사』, (제2권), 서울: 교문사.

Koch, S. (Ed.), 1959-1963, *Psychology: A study of science*, (Vols. 1-6), New York, NY: McGraw-Hill.

(7) 저자가 단체인 경우

행정자치부, 1999, 『정부의전편람』, 서울: 행정자치부.

대우경제연구소, 2000, 『종합상사와 제조업체간 수출협력방안 연구』, (2000-07), 서울: 대우경제연구소

Dept. of Labor., 1988, *Child care: A workforce issue*, Washington, DC: GPO.

Employee Benefit Research Institute, 1992, February, *Sources of health insurance and characteristics of the uninsured*, (Issue Brief No.123), Washington, DC: Author.

(8) 보고서

김은희·백남철, 2000, 『5개 시 자전거 현황 및 정책방향에 관한 제언』, 서울: 행정자치부.

U.S. Treasury Department. Bureau of Prohibition., 1929, *Digest of supreme court decisions interpreting the National Prohibition Act and Willis-Campbell Act*, Washington, DC: GPO.

U.S. Department of Health and Human Services, 2003, National Institutes of Health, National heart, Lung, and Blood Institute, *Managing asthma: A guide for schools*, (NIH Publication No. 02-2650), Retrieved from http://www.nhlbi.nih.gov/health/prof/lung/asthma/asth_sch.pdf.

3. 학위논문 : 저자명, 수여년도, "논문명," 학위명, 수여기관명, 소재지.

김유나, 2008, "환경성과지수(EPI)를 이용한 한국도시지속성의 성과평가와 정책적 함의," 석사학위논문, 중앙대학교, 서울.

Ward, I., 1998, "Sedimentary history of the Pandora wreck and surrounds," Masters dissertation, James Cook University, Townsville, Australia.

4. 심포지움 자료 : 저자, 발행년, "논문명," 의장(Chairperson), 『심포지움명』, 심포지움 개최기관, 소재지, 수록면.

컨퍼런스 발표 자료 : 저자, 발행년, "논문명," 컨퍼런스명, 소재지.

한덕용·이경성, 1999, "대학생의 신체 질병을 예언하는데 관련된 요인들," 『한국심리학회 연차학술대회 발표초록집』, 서울: 연세대학교 제2인문관, pp.190-193.

Wolburg, J. J. and D. Treise, 2004, "Drinking rituals among the heaviest drinkers: College student binge drinkers and alcoholics," In C. Otnes and T. Lowry (Eds.), *Contemporary consumption rituals: A research anthology*, Mahwah, NJ:

Lawrence Erlbaum, pp.3-20.

5. 인터넷 자료 : 저자명, 발행년, "전자문서명,"

국립환경과학원, 2007, <http://www.nier.go.kr>.

정보산업부, 2000, "중화인민공화국전신조례," <http://www.mii.gov.cn/mii/hygl/dxlt.htm>,
[2001.6.19]

6. 기타자료

(1) 특허

이천수, 1997, "특허출원 제97-37124," 서울: 특허청.

Smith, I. M., 1988, "U.S. Patent No. 123, 445," Washington, DC: U.S. Patent and
Trademark Office.

(2) 법률

도서관 및 독서진흥법, 1999, 법률 제5657호.

Mental Health System Act., 1988, 42 U.S.C. No. 9401.

2-10 저자소개

(1) 논문의 마지막 부분 참고문헌 다음에 저자소개를 첨부한다.

(2) 저자소개는 성명, 이메일, 최종학력, 현직, 관심분야, 주요논문 혹은 저서 2-3개
등을 3-4줄 정도의 완성된 문장으로 소개한다.

2-11 부록

필요한 경우에 한하여 기재할 수 있다.

부칙

기타 본 규정에 명시되지 아니한 사항에 대한 결정은 편집위원회에 위임한다.

『환경정책』 편집 및 심사규정

1993年 06月 制定
1999年 08月 改正
2004年 01月 改正
2005年 02月 改正
2006年 06月 改正
2007年 06月 改正
2008年 02月 改正
2010年 02月 改正
2010年 09月 改正
2010年 12月 改正
2013年 01月 改正
2014年 10月 改正
2016年 03月 改正
2016年 10月 改正
2017年 02月 改正
2017年 04月 改正
2018年 11月 改正
2020年 08月 改正

제1조 (목적)

본 규정은 한국환경정책학회와 한국환경정책·평가연구원의 학술논문집 環境政策 (이하 '학회지'라 한다)에 게재할 논문의 심사 및 게재에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조 (편집위원회)

1. 편집위원회 구성

- (1) 편집위원회는 1인의 편집위원장과 부편집위원장 외 25인 내외의 편집위원으로 구성한다.
- (2) 편집위원장은 학회장이 상임이사회의 동의를 얻어 임명한다.
- (3) 부편집위원장, 편집위원은 학회 회원 중에서 편집위원장의 추천을 거쳐 상임이사회에서 결정한다.

2. 편집위원장 등

- (1) 편집위원장은 편집위원회를 주관하고 상임이사회 위원이 된다.
- (2) 부편집위원장은 편집위원장의 위임을 받아 편집위원회의 제반 업무를 관장할 수 있다.
- (3) 편집위원장과 부편집위원장의 임기는 2년으로 하고 연임할 수 있다. 임기의 시작은 해당년도 3월 1일로 한다.

3. 편집위원

- (1) 편집위원의 선정기준은 다음과 같다.
 - ① 편집위원은 박사학위 소지자, 대학교수 또는 그와 동등한 능력이 있다고 인정된 자, 각 연구 분야에 대해 최신 지견을 갖춘 자를 원칙으로 한다.
 - ② 편집위원은 최근 활발하게 학술활동을 하는 사람으로써 연구실적이 우수한 사람으로 한다.
 - ③ 편집위원은 지역분포 및 직급을 고려하여 선정한다.
 - ④ 학문적 기여도 등을 기준으로 하여 선정한다.
- (2) 편집위원의 임기는 2년으로 하고 연임할 수 있다. 편집위원회의 연속성 유지를 위하여 교체되는 편집위원 수는 전체 편집위원 수의 2분의 1을 초과하지 않도록 한다.

4. 편집위원회 회의

- (1) 편집위원회는 매년 2회 이상 전체회의를 개최하고 필요시 임시회의를 수시로 개최한다.
- (2) 편집위원회 회의의 의사결정은 전체 편집위원회의 과반수 출석으로 개최하며 출석위원 과반수의 찬성으로 가결된다.

제3조 (논문 심사)

1. 심사대상 논문

- (1) 본 학회지 원고제출 요령에 맞게 제출된 원고만 심사의 대상이 된다.
- (2) 투고된 논문에 대하여 편집위원회에서는 분야, 형식, 분량 등의 적합성 여부를 검토하는 예비심사를 행한다.
- (3) 투고된 논문은 반환하지 않는다. 단, 편집위원회는 투고된 논문에 대하여 1차적

으로 본 학회의 목적과 취지의 적합성 여부를 판정하여 적합하지 않은 논문의 경우, 본 심사 이전에 반려(탈락)할 수 있다.

- (4) 예비심사를 통과한 논문에 대하여 내용의 학문적 수준을 종합적으로 평가하는 1차심사를 행한다.

2. 논문의 심사절차

- (1) 학회지 게재를 원하는 논문은 연중 수시로 접수하고 수시로 게재여부를 심사한다. 단, 논문투고는 온라인상의 논문투고시스템을 이용한다.
- (2) 예비심사에서 탈락한 경우는 심사과정 없이 기고자에게 반려할 수 있다.
- (3) 예비심사를 통과한 논문에 대하여 1차심사를 위하여 편집위원장은 3인의 심사위원을 선정하여 심사를 의뢰한다.
- (4) 투고된 논문은 심사위원에 의해 비밀심사를 받는다. 즉 심사위원에게는 논문저자의 이름을 비밀로 하고 논문저자에게는 심사위원의 이름을 비밀로 한다.
- (5) 편집위원장으로부터 논문심사를 의뢰 받은 심사위원은 의뢰 받은 날로부터 4주일 이내에 심사를 끝내고 그 결과를 온라인논문시스템에 탑재하여야 한다. 선정된 심사위원이 불가피한 사정으로 논문심사를 할 수 없을 때에는 즉시 편집위원장에게 통보하여야 한다. 심사자가 의뢰 받은 날로부터 4주일 이내에 심사를 끝내지 못할 경우 편집위원장은 새로운 심사자를 선정하여 심사를 위촉할 수 있다.
- (6) 편집위원장은 심사가 완료된 후 집필자에게 그 결과를 즉시 통지하며 심사의 결과에 따라 논문의 수정을 요구할 수 있다.
- (7) 편집위원장으로부터 논문의 수정을 요청 받은 집필자는 수정을 요청 받은 날로부터 3개월 이내에 수정논문을 제출하여야 한다. 집필자가 사유를 통보하지 않고 기한 내에 수정된 논문을 제출하지 않을 경우 게재불가로 처리한다.
- (8) 논문집필자가 수정하여 다시 제출한 논문은 당초 심사자가 다시 심사함을 원칙으로 한다. 재심의 경우 게재가, 수정후 게재, 게재불가의 판정만을 하며, 불가판정의 경우 심사자는 반드시 불가에 대한 심사평을 제출한다. 심사결과 “게재불가” 판정을 받은 논문은 재투고할수 없다. 단, 전면수정하여 통보 후 3개월 이후에는 재투고가 가능하다. 이 경우 과거 심사자가 아닌 새로운 3인의 심사자를 선임하는 것을 원칙으로 한다.
- (9) 편집위원회는 위의 과정을 통과한 논문을 게재함을 원칙으로 한다. 다만 학회초청 논문 또는 특별기고 논문 등은 편집위원회의 결의에 의해 게재할 수 있다.

(10) 편집위원장이 논문을 투고할 경우에는 회장이 임시 편집위원장의 역할을 수행하며, 편집위원이 투고한 논문은 편집위원장이 심사위원을 선정한다. 또한 다른 편집위원이 심사자에 선정되지 않도록 한다.

(11) 긴급심사제도

- ① 긴급심사제도는 접수 후 15일 이내에 1차 심사를 완료하여 논문의 게재여부를 조속히 판정하며, 심사료 및 게재료는 일반논문의 2배로 한다.
- ② 심사결과가 '수정·보완 후 재심' 등으로 판정되어 게재여부가 불확실할 경우에는 게재여부의 판정이 지연 될 수 있다.

3. 논문심사 기준과 심사 결과

(1) 예비심사는 투고된 논문이 본회의 사업 목적에 부합하는 분야를 다룬 것인지의 여부와 별도 투고 지침에서 정한 형식 및 분량을 준수하였는지를 기준으로 행한다.

(2) 1차심사는 아래 사항을 염두에 두고 투고된 논문의 내용을 중심으로 학문적 수준을 평가한다.

- ① 주제의 적절성
- ② 기존 연구의 검토과정
- ③ 국문·영문 초록의 충실성
- ④ 논문 전개의 논리성 및 일관성
- ⑤ 분량·표·그림·지도 형식의 적절성
- ⑥ 정책적 기여도
- ⑦ 학술적 기여도

〈표 1〉 심사판정기준표

등급판정	심사결과			비고
게재가	○	○	○	현상태게재
	○	○	△	수정후게재
	○	○	×	수정전제후게재
수정후 재심사	○	△	△	△에게 재심의뢰하여 1인 이상 '게재가면 게재'
	○	△	×	△에게 재심의뢰하여 '게재가면 게재'
	△	△	△	△에게 재심의뢰하여 2인 이상 '게재가면 게재'
	△	△	×	△에게 재심의뢰하여 2인 모두 '게재가면 게재'
게재불가	○	×	×	
	△	×	×	
	×	×	×	

(3) 심사결과에 대한 이의신청

논문제출자가 심사결과에 대한 불복사유를 문서로 제출하고 편집위원장이 그 사유가 합당하다고 판단할 경우, 편집위원회의 의결에 의해서 기존의 심사위원을 제외한 새로운 심사절차를 실시할 수 있다.

4. 기타 사항

- (1) 논문의 게재순서는 게재확정 순서에 따르나, 편집위원장이 학회지의 편집구성을 고려하여 이를 조정할 수 있다.
- (2) 논문게재예정증명서는 투고논문이 게재확정 된 후에 저자의 요청이 있을 경우 편집위원장이 발행 할 수 있다.
- (3) 본 규정에서 정하지 않은 사항은 편집위원회에서 따로 정한다.

회원가입신청서

※ 회원가입번호 : _____

성명	한글:	한자:	영문:	사 진
주민등록번호				
회원구분	정회원(), 준회원(), 정회원 평생회원(), 준회원 평생회원(), 특별(단체)회원(), 명예회원()			
자택	주소(우)			
	전화번호:	(H.P):		
근무처	직장명:	직위:		
	주소(우)	E-mail:		
	전화번호:	Fax:		
학력 및 경력	기간	학교 및 근무처		학위(직위)
최종논문제목				
타 학회 가입 현황	기간	학회명		학위(직위)
본인은 귀 학회의 취지에 동의하여 입회하고자 하오니 승인하여 주시기 바랍니다. <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> 20 년 월 일 신청인 인 </div> (사) 한국환경정책학회 회장 귀하				

- 사무국 : 우)03367 서울특별시 은평구 진흥로 215 한국환경산업기술원 B동 102호
한국환경정책학회
Tel : 02-354-6884, Fax : 0303-3445-6885 E-mail : kepas@kepas.or.kr
- 회 비 · 개인회원 입회비 : 5,000원 · 연회비 : 30,000원
· 평생회비(정회원) : 500,000원 · 평생회비(준회원) : 300,000원
· 특별회원 A : 1,000,000원 이상 · 특별회원 B : 500,000원
· 특별회원 C : 200,000원 · 도서관 : 100,000원
- 계좌번호 : **우리은행 1005-501-550951** (사)한국환경정책학회
- 회원가입 발송자료 : 학회지 5회, 학술대회자료집, 각종 세미나 자료집, 소식지
- 회원가입을 독려하여 주시고 주소변경시 변경사항을 보내주시기 바랍니다.

環境政策 제29권 제2호 (2021. 6)

서기 2021년 6월 29일 인쇄

서기 2021년 6월 30일 발행

공동발행인 / 노상환, 윤제용

공동발행소 / 한국환경정책학회

한국환경정책·평가연구원

인쇄 / 조명문화사

(02-498-3017)