

광역자치단체 온실가스 배출량과 경제성장의 탈동조화 분석*

Decoupling Analysis of Economic Growth and Greenhouse Gas Emissions of Regional Local Governments in Korea

고재경**·예민지***

Koh, Jaekyung·Ye, Minji

■ 목 차 ■

- I. 서론
- II. 선행연구 검토
- III. 방법론 및 자료
- IV. 분석결과
- V. 결론

탄소중립을 위한 지역의 역할이 강조되고 있다. 국가 온실가스 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해서는 지역의 온실가스 배출 특성과 감축 여건을 고려한 차별화된 전략과 접근이 필요하다. 본 연구는 광역자치단체의 탈동조화 현상을 분석하고 시사점을 제시하는 데 목적이 있다. 온실가스 배출량은 경제활동과 밀접하게 관련되어 있어서 온실가스 배출과 경제성장의 관계를 나타내는 탈동조화(decoupling)는 기후변화 논의에서 중요한 주제이다. 이를 위해 2001~2018년 동안 연도별 단기 탈동조화 지수를 산정하여 추세를 파악한 다음 회귀분석을 통해 10년 주기로 지역별 탈동조화 정도를 비교 분석하였다. 분석 결과 16개 시도의 탈동조화 지수는 시간의 변화에 따라 전반적으로 개선되는 추세를 보였으나 지역별 탈동조화 정도는 차이를 나타내었다. 기간별로는 제주와 충남을 제외한 모든 지역에서 2001~2010년에 비해 2010년 이후의 기간에서 탈동조화 현

* 본 논문은 고재경·예민지(2021). 지역의 탄소중립, 목표 선언 넘어 실행이 중요!, 『이슈&진단』, 451, 경기연구원의 일부 내용을 보완·발전시킨 것임을 밝혀 둔다.

** 제1저자, 경기연구원 선임연구위원

*** 교신저자, 경기연구원 연구원

논문 접수일: 2022. 2. 11. 심사기간: 2022. 2. 11. ~ 2022. 3. 4. 게재확정일: 2022. 3. 4.

상이 강화되었으며, 울산, 경남, 대구, 강원 등 4개 지역에서는 통계적으로 유의한 수준의 절대적 탈동조화 현상이 나타났다. 로그평균 디비지아 지수(LMDI) 분석 결과 에너지 집약도 개선 효과가 탈동조화를 추동하는 주요 요인으로 나타나 선행연구와 일치된 결과를 보였다. 이러한 지역별 감축 경로와 역량의 차이를 고려하여 탄소중립 이행을 위한 지역의 권한과 자율성을 부여하는 유연한 접근과 함께 탄소중립 목표 이행의 책임성을 강화할 수 있는 장기적인 정책목표와 수단이 필요하다.

□ 주제어: 광역자치단체, 탈동조화, 온실가스 배출, 경제성장, 탄소중립

The role of local governments for carbon net-zero is being emphasized. To effectively achieve the national greenhouse gas reduction target, a differentiated strategy and approach that reflects the local greenhouse gas emission characteristics and reduction conditions are required. This study aims to analyze the decoupling degree of regional local governments and draw implications for carbon net-zero. Since greenhouse gas emissions are closely related to economic activities, decoupling, which indicates the relationship between the two, is critical in climate change discussions. To this end, we calculated the short-term decoupling index for each year from 2001 to 2018 to figure out the trend and then compared and analyzed the degree of decoupling by region through regression analysis on a 10-year cycle. As a result of the analysis, the decoupling indices of 16 metropolitan cities and provinces showed an overall improvement trend with the change of time, but there were differences in the degree of decoupling by region. By period, decoupling was strengthened in the period after 2010 compared to 2001 to 2010 in all regions except Jeju and Chungnam. In particular, a statistically significant level of absolute decoupling was observed in four regions: Ulsan, Gyeongnam, Daegu, and Gangwon. According to the logarithmic mean Divisia index (LMDI) analysis, the energy intensity improvement effect was found to be a major factor driving decoupling, showing results consistent with previous studies. Considering these differences in regional mitigation pathways and capacities, a flexible approach that grants local authority and autonomy for carbon net-zero is needed, along with long-term policy goals and means to strengthen accountability of regional local governments.

□ Keywords: Regional Local Government, Decoupling, Economic Growth, Greenhouse Gas Emissions, Carbon Net-zero

I. 서론

2018년 유엔 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)의 1.5도 특별보고서 채택을 계기로 기후위기에 대한 관심이 고조되면서 ‘탄소중립’이 전 세계적인 화두로 부상하였으며, 코로나19 펜데믹의 거대한 충격은 이러한 대전환의 촉발제로 작용하였다. UN 기후정상회의(19.9) 이후 136개 국가가 탄소중립을 선언하였으며,¹⁾ 탄소중립을 위한 중간 목표인 2030 온실가스 감축목표를 상향하고 탄소중립을 법제화하는 등 탄소중립 노력이 확산되고 있다. 우리나라도 2021년 9월 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하 탄소중립기본법)이 제정되어 탄소중립을 위한 제도적 기반을 갖추었으며, 10월에는 ‘2050 탄소중립 시나리오’ 및 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축하는 2030 국가 온실가스 감축목표(이하 2030 NDC) 상향안을 발표하는 등 글로벌 동향 변화에 적극적으로 대응하고 있다.

하지만 국가 차원의 노력만으로는 탄소중립 목표를 달성하는 데 한계가 있다. 개인, 지방정부, 기업 등 비국가 행위자(Non-State Actors)가 각국의 온실가스 감축 목표와 글로벌 목표의 차이를 메울 수 있는 주체로 주목받고 있는 것도 그러한 이유에서이다(Hsu et al., 2018; Kuramochi et al., 2020). 특히 도시 및 지방정부가 국가보다 앞서서 탄소중립을 선언하거나 법제화하고 냉난방 에너지의 화석연료 사용 제한 규제를 도입하는 등 중앙정부에 의한 획일적인 정책에서 벗어나 지역별 특성을 고려한 선제적이고 차별적인 접근을 시도하는 사례가 증가하고 있다(REN21, 2021).

국내에서도 2020년 6월 226개 지방자치단체가 ‘기후위기 비상선언’을 선포하고, 7월에는 80개 광역·기초자치단체가 탄소중립 실천을 위해 탄소중립 지방정부 실천연대를 결성하였으며,²⁾ 2021년 5월에는 모든 지방자치단체가 탄소중립을 선언한 바 있다. 탄소중립기본법에 의해 기초자치단체까지 탄소중립·녹색성장 기본계획 수립이 의무화되고 지역 주도 탄소중립 이행 지원 대책이 마련되는 등 정치적 선언을 실천 행동으로 바꾸어내기 위한 후속 조치가 구체화되고 있다. 이미 법 제정에 앞서 환경부의 지원을 받아 37개 지방자치단체가 계획을 수립 중이며, 정부는 '22년 90개, '23년 116개 등 지원을 확대하여 2023년까지 243곳의 계획 수립을 완료한다는 계획이다(관계부처합동, 2021).

탄소중립은 화석에너지의 사용을 축소하는 에너지전환을 통해 온실가스를 감축하는 동시에

1) Net Zero Tracker. <https://eciu.net/netzerotracker>(검색일: 2021.11.08.)

2) 2021년 9월 현재 광역자치단체 17개, 기초자치단체 201개 등 218개 지방자치단체가 참여하고 있다.

녹색기술과 녹색산업을 육성함으로써 국가경쟁력을 강화하고 녹색경제로 이행하는 것을 전제로 한다. 온실가스 감축이 경제발전을 저해하는 것이 아니라 탄소집약적인 경제의 체질을 바꾸어 경제와 환경이 조화되는 지속가능한 경제·사회시스템으로의 전환을 가능하게 한다는 것이다(이상준, 2017;관계부처합동, 2020). EU의 그린 딜(Green Deal)도 기후위기 대응을 위한 탄소중립 경제를 '신성장동력'으로 삼고, 선도자(first mover)로서 신경제의 표준을 선점하여 국제경쟁력을 확보하는 것을 목적으로 명시하고 있다.

이렇게 볼 때 탄소중립 목표 달성을 위해서는 온실가스 배출과 경제성장 사이의 탈동조화(decoupling)를 실현하는 것이 중요하다. 탈동조화란 동일한 방향으로 움직일 것으로 예상되는 두 변수가 특정 조건이 변화함에 따라 관계를 보이지 않거나, 반대 방향으로 움직이는 현상을 의미한다(Jackson, 2013;임형우·조하현, 2020:391에서 재인용). 전통적으로 경제성장은 에너지 수요와 온실가스 배출을 늘리는 방향으로 작용한다. 하지만 두 변수 사이의 관계는 고정된 것이 아니라 변화를 보이게 되는데, 이것이 경제성장을 유지하면서도 온실가스 배출이 줄어드는 탈동조화로 나타난다. 1990년대부터 온실가스 감축 정책을 추진해 온 유럽 선진국은 이러한 탈동조화 현상을 보이고 있지만 우리나라는 아직 이들 국가 수준의 탈동조화에는 못 미치는 실정이다. 이에 따라 2030 NDC 수립 과정에서 온실가스 다배출국가로서 국제사회가 요구하는 감축 수준과 선진국과 다른 경제발전과 온실가스 배출 경로를 고려한 적절한 목표치 설정을 두고 이해당사자 간 치열한 논쟁이 있었다.

경제성장과 온실가스 배출량 사이의 탈동조화 여부와 시기는 국가뿐 아니라 도시나 지방정부 차원에서도 탄소중립 경로를 설계할 때 중요한 이슈이다. 화석에너지에서 분산형 재생에너지로의 전환이 탄소중립의 핵심 전략이라는 점에서 지방자치단체의 목표 이행 여부는 국가 탄소중립과 2030 NDC 달성에 매우 중요한 역할 역할을 하기 때문이다(Gudde et al., 2021;HM Government, 2021;Evans, 2020). 서울시, 광주시 등 일부 선도지역을 제외하면 우리나라 지방자치단체의 온실가스 감축 정책은 MB 정부의 녹색성장 정책에 의해 본격적으로 추진되었다고 할 수 있다. 그러나 지역의 탄소중립 대응 역량과 인프라는 여전히 취약해서 2030 NDC가 지역에 획일적인 가이드라인으로 작용할 가능성이 높은 가운데 동시다발적인 계획 수립에 대한 우려가 제기되고 있다. 지방자치단체 탄소중립 계획의 실행력과 책임성 제고를 위해서는 국가 온실가스 감축목표와 일관성을 유지하면서도 지역의 사회경제적 맥락과 감축 여건의 차이를 반영한 차별화된 접근과 전략이 필수적이다(고재경, 2021). 이런 점에서 탈동조화 수준은 에너지 효율 개선, 재생에너지 확대 등을 통해 지역의 저탄소 녹색경제로의 이행을 진단하는 지표로서 유용하다(이상준, 2017).

이와 같은 배경 하에 본 연구는 광역자치단체 온실가스 배출량과 경제성장의 관계에 초점을 맞추어 온실가스 배출 특성과 감축 경로를 비교하고 지역 주도 탄소중립 추진을 위한 시사

점을 도출하고자 한다. 이를 위해 2장에서 지자체 온실가스 감축 및 탈동조화에 관한 기존 연구를 검토하였으며, 3장에서는 분석에 사용된 자료와 방법론에 대해 기술하였다. 4장에서는 광역시·도의 탈동조화 지수를 산정하고 온실가스 배출에 영향을 미치는 요인을 분석하여 지역의 탄소중립 추진 방향에 대한 시사점을 제시하였다.

II. 선행연구 검토

온실가스 감축이 지역에 미치는 영향에 관해서는 여러 연구가 진행되었는데, 공통적으로 온실가스 감축 방식이나 수단에 따라 지역 간 감축 부담의 차이가 발생하고 지역 경제에 미치는 영향이 다르게 나타남을 보여주고 있다(박성훈·고재경, 2012; 김수이·조경엽·노동운, 2010; 노동운, 2011; 김재현·정기호, 2011; 진상현·정경화, 2013). 온실가스 배출에 영향을 미치는 광역자치단체의 인구, 산업구조, 경제성장률, 에너지 집약도 등이 다르기 때문에 국가와 동일한 수준의 감축의무를 지역에 획일적으로 적용할 경우 에너지 다소비, 온실가스 다배출 업종이 집중된 지역의 경제적 영향이 더 크게 나타나 지역 간 격차가 발생할 수 있다. 이는 국가 온실가스 감축 목표를 효과적으로 달성하기 위한 지역별 전략과 정책이 지역의 경제성장, 에너지 소비, 온실가스 배출 특성에 따라 차별적으로 접근되어야 함을 보여준다.

특히 온실가스 배출량은 경제활동과 밀접하게 관련되어 있어서 온실가스 배출과 경제성장의 관계를 나타내는 탈동조화(decoupling)는 기후변화 논의에서 중요하게 다루어지고 있다.³⁾ 이는 탈동조화 현상이 단순히 온실가스와 소득 간의 관계를 확인하는 차원의 접근을 넘어서 에너지 믹스와 산업구조, 정책효과 등을 평가할 수 있는 잣대로 활용이 가능하기 때문이다(김대수·이상엽, 2019:588). 탈동조화 관련해서는 국내외적으로 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국가 차원에서는 OECD(Chen et al., 2018), BRICS(Dai et al., 2016), 북유럽(Bhöwmik, 2019) 국가들을 대상으로 탈동조화 수준을 비교 분석하거나, 브라질(de Freitas and Kaneko, 2011), 중국(Xie et al., 2020; Zheng and Zhou, 2015) 등 개별 국가를 대상으로 한 연구가 있다. 이들 연구는 경제성장과 온실가스 배출량 사이의 탈동조화를 분석하

3) 전력을 포함한 에너지 소비 또는 온실가스 배출과 경제성장 간의 인과관계에 대해서는 일방향 또는 양방향의 관계가 나타난다. 일방향 관계는 경제성장이 에너지 소비 또는 CO₂ 배출을 견인한다는 보전가설, 에너지소비 또는 CO₂ 배출이 경제성장을 이끈다는 성장가설로 대변되며, 피드백 가설은 인과성이 양방향으로 작용하는 것을 의미한다. 우리나라의 경우 분석 대상과 시기, 범위에 따라 일방향과 양방향의 관계에 차이가 있지만(조정환·강만옥, 2012; 노건기외, 2016; 박민혁외, 2016; 김근우외, 2020; 이연정외, 2019), 공통적으로 이들 사이에 밀접한 관련성이 있음을 알 수 있다.

고 로그평균 디비지아 지수(LMDI) 방법을 사용하여 탈동조화에 영향을 미치는 요인을 파악하였는데, 공통적으로 에너지 집약도의 개선, 에너지 믹스가 탈동조화에 기여하는 것으로 나타났다.

한편 지방정부 수준에서의 탈동조화 연구도 이루어지고 있는데 대부분 중국을 대상으로 하고 있다. Peng et al.(2011)은 국가와 성정부 수준의 탈동조화를 동시에 분석하여, 시간대별로 지역별 탈동조화 수준의 차이가 발생하고 시간이 지나면서 이러한 격차가 줄어드는 공간적 응집 현상을 보여주고 있다. Ning et al.(2017)에 의하면 중국을 7개의 경제권역으로 구분하여 1996~2013년 동안 탈동조화 지수를 산정한 결과 각 경제권역별로 차이가 발생하였으며, 경제적 요인과 에너지 집약도가 탈동조화에 영향을 미치는 중요한 요인으로 나타났다. Meng et al.(2021)은 1995~2019년 동안 성정부의 경제성장과 산업부문 이산화탄소 배출량의 탈동조화를, Luo et al.(2017)은 1997~2014년 동안 중국 30개 성의 농업 경제성장으로 인한 이산화탄소 배출량의 탈동조화를 분석하고 탈동조화 현상의 시공간적 분포 특성을 규명하였다. 중국 성정부의 경우 2010년을 기점으로 탈동조화가 지속적으로 개선되면서 2016~2019년 동안 모든 지역에서 탈동조화가 나타났고 20% 이상은 절대적 탈동조화를 달성한 것으로 나타났다. Wang et al.(2013)은 장쑤성을 대상으로 1995~2009년 동안 탈동조화 지수를 산정하고 로그평균 디비지아 지수 분석을 통해 경제활동과 에너지 집약도 개선이 각각 이산화탄소 배출 증가 및 감소의 중요한 요인임을 밝히고 있다. Kang et al.(2021)은 2000~2017년 중국 264개 현급 도시의 탈동조화 관계 및 기간별 탈동조화 지수와 시공간적 진화 특성을 분석하였는데, 시간이 지나면서 절대적 탈동조화를 달성한 도시의 수는 10~11차 5개년 계획기간의 0개에서 12차 5개년 계획기간 및 13차 5개년 계획기간 첫 2년 동안 14개로 크게 증가하여 전체 도시 수의 5.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

국내 연구로 조용성(2017)은 1990~2016년 동안 총발전량과 발전부문 이산화탄소 배출량 간의 탈동조화 현상이 나타나고 있음을 밝혔으며, 김대수·이상엽(2019)은 1990~2016년 기간의 우리나라 온실가스 배출량과 경제성장 간 탈동조화를 장·단기로 분석한 결과 장기적으로는 탈동조화 현상이 나타나지 않았으나 단기적으로는 상대적인 탈동조화가 나타나고 있음을 보여주고 있다. 이들 연구 모두 발전부문의 화석연료 의존도가 탈동조화 수준에 영향을 미치는 주요 요인임을 제시하고 있다. 1990~2018년 동안 산업별 온실가스 배출량과 실질부가가치 간의 탈동조화 경향을 분석한 진태영·김도원(2021)에 의하면 탈동조화는 2000년대에 가장 심화되었으며, 이러한 경향성이 에너지 다소비 업종과 수송부문에서 두드러졌는데, 마찬가지로 에너지원단위 개선이 탈동조화 변화에 가장 기여한 것으로 나타났다. 임형우·조하현(2019)은 전 세계 63개 국가를 대상으로 1980~2014년 동안의 국가별 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 현상의 주요 특징 및 그 원인을 분석하였으며, 임형우·조하현(2020)은

동일한 방법을 사용하여 1990~2017년 OECD 25개국의 교통부문 온실가스 배출의 탈동조화 및 에너지전환이 탈동조화에 미치는 영향을 분석하였다. 우리나라의 경우 탈동조화가 진행되고는 있지만 선진국에 비해 수송부문의 탈동조화 정도가 약한 것으로 나타났다.

지역 차원의 탈동조화에 대한 국내 연구는 거의 없는데, 서형준·이형석(2019)은 탈동조화와 비슷한 맥락에서 경제성장을 유지하면서 온실가스 배출량을 줄이는 생산성을 녹색생산성으로 정의하고 에너지 소비량 자료를 사용하여 2009~2013년 동안의 녹색생산성을 분석하였다. 대부분의 지역에서 효율성이 증가하면서 녹색생산성이 증가하였지만 광주, 대구, 제주 등 일부 지역은 녹색생산성이 감소한 것으로 나타났다. 이재석외(2021)는 2010~2018년 동안의 16개 광역자치단체별 자료와 패널 벡터자기회귀(Panel VAR) 모형을 이용하여 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 간의 관계를 실증 분석하였다. 에너지 소비 증가는 온실가스 배출 증가에, 신재생에너지 생산 증가는 지역 내 총생산에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 진상현·정경화(2013)는 로그평균 디비지아 지수를 활용하여 온실가스 배출량과 집약도를 기준으로 지자체 온실가스 배출 특성을 유형화하였다. 이들 연구는 광역자치단체를 대상으로 온실가스 배출량, 에너지 집약도, 경제성장 변수를 사용하여 특성을 분석하였으나 온실가스 배출량과 경제성장의 관계를 일관되게 파악할 수 있는 탈동조화 지수를 산정하지는 않았고 분석 기간도 단기간이라는 한계가 있다. 또한 진상현·정경화(2013)를 제외하면 에너지 생산 기준의 직접배출량을 사용하여 분석하고 있다. 이에 본 연구는 2001~2018년으로 분석 기간을 확장하여 16개 광역자치단체의 탈동조화 현상을 분석하고, 로그평균 디비지아 지수를 결합하여 탈동조화에 영향을 미치는 요인을 파악하고 시사점을 도출하고자 한다.

Ⅲ. 방법론 및 자료

1. 방법론

OECD가 경제성장과 환경오염의 관계에 대한 탈동조화 이론을 제시한 이후(OECD, 2002), 경제성장과 탄소배출의 탈동조화 분석으로 확장되었다. 경제성장과 탄소배출의 탈동조화 지수를 측정하는 방법론 중 UNEP(2011)와 Tapio(2005)의 탈동조화 지수가 많이 활용되고 있다(임형우조하현, 2020). 탈동조화 지수는 다음과 같은 산정식을 활용하는데, 분자는 탄소배출량의 변화율(Δ)을 의미하며, 분모는 실질 GDP의 변화율(Δ)을 의미한다. Tapio(2005)는 탈

동조화 지수의 크기뿐 아니라 탄소배출량 증가율과 경제성장률의 부호에 따라 탈동조화 국면을 8가지 유형⁴⁾으로 세분화하여 제시하고 있는 것이 특징이다.

본 연구에서는 광역자치단체에 대한 분석의 특성을 고려하여 UNEP(2011)의 탈동조화 지수 산정방법에 따라 GDP의 변화율(ΔG)이 증가하는 상황에 국한하여 탈동조화 지수(DI)를 산정하고 탈동조화 지수(DI)가 0보다 작은 경우 절대적 탈동조화 단계, 0과 1 사이인 경우 상대적 탈동조화 단계, 1보다 큰 경우 동조화 단계로 구분하였다. UNEP(2011)에 의하면 GDP가 증가하는 상황에서 DI가 0보다 크고 1보다 작은 경우에는 소득 증가 대비 배출 증가 수준이 상대적으로 낮기 때문에 상대적 탈동조화로 판단하고 있으며, 이와 유사한 방법으로 탈동조화를 분석한 국내외 연구에서도 탈동조화를 절대적 탈동조화, 상대적 탈동조화 등으로 세분화하였다(Wang, 2011; 김대수·이상엽, 2019; 김동구·손인성, 2020).

$$DI_t = \frac{\Delta E_t}{\Delta G_t} = \frac{(E_t - E_{t-1})/E_t}{(G_t - G_{t-1})/G_t}$$

- $DI < 0$: 절대적 탈동조화
- $0 < DI < 1$: 상대적 탈동조화
- $DI > 1$: 동조화

각 연도별로 도출된 탈동조화 지수의 변화를 분석하는 UNEP(2011)의 방법론은 연도별로 단기적인 변화는 볼 수 있으나 분석 기간 전체에 대한 탈동조화 정도를 파악하기는 어렵다. 이를 보완하기 위해서 Cohen et al.(2018)의 방법론을 활용하여 분석 기간 전체에 걸친 전반적인 탈동조화 정도를 탄력성으로 추정하고 통계적 유의수준을 파악하였다. 또한 분석 기간을 2001~2010년과 2011~2018년으로 구분하여 10년 주기별로 지역의 탈동조화 변화를 분석하고 각 분석 기간에 해당하는 온실가스 배출량과 지역내총생산(GRDP) 값을 로그(log)로 변환한 다음 회귀분석을 통해 탄력성을 도출하였다. 이때 탄력성은 GRDP의 변화율(%)에 따른 온실가스 배출량의 변화율(%)을 의미한다. 탄력성이 0보다 작은 경우 GRDP가 증가할 때 배출량은 감소하는 '절대적 탈동조화 단계', 0보다 크고 1보다 작은 경우 배출량 증가율이 GRDP 증가율보다 낮은 '상대적 탈동조화 단계', 1보다 큰 경우 배출량 증가율이 GRDP 증가율보다 높은 '동조화 단계'로 판단하였다.

⁴⁾ Tapio(2005)는 경제성장률이 (+)일 때와 (-)일 때를 기준으로 각각 $DI < 0$, $0 < DI < 0.8$, $0.8 < DI < 1.2$, $DI > 1.2$ 로 나누어 구분하였다.

$$\log(\text{온실가스 배출량}_{c,t}) = \alpha + \beta \times \log(\text{GRDP}_{c,t}) + \epsilon_t, \quad (c: \text{각 시도}, t: \text{각 연도})$$

$$\beta(\text{GRDP 변화에 대한 온실가스 배출량의 탄력성}) = \frac{\text{온실가스 배출량의 변화율}(\%)}{\text{GRDP의 변화율}(\%)}$$

마지막으로 탈동조화 경향이 확대된 2011년 이후의 기간에 대해 지역별 탈동조화에 영향을 미친 요인을 파악하기 위해 온실가스 배출 변화에 미치는 요인을 1인당 GRDP 효과(G_{eff}), 인구효과(P_{eff}), 에너지 집약도(I_{eff})로 구분하고 요인별 효과를 로그평균 디비지아 지수(Log Mean Divisia Index, LMDI) 방법을 활용하여 분석하였다. 각 요소별 효과에 대한 객관적인 비교를 위해 변화율로 표시되는 승법(multiplication) 방식을 이용하였으며, 각 요소별 효과 식과 이를 모두 곱한 온실가스 배출량 변화율(E)은 다음과 같다.

$$G_{eff\text{승법}} = \ln \frac{G(t)}{G(0)}, \quad P_{eff\text{승법}} = \ln \frac{P(t)}{P(0)}, \quad I_{eff\text{승법}} = \ln \frac{I(t)}{I(0)}$$

$$E_{\text{변화율}} = G_{eff} * P_{eff} * I_{eff}$$

(G_{eff} : 1인당 GRDP 효과, P_{eff} : 인구 효과, I_{eff} : 에너지 집약도 효과(GRDP당 최종에너지소비), $E_{\text{변화율}}$: 온실가스 배출량 변화율)

각 변수 값이 1보다 크면 온실가스 배출량을 증가시키는 방향으로 작용한 것이고, 1보다 작으면 온실가스 배출량을 줄이는 방향으로 작용한 것을 의미한다. 1인당 GRDP 효과(G_{eff})는 온실가스 배출에 미치는 생산효과를 나타내고, 인구효과(P_{eff})는 인구증가에 따른 온실가스 배출에 미치는 영향을 나타내며, 각각의 효과가 증가할수록 에너지 소비 및 온실가스 배출을 증가시키는 방향으로 작용한다. 에너지 집약도 효과(I_{eff})는 에너지효율(GRDP 대비 최종에너지소비)의 개선 효과를 나타내는 것으로 에너지 집약도가 개선되면 온실가스 배출을 줄이는 방향으로 작용한다. 각 요소별 효과 값이 1보다 크면 온실가스 배출량을 증가시키는 요인으로 작용한 것이며, 1보다 작으면 온실가스 배출량을 감소시키는 요인으로 작용한 것으로 볼 수 있다.

2. 자료 구축

2001년부터 2018년까지 각 시도별 온실가스 배출량 자료는 2020년 온실가스종합정보센터가 발표한 광역자치단체 기준 지역별 온실가스 인벤토리(1990~2018)를 재가공하여 사용

하였다. 온실가스종합정보센터(2020)의 광역자치단체 인벤토리는 국가 온실가스 배출량을 부문별 활동자료 기준에 의해 지자체에 할당하는 방식으로 산정된 것이다. 이때 전력 및 열 생산에 의한 온실가스 배출량을 어디에 할당하는가가 중요한 쟁점이 될 수 있는데, 전력과 열을 생산하는 발전소가 입지한 지자체의 배출량으로 포함할지 아니면 전력과 열을 실제로 소비하는 지자체의 배출량으로 포함할지에 따라 지역의 온실가스 배출량이 달라지기 때문이다(진상현·정경화, 2013). 온실가스종합정보센터 자료는 전력과 열 생산지 기준으로 산정하였기 때문에 석탄발전소가 밀집되어 있는 충남의 온실가스 배출량이 가장 많고, 전국에서 전력을 가장 많이 소비하는 경기도는 소비 기준 배출량의 약 68% 규모, 발전소가 거의 없는 서울 역시 57% 수준에 불과하다. 전환부문 온실가스 감축은 중앙정부의 전원믹스 정책에 의해 결정되며, 지자체가 행정구역 내에 있는 발전소에 대한 관리 권한을 가지고 있지 못하다. 더욱이 지자체 행정구역 내에서 발생하는 직접배출량 기준의 온실가스 인벤토리는 건물, 수송부문의 에너지 수요관리, 폐기물 발생량 저감과 같이 지자체가 권한을 가지고 장점을 발휘할 수 있는 감축수단과도 부합하지 않다. 이러한 이유로 한국환경공단은 지자체가 온실가스 관리 권한을 가지는 감축인벤토리를 별도로 제시한 바 있다(한국환경공단, 2017).⁵⁾

이에 온실가스종합정보센터 인벤토리 자료를 토대로 온실가스 감축을 위한 지자체의 역할과 권한을 고려하여 전력과 열 생산이 아닌 소비에 의한 간접 배출량 기준으로 배출량을 재산정하였으며, 중복 산정을 피하기 위해 전력 및 열 생산으로 인한 직접 배출량을 차감하였다. 폐기물도 비슷한 문제를 안고 있는데, 온실가스종합정보센터는 폐기물 처리에 의한 직접 배출량 통계만을 제공하고 있어서 한국환경공단의 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 따른 발생량 기준의 간접배출량을 반영하였고, 토지·임업(LULUCF) 분야의 온실가스 흡수량은 제외하였다. 다만 국가 온실가스 총배출량과 시도 배출량의 총합은 정합성을 유지하였고 이를 위해 일부 보정이 이루어졌다.

동 기간 지역내총생산(GRDP)은 통계청 지역소득(2015년 기준)의 시도별 경제활동별 지역내총생산(실질 GRDP) 자료를 활용하였으며, 지역별 인구는 통계청 장래인구추계 자료를 활용하였다. 최종에너지소비량은 각 연도별 지역에너지통계연보의 자료를 활용하였다.

5) 한국환경공단의 지자체 온실가스 감축 인벤토리에는 산업부문이 제외되어 있다.

IV. 분석결과

1. 광역자치단체 온실가스 배출 현황

1) 총배출량 및 증가율

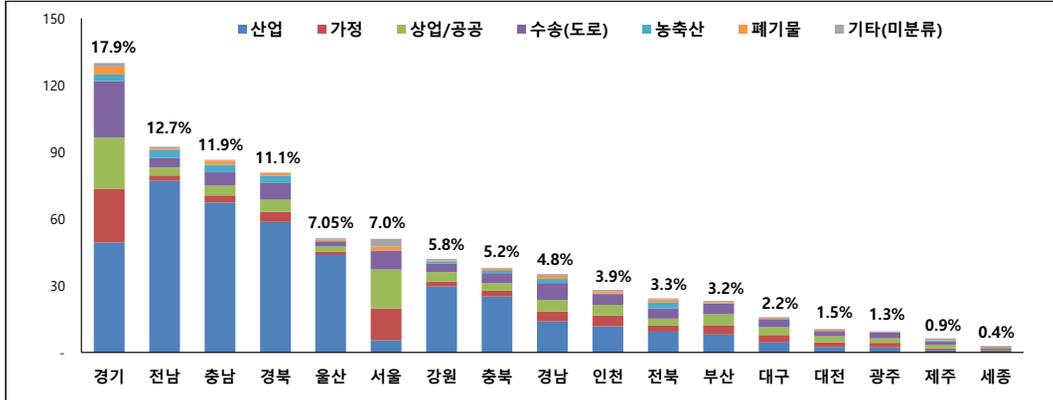
에너지 생산이 아닌 최종에너지 소비 기준으로 산정한 2018년 지역별 온실가스 총배출량은 경기도가 가장 많고 세종시가 가장 적다.⁶⁾ 경기도 온실가스 배출량은 약 130백만톤으로 전국의 17.9%를 차지하며, 다음으로 전남(12.7%), 충남(11.9%), 경북(11.1%) 순을 보였다. 온실가스 총배출량 5천만톤 이상인 경기, 전남, 충남, 경북, 울산, 서울 등 6개 지역이 전체 배출량의 67.6%를 차지하고 있다.

이들 온실가스 다배출 지역의 부문별 온실가스 배출 비중은 차이를 보이는데, 전남(83%), 충남(77.8%), 경북(72.3%), 울산(85.8%)은 산업부문 배출량 비중이 절대적으로 높은 반면 서울시는 상업·공공, 가정 등 건물 부문 배출량이 압도적으로 많고 경기도는 산업, 수송(도로), 건물 부문 배출량 비중이 비교적 고른 분포를 나타내었다. 온실가스 배출량 중 에너지 연료연소에 의한 배출 비중이 가장 높게 나타나 지역의 탄소중립을 위해서는 에너지전환이 핵심적인 과제임을 알 수 있다. 특히 광주(94.7%), 대전(93.2%), 대구(92.9%), 인천(92.9%), 서울(92.8%), 울산(91.7%) 등 대도시 지역은 에너지 부문 배출량이 90% 이상을 차지하여 국가(86.3%)보다 훨씬 높은 비중을 보이고 있다.

⁶⁾ 온실가스종합정보센터가 제공한 광역자치단체 온실가스 직접배출량과 간접배출량 자료를 사용하여 가공한 것으로 약간의 오차가 있을 수 있다.

〈그림 1〉 최종에너지 소비 기준 광역자치단체 2018년 온실가스 배출량 및 비중

(단위: 백만톤)



출처: 온실가스종합정보센터(2020). “광역자치단체 기준 지역별 온실가스 인벤토리(1990~2018)” 자료 재가공

일부 지역을 제외하고는 대부분의 지역에서 온실가스 배출은 증가하고 있으며, 충남은 2001년 대비 2018년 온실가스 총배출량이 169.5% 증가하여 증가 속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 반면 강원은 제조업 및 건설업, 광물산업 배출량이 다소 감소하여 2001년 대비 2018년 온실가스 총배출량이 0.8% 감소하였다.⁷⁾ 2001~2018년 동안 충남(169.5%), 제주(70.7%), 경기(81.6%) 등 3개 지자체는 국가 평균(41%)보다 온실가스 배출이 더 빠르게 증가하였다. 충남의 빠른 증가율은 산업부문 배출량 증가에 기인하는데(265.1%), 특히 산업공정에 의한 직접 배출량과 제조업 및 건설업의 직간접 배출량이 3배 이상 큰 폭으로 증가하였다. 제주는 상업·공공부문 증가율이 163.6%로 가장 높았으며, 특히 상업·공공부문 전력 및 열사용에 의한 간접 배출량 증가가 많았다. 경기는 상업·공공부문과 산업부문 증가율이 각각 130.8%, 109.6%로 높았다. 특히 산업공정에 의한 직접 배출량이 크게 증가하였으며, 제조업 및 건설업, 상업·공공부문 전력 및 열사용에 의한 간접배출량 증가도 많았다.

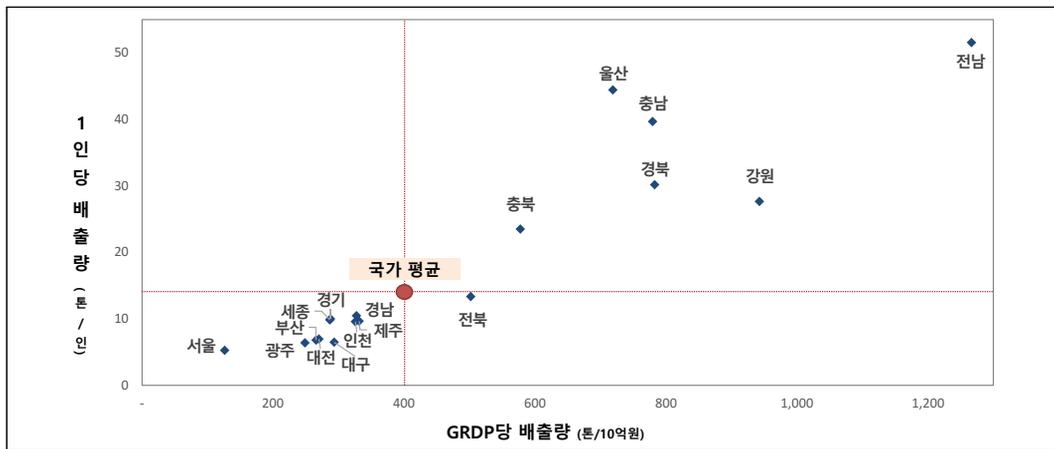
한편 서울·부산·대구·인천·광주·대전 등 대도시 지역은 전국 평균보다 배출량 증가 속도는 낮지만 총배출량은 계속 증가하고 있다. 서울은 2018년을 제외하면 2011년 이후 총배출량이 감소하는 추세이며, 2005년 대비 상업·공공, 폐기물 부문을 제외한 전 부문에서 배출량이 감소하였다.

7) 2018년 폭염으로 인한 에너지소비 증가가 온실가스 배출에 영향을 준 것을 고려할 때 배출량 감소 추세에 있던 일부 지역의 경우 2001년 대비 2018년 배출량 증가율이 전반적인 추세에 비해 높게 산정되었다. 한편 세종특별자치시는 2013년부터 자료가 존재하여 분석에서 제외하였다.

2) 1인당 배출량 및 온실가스 배출 효율성

2018년 기준 1인당 온실가스 배출량이 가장 많은 곳은 전남(51.6톤CO₂eq./인)으로 전국 평균 1인당 온실가스 배출량(14.1톤CO₂eq./인)의 약 3.7배 수준이다. 반면 서울시는 약 37% 수준인 5.3CO₂eq./인으로 두 지역 간에 10배 가까운 차이가 발생하고 있다. 산업부문 배출 비중이 높은 전남, 울산, 충남의 1인당 온실가스 배출량이 높은 반면 서울을 비롯한 특·광역시외의 1인당 배출량이 낮게 나타나고 있다.

〈그림 2〉 광역자치단체 1인당 온실가스 배출량 및 GRDP당 배출량(2018년)



출처: 온실가스종합정보센터(2020). “광역자치단체 기준 지역별 온실가스 인벤토리(1990~2018)” 자료 재가공

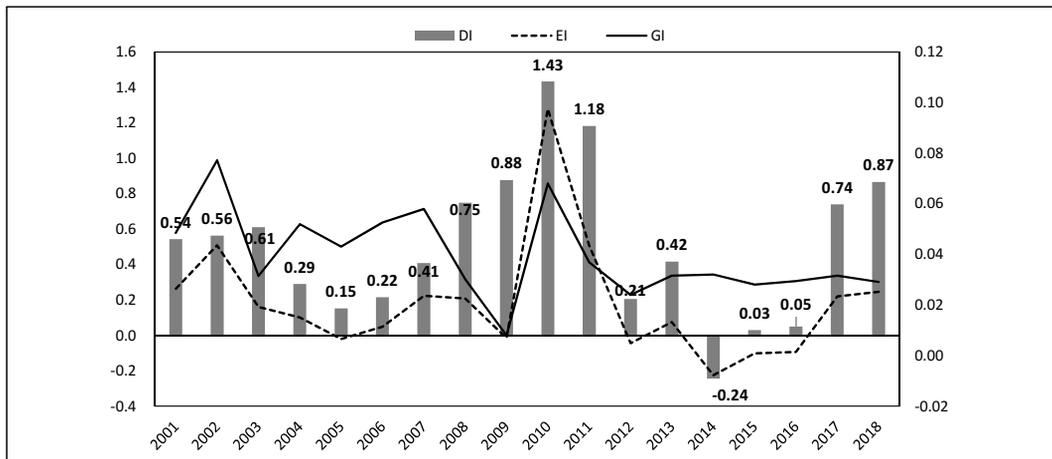
온실가스 배출 효율성을 나타내는 ‘지역내총생산(GRDP) 10억 원당 온실가스 배출량’은 서울이 가장 낮아 온실가스 배출 효율성이 가장 높았고(126.3톤CO₂eq./10억원), 다음으로 광주, 부산, 대전 순으로 나타나 대도시 지역이 1인당 온실가스 배출량이 낮고 효율성은 높은 특성을 보이고 있다. 전남, 강원, 경북, 충남, 울산, 충북, 전북은 국가 평균(402톤CO₂eq./10억원)보다 온실가스 배출 효율이 낮은 지역에 속하였다. 2018년 기준 각 지역별 GRDP당 온실가스 배출량과 1인당 배출량 사이에는 피어슨 상관계수가 0.92(p < 0.01)로 매우 높은 양의 상관관계가 존재하고 있다.

2. 탈동조화 분석

1) 연도별 단기 탈동조화 분석

UNEP(2011)의 탈동조화 지수(DI) 방법을 활용하여 연도별 지역별 단기 탈동조화 추세를 파악하였다. 광역자치단체의 탈동조화 지수를 분석하기에 앞서 연도별(2001~2018) 국가 탈동조화 지수(DI)를 분석하였다. 분석기간 동안 국가는 대체로 탈동조화 지수(DI)가 0.03~0.88 사이에 해당하여 온실가스 배출량 증가율(EI)이 상대적으로 GDP 증가율(GI)보다 낮은 상대적 탈동조화 단계인 것으로 나타났다. 다만 2009년 금융위기 이후 2010년, 2011년에는 온실가스 배출량 증가율(EI)이 GDP 증가율(GI)을 상회하여 탈동조화 지수(DI)가 각각 1.43, 1.18인 동조화 단계로 나타났다. 분석기간 동안 유일하게 2014년에 탈동조화 지수(DI)가 -0.24로 음의 값으로 나타나 온실가스 배출량은 감소한 반면 GDP는 증가한 절대적 탈동조화 단계에 해당하였다. 2015년과 2016년에도 탈동조화 지수(DI)가 0에 가까운 0.03~0.05 수준을 유지하였으나 2017년과 2018년에 다시 탈동조화 지수(DI)가 각각 0.74, 0.87까지 증가하였다.

〈그림 3〉 국가 연도별 탈동조화 지수(DI) 변화 추이(2001~2018년)



같은 기간 동안 광역자치단체도 국가와 마찬가지로 대부분 지역에서 2010년에는 동조화 현상이, 2014년에는 절대적 탈동조화 현상이 나타났으나 이외 연도에서는 지역별로 탈동조화 지수(DI) 추이가 다르게 나타났다. 국가는 2014년에 유일하게 절대적 탈동조화가 발생하

였으나 서울, 울산, 강원 등에서는 절대적 탈동조화 현상이 8개년 이상으로 나타나 동조화 현상보다 빈번하였다. 서울시의 탈동조화 지수(DI)는 -4.94~2.44의 분포를 보였으며, 2003년(-1.24), 2005년(-0.53) 2006년(-0.09), 2008년(-1.43), 2012년(-4.94), 2013년(-1.67), 2014년(-3.34), 2017년(-0.04) 총 8개 연도에서 탈동조화 지수(DI)가 0보다 작은 절대적 탈동조화 현상이 나타났다. 국가와 마찬가지로 2009년 금융위기 전후로는 동조화 현상이 나타났고, 2015년 이후로는 대체로 상대적 탈동조화 현상을 나타내고 있다. 산업부문 배출량 비중이 높은 울산의 탈동조화 지수(DI)는 -40.59~4.76으로 연도별 편차가 컸으나, 총 12개 연도에서 절대적 탈동조화 현상이 나타났고 강원도의 탈동조화 지수(DI)는 -4.53~3.13의 분포를 보이며 총 9개 연도에서 절대적 탈동조화 현상이 발생하였다.

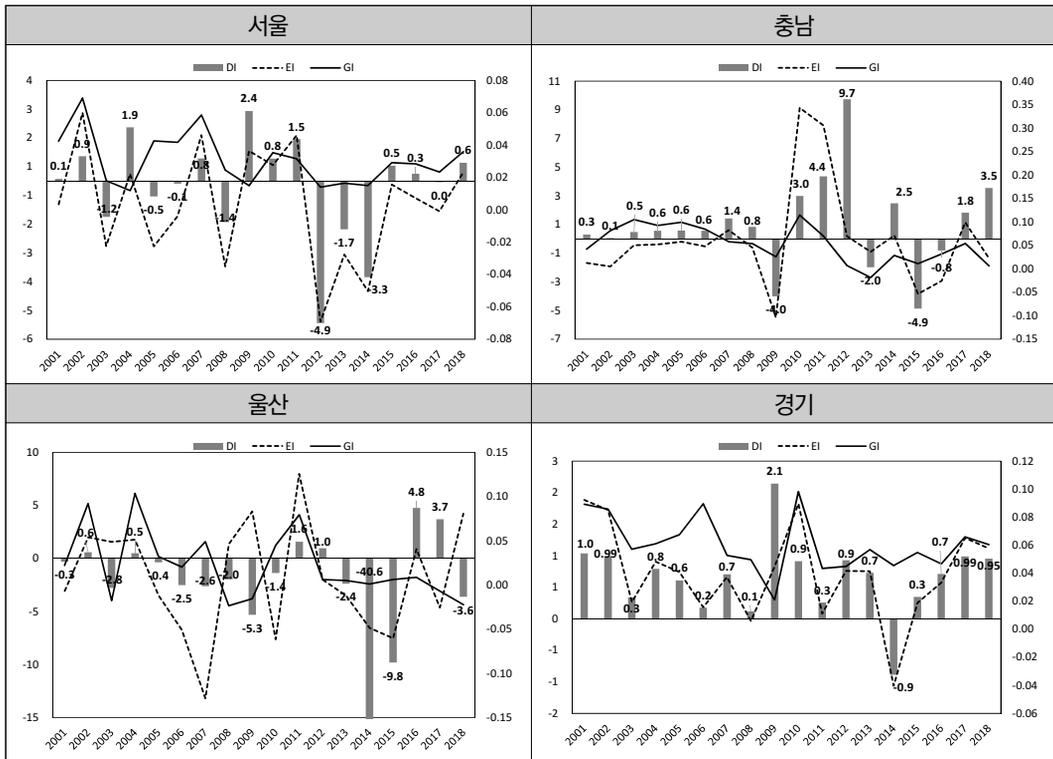
〈표 1〉 연도별 광역자치단체 탈동조화 지수(DI) 분석 결과(2001~2018년)

구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	전국
2001	0.08	0.50	-1.84	0.97	1.80	-0.32	-0.31	1.04	1.73	1.18	0.30	0.40	1.17	0.75	-0.99	0.90	0.54
2002	0.87	1.31	0.55	0.46	0.46	0.34	0.59	0.99	1.37	1.23	0.06	0.17	0.75	0.23	0.51	-0.17	0.56
2003	-1.24	-0.43	-1.41	0.83	-0.10	0.58	-2.77	0.34	0.94	0.98	0.48	-0.56	2.82	0.09	-0.10	1.32	0.61
2004	1.87	-0.83	0.00	0.33	1.25	0.20	0.50	0.79	-3.93	-0.41	0.57	0.41	0.09	0.46	0.61	-0.51	0.29
2005	-0.53	-0.83	-0.74	0.47	-0.15	-0.24	-0.36	0.60	-4.48	3.54	0.58	-0.71	3.63	0.04	0.52	-4.62	0.15
2006	-0.09	0.66	0.12	-0.03	-0.12	1.69	-2.52	0.17	-0.12	0.01	0.57	0.35	1.09	0.64	0.62	-0.67	0.22
2007	0.79	0.30	0.23	0.38	1.46	1.08	-2.62	0.71	1.15	1.70	1.43	0.18	-0.42	0.98	0.14	0.01	0.41
2008	-1.43	0.44	0.89	0.73	1.27	1.01	-1.97	0.12	0.53	0.50	0.84	0.26	4.20	1.69	1.25	-0.53	0.75
2009	2.44	0.04	-0.32	-8.19	-2.05	-0.14	-5.32	2.14	-4.53	-0.24	-4.00	3.06	8.03	1.55	0.90	1.12	0.88
2010	0.78	2.16	1.42	0.40	0.78	0.67	-1.37	0.91	0.26	0.69	3.00	1.97	1.72	2.07	1.18	8.60	1.43
2011	1.46	-1.23	0.32	-1.21	0.73	0.78	1.58	0.26	3.13	0.06	4.36	1.14	-1.74	-1.65	0.57	0.03	1.18
2012	-4.94	0.18	-0.37	0.91	1.58	1.42	0.96	0.93	-2.48	0.53	9.73	-2.88	-2.18	-0.32	0.19	-0.21	0.21
2013	-1.67	-1.65	0.02	1.58	1.37	1.24	-2.38	0.73	-0.18	0.93	-1.98	0.09	-0.22	0.30	-2.23	1.52	0.42
2014	-3.34	-1.00	-2.02	-1.21	-1.76	-1.30	-40.59	-0.89	-0.12	-0.81	2.48	-1.14	-62.02	0.47	-4.71	-0.04	-0.24
2015	0.53	1.26	0.15	1.49	0.17	0.75	-9.82	0.34	-0.08	0.31	-4.86	1.52	2.66	0.00	-0.08	1.21	0.03
2016	0.25	-0.09	151.13	-0.44	0.06	0.24	4.76	0.71	0.21	0.77	-0.81	-3.01	-1.52	-1.10	-1.24	1.41	0.05
2017	-0.04	-2.17	-1.08	0.35	-0.67	-2.83	3.70	0.99	-0.38	-0.10	1.82	0.89	3.35	1.00	-2.99	0.28	0.74
2018	0.64	4.15	0.62	5.42	0.97	6.45	-3.63	0.95	0.53	0.28	3.55	2.82	-0.98	0.00	-3.90	-6.83	0.87

상대적으로 동조화 현상이 빈번하게 나타난 대표적인 지역으로는 충남과 전남을 들 수 있다. 충남의 탈동조화 지수(DI)는 -4.86~9.73의 분포를 보이며, 2007년(1.43), 2010년(3), 2011년(4.36), 2012년(9.73), 2014년(2.48), 2017년(1.82), 2018년(3.55) 총 7개 연도에서 탈동조화 지수(DI)가 1보다 큰 동조화 현상을 보였다. 전남은 절대적 탈동조화 현상과 동조화

현상이 동시에 높은 빈도수를 나타내었으며, 동조화 현상이 9개 연도에 걸쳐 나타났다. 절대적 탈동조화 빈도가 가장 낮은 경기도는 2014년에만 절대적 탈동조화 현상이 나타났으며, 대부분 상대적 탈동조화 현상을 나타내 국가와 유사한 패턴을 나타내었다.

〈그림 4〉 주요 지역별 탈동조화 지수(DI) 변화 추이(2001~2018년)



2) 기간별 지역의 탈동조화 변화

먼저 전체 분석 기간(2001~2018년) 동안 지역별 온실가스 배출량과 GRDP의 탈동조화 관계를 분석한 결과 강원도만 유일하게 탄력성이 음(-)으로 절대적 탈동조화(Decoupling) 단계로 나타났으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 앞서 연도별로 탈동조화 현상이 빈번하게 나타났던 서울(0.01)과 울산(0.04)은 탄력성이 '0'에 가깝게 도출되어 상대적 탈동조화 단계에 속하였으나 마찬가지로 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 강원, 서울, 울산을 제외한 모든 지자체의 탄력성은 통계적으로 유의한 수준으로 대구(0.19), 부산(0.22), 충북(0.31), 인천(0.53)은 국가(0.55) 탄력성보다 낮았고 상대적 탈동조화 단계로 나타났다. 그다음 전북

(0.568), 경기(0.574), 경남(0.59), 경북(0.6107), 대전(0.6114), 광주(0.63), 제주(0.75), 전남(0.97) 순으로 탄력성이 높게 도출되었으나 '1'보다는 작아 상대적 탈동조화 단계에 해당하였다. 한편 충남은 유일하게 탄력성이 1.29로 GRDP가 1% 증가할 때, 온실가스 배출량은 1.29% 증가하는 동조화 단계에 속한 것으로 나타났다.

〈표 2〉 2001~2018년 지역별 온실가스 배출량 탈동조화 분석 결과

지역	탄력성(β)	t값(유의수준)	탈동조화 구분
강원	-0.05	-1.06 (0.31)	절대적 탈동조화($\beta < 0$) GRDP가 증가할 때, 배출량은 감소
서울	0.01	0.13 (0.90)	
울산	0.04	0.30 (0.77)	상대적 탈동조화($0 < \beta < 1$) GRDP 증가율 > 배출량 증가율
대구	0.19 **	3.17 (0.01)	
부산	0.22 ***	3.48 (0.00)	
충북	0.31 ***	11.53 (0.00)	
경남	0.53 ***	11.28 (0.00)	
전북	0.57 ***	10.55 (0.00)	
인천	0.57 ***	28.02 (0.00)	
대전	0.59 ***	19.40 (0.00)	
경북	0.61 ***	12.64 (0.00)	
경기	0.61 ***	19.07 (0.00)	
광주	0.63 ***	10.69 (0.00)	
제주	0.75 ***	14.07 (0.00)	
전남	0.97 ***	15.24 (0.00)	
충남	1.29 ***	10.11 (0.00)	동조화($\beta > 1$) GRDP 증가율 < 배출량 증가율

** p<0.05, *** p<0.01

분석 대상 기간을 10년 단위(2001~2010년, 2011~2018년)로 구분하여 기간별 탈동조화 변화를 분석하였다. 2001~2010년 동안 강원(-0.16)과 울산(-0.12)이 절대적 탈동조화(Decoupling) 단계로 나타났으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 강원, 울산, 대구를 제외한 모든 지자체의 탄력성은 통계적으로 유의한 수준이었는데, 대도시인 대구(0.19), 서울(0.21), 부산(0.28)을 포함하여 충북(0.3), 전북(0.41), 제주(0.43)는 상대적 탈동조화 단계로 국가(0.553) 탄력성보다 낮았다. 그다음 인천(0.57), 경기(0.58), 경남(0.59), 경북(0.60), 광주(0.60), 대전(0.65), 충남(0.66), 전남(0.8) 순으로 탄력성이 높게 도출되었으나 '1'보다는 작아 상대적 탈동조화 단계에 해당하였다.

2010년 이후 최근 8년 동안(2011~2018년) 제주, 충남을 제외한 대부분 지역에서 탈동조화 경향이 강화되는 추세를 보였다. 특히 울산, 경남, 대구, 서울, 강원, 부산 등 6개 지역은 GRDP가 증가할 때 배출량은 감소하는 절대적 탈동조화 단계에 속하였다. 탈동조화 현상이 가장 강한 울산(-3.63)은 GRDP가 1% 증가할 때 온실가스 배출량은 3.62% 감소하는 것으로 나타났고, 그다음으로 경남(-0.63)은 GRDP가 1% 증가할 때 온실가스 배출량은 0.63% 감소하는 것으로 나타났다. 서울(-0.47), 부산(-0.18)의 경우 GRDP가 증가할 때 배출량이 감소하는 절대적 탈동조화 현상을 보였지만 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 상대적 탈동조화에 속한 대부분 지역에서도 이전에 비해 탄력성 수치가 낮아져 탈동조화 현상이 강화되고 있음을 알 수 있다.

반면 충남과 제주는 상대적 탈동조화이긴 하지만 이전보다 탄력성이 오히려 증가하여 다른 지역과 다른 특성을 보이고 있다. 전체 분석 기간 중 유일하게 동조화 현상이 나타난 충남의 경우 탄력성이 2001~2010년 0.66에서 2011~2018년 0.98로 증가하여 동조화 단계 기준인 '1'에 가까워졌으며, 제주 역시 0.43에서 0.88로 높아져 GRDP가 1% 증가할 때, 온실가스 배출량은 0.88% 증가하는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 지역별 2001~2010년 및 2011~2018년 탈동조화 비교

2001~2010년				2011~2018년			
지역	탄력성(β)	t값(유의수준)	탈동조화 구분	지역	탄력성(β)	t값(유의수준)	탈동조화 구분
강원	-0.16	-1.25 (0.25)	절대적 탈동조화 ($\beta < 0$)	울산	-3.62 **	-2.83 (0.03)	절대적 탈동조화 ($\beta < 0$)
울산	-0.12	-0.49 (0.64)		경남	-0.63 **	-3.30 (0.02)	
대구	0.19	1.45 (0.19)		대구	-0.47 ***	-4.88 (0.00)	
서울	0.21 **	2.99 (0.02)		서울	-0.47	-1.63 (0.15)	
부산	0.28 *	1.92 (0.09)		강원	-0.22 **	-2.55 (0.04)	
충북	0.30 **	3.34 (0.01)		부산	-0.18	-0.99 (0.36)	
전북	0.41 ***	3.86 (0.005)	광주	0.03	0.19 (0.85)	상대적 탈동조화 ($0 < \beta < 1$)	
제주	0.43 *	2.24 (0.06)	인천	0.19	1.43 (0.20)		
인천	0.57 ***	5.32 (0.00)	경북	0.22	1.58 (0.17)		
경기	0.58 ***	15.40 (0.00)	충북	0.25 ***	5.13 (0.00)		
경남	0.59 ***	12.09 (0.00)	전북	0.27	0.90 (0.40)		
경북	0.60 ***	5.68 (0.00)	전남	0.29	1.29 (0.24)		
광주	0.60 ***	5.37 (0.00)	대전	0.29 *	1.99 (0.09)		
대전	0.65 ***	10.98 (0.00)	경기	0.49 ***	5.40 (0.00)		
충남	0.66 ***	7.34 (0.00)	제주	0.88 ***	8.25 (0.00)		
전남	0.80 ***	7.98 (0.00)	충남	0.98 **	2.52 (0.045)		

** p<0.05, *** p<0.01

3) 탈동조화에 영향을 미치는 요인

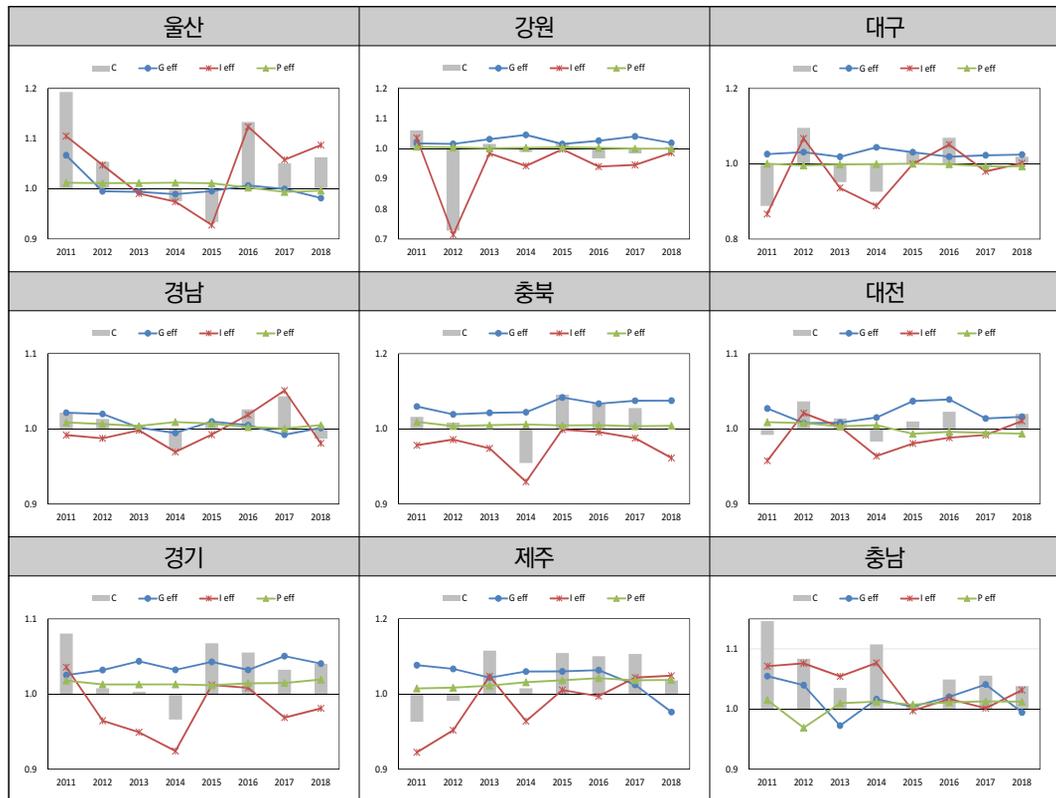
탈동조화 현상이 확대되는 추세를 보인 2011~2018년 기간을 대상으로 1인당 GRDP, 인구, 에너지 집약도의 변화를 보면 1인당 GRDP는 2011년 대비 2018년에 울산은 제외한 모든 지역에서 증가하였고, 인구는 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전 등 6개 도시지역에서는 감소하였으며 그 외 지역에서는 모두 인구가 증가하였다. 에너지 집약도는 전북, 인천, 울산, 충남을 제외한 대부분 지역에서 개선이 되었으며, 강원, 충북, 서울, 경기, 광주 등에서는 10% 이상 에너지효율이 개선되었다.

지역별로는 온실가스 배출량의 증가 혹은 감소 추세가 고르지 않고, 온실가스 배출량 변화에 미치는 요인 효과도 다르게 나타났다. 2011~2018년 기간 동안 절대적 탈동조화 단계로 통계적 유의성이 나타난 4개 지역(울산, 경남, 대구, 강원)을 보면, 먼저 울산은 2011년과 2016년을 제외하고 1인당 GRDP 감소에 의한 (-)효과가 나타났으며, 2013~2015년에는 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 함께 나타나 온실가스 배출량을 감소시키는 요인으로 작용하였다. 대구의 경우 1인당 GRDP 증가에 의한 (+)효과는 지속된 반면 에너지 집약도 개선과 인구 감소에 의한 (-)효과가 대부분 연도에 걸쳐 함께 나타났다. 2011년에는 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 가장 크게 작용하여 온실가스 배출량을 감소시킨 요인으로 나타났고, 2012~2014년 동안에는 에너지 집약도 개선 및 인구 감소에 의한 (-)효과가 1인당 GRDP 증가에 의한 (+)효과를 상쇄하여 온실가스 배출량을 감소시킨 요인으로 나타났다. 강원과 경남은 대체로 1인당 GRDP 증가와 인구 증가에 의한 (+)효과가 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과와 함께 나타났으며 마찬가지로 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 1인당 GRDP 증가 및 인구 증가에 의한 (+)효과보다 커서 온실가스 배출량 감소를 견인하는데 주된 요인으로 작용하였다.

상대적 탈동조화로 나타난 5개 지역(충북, 대전, 경기, 제주, 충남) 중 충북과 경기는 1인당 GRDP 증가 및 인구 증가에 의한 (+)효과와 함께 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 지속적으로 나타났으며, 충북은 2013~2014년, 경기는 2014년을 제외한 대부분의 연도에서 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 1인당 GRDP 증가 및 인구 증가에 의한 (+)효과에 의해 상쇄되어 온실가스 배출량 감소로 이어지지 못하는 못했다. 대전은 1인당 GRDP 증가로 인한 (+)효과가 지속되었고, 2014년 이후 에너지 집약도 개선 및 인구 감소로 인한 (-)효과가 함께 나타나 2011년과 2014년에는 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 1인당 GRDP 증가 및 인구 증가에 의한 (+)효과를 상쇄하였으며, 2017년에는 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과와 인구 감소 효과가 1인당 GRDP 증가로 인한 (+)효과를 상쇄하고 온실가스 배출량 감소를 견인하는데 주된 요인으로 작용하였다.

한편, 2001~2010년에 비해 탈동조화 현상이 약화되었던 제주는 2017년까지 1인당 GRDP 증가로 인한 (+)효과가 인구 증가 효과와 함께 지속적으로 나타났다. 2011~2012년에는 에너지 집약도 개선에 의한 (-)효과가 1인당 GRDP 증가 및 인구 증가에 의한 (+)효과를 상쇄하여 온실가스 배출량 감소에 기여하였으나 이후에는 그 효과가 크지 않았다. 충남의 경우 대부분의 연도에서 1인당 GRDP 증가, 인구 증가, 에너지 집약도 증가에 의한 (+)효과가 온실가스 배출에 기여한 것으로 나타났다.

〈그림 5〉 주요 지역의 탈동조화에 대한 지수분해분석



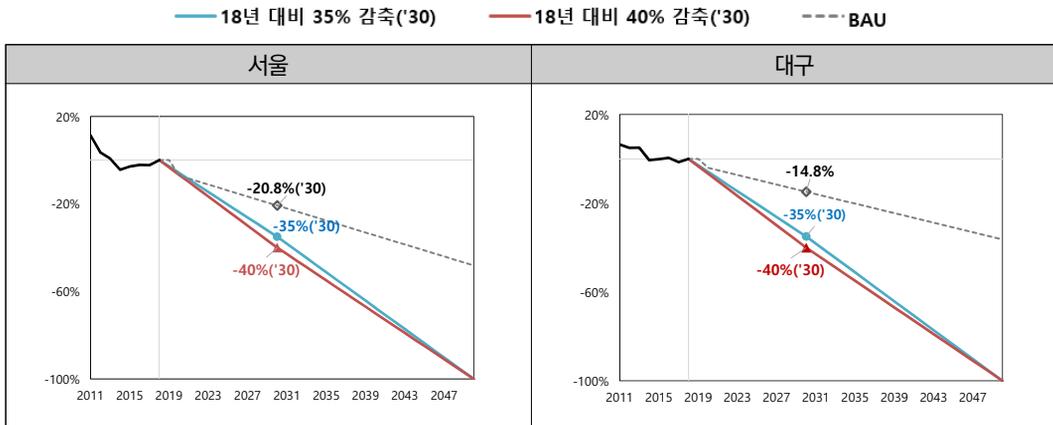
3. 시사점

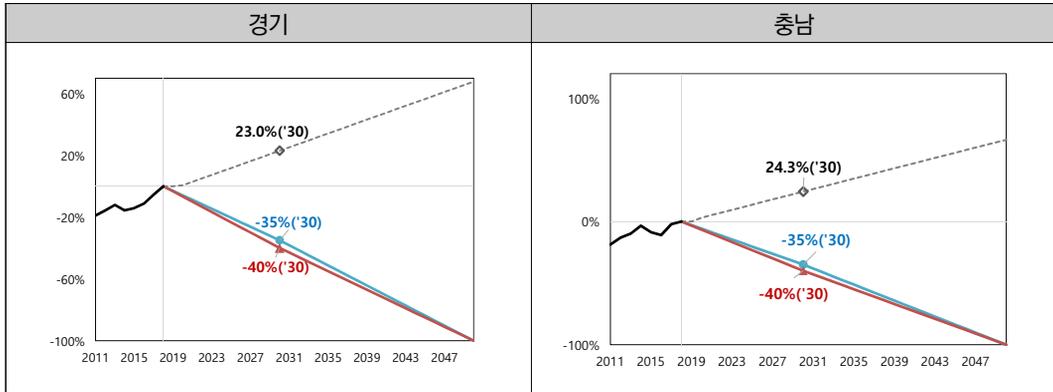
분석 결과 광역자치단체의 온실가스 배출과 경제성장의 관계를 나타내는 탈동조화 지수는 시간의 변화에 따라 전반적으로 개선되는 추세를 보였으며, 에너지 집약도 개선 효과가 주요

요인으로 나타나 선행연구와 일치된 결과를 나타내었다. 하지만 지역별 탈동조화 수준에는 편차가 있으며, 기간별로도 다른 양상을 띠고 있다. 2001~2018년 동안 절대적 탈동조화 현상을 보인 강원 및 동조화 단계로 나타난 충남을 제외하고는 대부분 지역이 상대적 탈동조화 현상을 나타내었다. 기간을 2001~2010년, 2011~2018년으로 구분했을 때 절대적 탈동조화 현상을 보인 지역은 2개에서 6개로 증가하였고, 상대적 탈동조화 지역은 14개에서 8개로 감소하였다. 하지만 제주와 충남의 경우 양 기간 모두 상대적 탈동조화 그룹에 속해 있긴 하지만 시간이 지나면서 오히려 탄력성 지수가 증가하여 동조화 경향을 나타냈다.

국가 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 NDC 상향을 논의하는 과정에서 논쟁이 되었던 중요한 이슈는 국제사회가 요구하는 수준의 감축 책임에 관한 것이었다. IPCC 1.5도 특별보고서가 권고한 2010년 대비 45% 이상 감축 요구에 대해 다른 한편에서는 선진국과 우리나라는 온실가스 배출 정점과 경로가 다르므로 이러한 차이를 반영한 목표 설정이 필요하다고 주장하였다. 경제성장을 유지하면서도 온실가스가 감소 추세인 선진국과 달리 상대적 탈동조화 단계에 있는 우리나라의 감축 여건과 경로는 달라질 수밖에 없기 때문이다. 이러한 논쟁은 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 지역별 감축 경로 설정과 연장선에 있다. 국가 2050 탄소중립 시나리오 수립을 위한 지자체 의견수렴 과정에서도 국가와 지자체 간 목표의 연계를 위해 지역별 온실가스 배출 특성과 경로를 반영한 감축 경로와 전략의 필요성이 강조되었다(고재경, 2021). 2030 NDC를 준용하여 지역마다 획일적인 감축목표를 적용할 경우 온실가스 배출 증가 속도가 빠른 지역은 온실가스가 감소 추세인 강한 탈동조화에 가까운 지역에 비해 감축 경로 기울기가 훨씬 가파르게 나타난다.

〈그림 6〉 주요 지자체 탄소중립 경로 단순 비교





특히 2018년 온실가스 배출 정점이 확인되지 않은 지역의 경우 온실가스 배출 전망치 (BAU)⁸⁾를 고려하면 지역 간 온실가스 감축 규모의 차이는 더 크게 나타날 수 있다. 온실가스 배출 효율성이 높아서 감축의 한계비용이 높고 감축의 절대적 규모가 큰 지역의 경우 비용부담이 더 높아질 가능성이 있다. 기존 연구에서도 탄소세와 같은 획일적인 규제보다는 배출권 거래제와 같이 지역별 상이한 온실가스 감축 비용을 고려한 시장메커니즘 기반 정책수단이 비용효과적으로 국가 감축목표를 달성할 수 있는 것으로 나타났다(김수이·조경엽·노동운, 2010;김재현·정기호, 2011). 그러나 수도권에서 비수도권으로 감축 부담의 전가가 이루어질 수 있으므로 형평성 측면의 추가적인 대책이 필요하다.

이러한 전략적 접근도 지자체 감축목표를 국가 전략과 통합하는 전략적 틀이 분명하게 제시되어야 가능하다(Evans, 2020). 국가 온실가스 감축목표에 맞추어 지역에 감축의무를 할당하는 것은 복잡한 논의 과정을 거쳐야 하지만 탄소중립을 위한 지역의 역할과 책임성을 높이기 위해서는 중앙정부가 장기적인 정책목표와 방향을 명확히 설정하고 이행 수단을 마련해 나갈 필요가 있다. 중앙정부와 지자체 간 역할과 협력 영역을 조정하고 불확실성을 줄일 수 있는 지침과 정책을 개발하며, 지역의 탄소중립 대응 역량 강화를 위한 투자와 지원을 통해 중앙정부와 지역, 그리고 지역 간 격차를 완화하는 것이 중요하다(Tingey and Webb, 2020;Linton and Tozer, 2021;김하나·박훈, 2017). 또한 탄소중립 목표 달성을 위해 지역 수준에서의 감축이 어떻게 실행되고 있는지를 평가하고 모니터링하는 일관된 보고체계와 정보 공유를 위한 플랫폼 구축은 온실가스 감축에 대한 지자체의 책임성과 투명성을 높이는 동시에 지역 간 공동의 노력을 확산하는데 기여할 수 있다.

특히 국가 목표와 일관되고 협력적인 지방자치단체 계획과 실행을 위한 메커니즘을 설계하

8) 배출량 전망치는 지역 간 비교를 위해 지역별 2011~2018년 온실가스 배출량 증감을 반영하여 선형 추세선을 도출하였다(배출량(y) = ax + b)

여 적정 수준의 자금 지원과 감축 책임에 부합한 권한을 부여할 필요가 있다. 지역의 여건과 특성을 고려한 혁신적인 맞춤형 전략 발굴과 주민체감형 정책 시행을 장려하면서 국가 목표와의 정합성을 높이는 방향으로 유도하기 위해서는 권한과 책임이 동시에 주어져야 한다. 에너지분권에 대한 요구가 높아지고 있지만 지자체마다 온실가스 감축 경로와 역량이 다른 점을 고려할 때 획일적인 접근보다는 선도적인 지자체에 대해서 온실가스 감축 관련 권한을 차별적으로 이양하여 자율성을 부여하는 유연한 접근이 바람직하다. 영국에서도 지자체는 중앙정부와의 협약을 통해 권한과 자율성을 부여받고 탄소중립 이행 성과에 따라 협약의 지속 여부를 결정하는 기후자유(Climate Freedom) 개념이 제안된 바 있다(Evans, 2020).

한편 16개 시·도 탈동조화 수준의 차이에도 불구하고 공통적으로 에너지 집약도 개선은 지역경제를 희생하지 않으면서 온실가스 배출을 줄이는 중요한 요인으로 나타났다. 지역 차원에서 에너지집약도의 개선은 두 가지로 접근할 수 있는데, 먼저 에너지 수요관리를 통해 에너지 소비를 최대한 줄이고, 그다음으로 필요한 에너지를 재생에너지로 공급하는 것이다. 특히 탄소중립은 모든 부문의 에너지를 전기화하고 청정에너지로 전력을 공급하는 전력의 탈탄소화를 통해 가능하기 때문에 재생에너지가 중요한 역할을 담당하게 된다(2050 탄소중립위원회, 2021).

에너지 수요관리의 핵심인 에너지 가격체계의 개편은 지방자치단체가 접근하기에 한계가 있다. 하지만 에너지 효율 개선 사업에 대한 용자, 보조금 등의 인센티브 정책은 지역에서도 시행할 수 있으며, 분권화가 수반될 경우 에너지성능기준, 건물에너지총량제와 같은 보다 강력한 규제 수단 적용도 가능할 것이다. 특히 인구밀도가 높고 서비스업 중심의 산업구조를 가진 대도시는 건물과 수송부문 온실가스 배출 비중이 높고 재생에너지 설치 부지 활용에 상대적으로 제약이 있는 만큼 건물의 그린리모델링, 녹색교통 체계, 탄소중립 녹색도시 설계와 토지이용 등을 적극적으로 추진할 필요가 있으며(동아현·강정은, 2020; 정민선외, 2015; 박찬외, 2013; 장재민, 2017), 이러한 도시환경 인프라 개선 투자는 시민의 삶의 질을 높이고 지역에 일자리를 창출하는 효과가 있다(김성욱·고재경, 2012). 또한 수요관리의 특성상 단기간에 성과를 거두기 어렵고 효율 개선으로 에너지 비용이 감소하면 에너지 소비를 늘리는 반등효과가 발생할 수 있으므로, 지속적인 교육·홍보를 통해 시민참여와 실천을 유도해 나가야 한다(배정환외, 2017; 진상현, 2008). 다른 한편으로 충남, 경기도와 같이 제조업 비중이 높으면서 탈동조화 경향이 상대적으로 약한 지역의 경우에는 산업구조 전환과 산업부문의 저탄소화 투자를 통해 중장기적으로 녹색생산성을 높이는 것이 중요한 과제이다(진상현·정경화, 2013; 서형준·이형석, 2019; 차경엽·신기열, 2021; 반영운외, 2014).

선진국과 비교할 때 아직까지 우리나라 재생에너지 비중은 턱없이 낮은 수준이며, 이에 따라 재생에너지 확대가 지역내 총생산 증가에는 기여하지만 에너지 소비와 온실가스 배출량

저감에는 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나고 있다(이재석외, 2021). 재생에너지는 지역의 자원을 활용하여 에너지가 소비되는 가까이에서 에너지를 생산하는 분산형 에너지로서 특징을 가지고 있어서 의사결정에 있어 지방자치단체의 역할과 영향력이 커질 수밖에 없다. 인허가 관련 각종 비용 및 이격거리 규제 개선, 자가소비용 재생에너지에 대한 인센티브 강화, 주민참여 활성화, 민관 거버넌스, 정보제공 및 소통을 위한 지원 시스템 구축 등을 통해 주민수용성을 확보하고 재생에너지 확대를 위한 지자체의 책임과 권한을 확대해 나가야 한다(조상민·이석호, 2018; 이상훈·윤성권, 2015; 고재경·권오현, 2019). 중앙정부 차원에서도 분산형 에너지 시스템을 지원하는 방향으로 기존의 규제, 제도, 시장, 거버넌스를 개선할 필요가 있다.

V. 결론

지역 주도 탄소중립이 강조되는 시점에서 본 연구는 기후변화 논의에서 중요한 의제인 탈동조화가 지역별로 어떤 차이를 보이는지를 분석하고 이를 토대로 지역의 온실가스 배출 특성과 여건을 고려한 차별화된 감축 경로 설계의 필요성을 제시하였다. 「기후위기 대응 탄소중립·녹색성장 기본법」에 의해 지자체 탄소중립 계획 수립 및 이행에 대한 법적 기반이 갖추어진 상태이지만, 지자체가 대내외적인 다양한 요인과 제약조건, 정치적 리더십 변수를 넘어서서 일관성과 책임성을 가지고 탄소중립을 추진할 역량과 인프라를 갖추었는지에 대해서는 의문이 제기되고 있다. 탄소중립의 지역적 맥락에 대한 진단과 분석 없이 획일적인 목표를 설정할 경우 실행과 성과 측정이 모호해지고(Sachdeva et al., 2021), 국가 전체적으로도 비효율성을 초래할 수 있다(Evans, 2020:7).

분석 결과에서도 나타났듯이 전반적으로 지역의 탈동조화가 개선되는 추세에 있으나 지역별로는 차이가 발생하고 있다. 지역의 참여와 협력을 토대로 국가 목표를 비용효과적으로 달성하기 위해서는 지역의 온실가스 배출 특성을 고려한 전략과 정책 방향을 명확히 설정하고 목표의 정합성 및 이행에 대한 책임성을 확보할 수 있는 수단이 필요하다. 지자체는 기후위기 대응의 시급성을 고려하되 온실가스 배출 및 감축 여건, 탄소중립이 지역에 미치는 긍정적, 부정적 영향 분석과 미래사회 여건 변화를 반영하여 지속가능한 목표와 경로를 설계하여야 한다. 탄소중립에 대한 지자체의 책임성은 매우 중요한 이슈이지만 이에 대한 구체적인 정책 방향과 이해는 부족한 실정이다(Quayle et al., 2020). 대부분 기후변화 대응이 정치적 리더십과 지역의 수요에 대응하여 이루어지는 경우가 많고 이는 불확실성을 키우는 요인이 되기도 한다.

본 연구는 지역의 특성을 고려하여 에너지 생산 기준의 온실가스 총배출량이 아닌 최종에너지 소비 기준의 총배출량을 산정하고 광역자치단체 수준에서 탈동조화 추이와 지역 간 차이를 분석한 연구로서 의미가 있다. 하지만 초기 연구로서 몇 가지 한계를 안고 있다. 탈동조화 지수에 대한 검증은 수행하였지만 탈동조화 분석 기간에 따라 특정 지역에서는 탈동조화 단계의 차이가 발생하였다. 이는 지역뿐 아니라 국가 단위에서도 발생하는 문제로 향후 이에 대한 연구가 필요하다. 또한 지역에서 온실가스 감축정책이 본격적으로 추진된 것은 2010년 전후이며 분석 결과에서도 2011년 이후 지방자치단체의 탈동조화 경향이 개선되는 추세로 나타나고 있으나 중앙집중형 에너지정책과 시스템 하에서 지역의 온실가스 감축 정책이 탈동조화에 얼마나 기여했는지에 대해서는 중장기적인 관점에서 분석이 이루어져야 할 것이다. 특히 탈동조화에 영향을 미치는 중요한 요인은 에너지 집약도 개선 효과인데, 최종에너지 소비 기준으로 온실가스 배출량을 산정할 때 열과 전력의 온실가스 배출계수는 동일한 수치를 적용하게 되므로 지역의 에너지집약도 개선 효과 중 상당 부분은 중앙정부에 의한 전환부문의 에너지믹스 개선 효과가 혼재되어 있다. 지역에서 에너지 수요관리 정책이 정착되지 못하고 있고 재생에너지 보급이 확대되고 있지만 아직 이러한 효과가 반영되기에는 한계가 있다. 탄소중립의 핵심 수단은 에너지소비 감소와 재생에너지에 의한 전력화이며, 이는 탄소중립을 위한 지자체의 역할이 강조되는 이유이다. 앞으로 재생에너지 보급 확대에 따라 이러한 추세가 지역의 탈동조화에 미치는 영향력도 증가할 것으로 보인다.

【참고문헌】

- 2050 탄소중립위원회. (2021). 「2050 탄소중립 시나리오」.
- 고재경. (2018). 정책통합 관점에서 본 지방자치단체 기후변화정책 변화 연구. 「IDI 도시연구」, 14: 7-47.
- 고재경. (2021). 「탄소중립과 지방정부의 역할」. 서울대학교 국가전략위원회 제20회 국가정책포럼 발표자료.
- 고재경·권오현. (2019). 경기도 공동체 에너지 잠재량 분석 및 정책적 시사점. 「GRI 연구논총」, 21: 231-258.
- 고재경·예민지. (2021). 지역의 탄소중립, 목표선언 넘어 실행이 중요!. 「이슈&진단」, 451, 경기: 경기연구원.
- 관계부처합동. (2020). 「2050 탄소중립」 추진전략.
- 관계부처합동. (2021). 「지역사회 탄소중립 이행 및 지원 방안」.
- 김근우·진보영·박중구. (2020). 한국의 경제성장, 전력소비, CO₂배출, 금융발전 간 인과관계 분석. 「산업경제연구」, 33(2): 511-532.
- 김대수·이상엽. (2019). 국내 온실가스 배출량과 경제성장 간 장단기 비동조화 분석. 「자원·환경경제연구」, 28(4): 583-615.
- 김동구·손인성. (2020). 「주요 제조업의 온실가스 배출 탈동조화 촉진 방안 연구」. 울산: 에너지경제연구원.
- 김성욱·고재경. (2012). 에스코 산업의 경제적 파급효과 분석: 온실가스 저감 및 생산고용효과를 중심으로. 「환경정책」, 20(1): 47-72.
- 김수아·조경엽·노동운. (2010). 국내 온실가스 감축정책의 지역별 효과 분석. 「한국경제연구」, 28(3): 29-57.
- 김재현·정기호. (2011). 온실가스 감축의 지역 간 격차 영향 분석. 「자원·환경경제연구」, 20(2): 199-228.
- 김하나·박훈. (2017). 지방자치단체의 에너지전환 및 기후변화대응 노력 현황 및 확산 방안에 대한 연구. 「GRI 연구논총」, 19(2): 201-230.
- 노건기·이중호·박중구. (2016). 한국의 경제성장, 전력소비, CO₂ 배출 간 인과관계 분석. 「신재생 에너지」, 12: 34-41.
- 노동운. (2011). 지역별 온실가스 감축 잠재량 및 감축비용 분석. 「지역개발연구」, 43(1): 27-48.
- 동아현·강정은. (2020). 효율성 분석을 활용한 지자체 에너지 소비에 영향을 미치는 도시특성 분석. 「국토계획」, 55(4): 131-145.

- 박민혁·노건기·이승은. (2016). 한국의 산업별 전력소비와 경제성장간 인과관계 분석. 「조명·전기설비학회논문지」, 30(3): 39-45.
- 박성훈·고재경. (2012). 국내 온실가스 감축과 지역별 할당. 「지역연구」, 28(1): 39-57.
- 박찬·김대근·성미애·서정현·설성희·홍유덕·이동근. (2013). 지자체 유형별 사회경제적 특성에 따른 온실가스 배출특성 분석. 「환경영향평가」, 22(3): 195-201.
- 반영운·정지형·주기훈·이태호. (2014). Fgi를 통한 산업단지 온실가스배출 감축전략 도출. 「한국지역개발학회지」, 26(3): 267-288.
- 배정환·김미정·정해영. (2017). 탄소은행제의 가정용 전력수요 절감 효과 분석. 「에너지경제연구」, 16(1): 95-118.
- 서형준·이형석. (2019). 16개 광역지자체 온실가스 배출 효율성에 대한 글로벌 매크로스트 분석. 「서울도시연구」, 20(1): 19-32.
- 온실가스종합정보센터. (2020). 「광역자치단체 기준 지역별 온실가스 인벤토리(1990~2018)」.
- 이상준. (2017). 「주요국의 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향과 시사점」. KERI Insight, 17-6, 울산: 에너지경제연구원.
- 이상훈·윤성권. (2015). 재생에너지 발전설비에 대한 주민 수용성 제고 방안. 「환경법과 정책」, 15: 33-66.
- 이연정·이윤정·윤성민. (2019). 비모수 분위수 인과관계 검정을 이용한 최종에너지 소비와 경제성장의 관계 분석. 「Journal of The Korean Data Analysis Society (JKDAS)」, 21(3): 1285-94.
- 이재석·이근대·유복근. (2021). 광역시·도별 자료를 이용한 에너지, 경제성장, 온실가스 배출 간의 관계 분석. 「자원·환경경제연구」, 30(3): 503-533.
- 임형우·조하현. (2019). 경제성장과 탄소배출량의 탈동조화 현상 분석: 63개국 동태패널분석 (1980~2014년). 「자원·환경경제연구」, 28(4): 497-526.
- 임형우·조하현. (2020). 교통부문 탄소배출 탈동조화 현상의 원인분석 및 에너지전환의 효과: OECD 25개국 패널분석. 「자원·환경경제연구」, 29(3): 389-418.
- 장재민. (2017). 통근시간을 활용한 지역별 승용차 감축에 대한 대중교통정책 방향의 연구. 「서울도시연구」, 18(2): 111-123.
- 정민선·조희선·변병설. (2015). 도시특성요소가 온실가스 배출에 미치는 영향 - 수도권 지역을 중심으로 -. 「국토지리학회지」, 49(3): 297-306.
- 조상민·이석호. (2018). 「지역별 경제성을 고려한 태양광 시장잠재량 산정 및 이행비용 분석」. 울산: 에너지경제연구원.
- 조용성. (2017). 전력산업의 온실가스 배출요인 분석 및 감축 방안 연구. 「기후변화학회지」, 8(4): 357-367.
- 조정환·강만옥. (2012). 한국의 전력소비와 경제성장의 인과관계 분석. 「자원환경경제연구」,

- 21(3): 573-593.
- 진상현. (2008). 에너지 효율개선 정책의 딜레마 : 시장의 실패, 정부의 실패 그리고 반등효과. 「환경논총」, 47: 125-139.
- 진상현·정경화. (2013). 지역별 온실가스 배출특성에 관한 연구. 「한국정책과학학회보」, 17(2): 1-26.
- 진태영·김도원. (2021). 산업부문 온실가스 탈동조화 변화요인 분석. 「환경정책」, 29(1): 101-127.
- 차경엽·신기열. (2021). 산업부문 에너지 수요관리 운영실태 분석 연구. 「에너지기후변화학회지」, 16(1): 89-101.
- 한국환경공단. (2017). 「지자체 온실가스 배출량 산정 지침」. 인천: 한국환경공단.
- Bhöwmik, D. (2019). Decoupling CO₂ Emissions in Nordic Countries: Panel Data Analysis. *SocioEconomic Challenges*, 2(2): 15-30.
- Chen, J. et al. (2018). Decomposition and Decoupling Analysis of CO₂ Emissions in OECD. *Applied Energy*, 231: 937-950.
- Cohen et al. (2018). *The Long-Run Decoupling of Emissions and Output: Evidence from the Largest Emitters*. Washington: IMF.
- Dai, Shuang, Ming Zhang and Wei Huang. (2016). Decomposing the Decoupling of CO₂ Emission from Economic Growth in BRICS Countries. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 84(2): 1055-1073.
- de Freitas, L. C. and S. Kaneko. (2011). Decomposing the Decoupling of CO₂ Emissions and Economic Growth in Brazil. *Ecological Economics*, 70(8): 1459-1469.
- Evans, L.M. (2020). *Local Authorities and the Sixth Carbon Budget. An Independent Report for the Climate Change Committee*. London: Climate Change Committee.
- Gudde, P., J. Oakes, P. Cochrane, N. Caldwell and N. Bury. (2021). The Role of UK Local Government in Delivering on Net Zero Carbon Commitments: You've Declared a Climate Emergency, So What's the Plan?. *Energy Policy*, 154: 11245.
- HM Government. (2021). *Local Government and Net Zero in England*. London: HM Government.
- Hsu, A., O. Widerberg, A. Weinfurter, S. Chan, M. Roelfsema, K. Lütkehermöller and F. Bakhtiari. (2018). *Bridging the Emissions Gap - The Role of Nonstate and Subnational Actors*. Nairobi: UNEP.
- Kang, W. et al. (2021). Decoupling of Carbon Emissions from Economic Growth: An Empirical Analysis Based on 264 Prefecture-Level Cities in China. *Chinese Journal of Urban & Environmental Studies*, 9(3): 1-14.
- Kuramochi, Takeshi et al. (2020). Beyond National Climate Action: the Impact of

- Region, City, and Business Commitments on Global Greenhouse Gas Emissions. *Climate Policy*, 20(3): 275-291.
- Linton, Samantha, Amelia Clarke and Laura Tozer. (2021). Strategies and Governance for Implementing Deep Decarbonization Plans at the Local Level. *Sustainability*, 13(154): 154.
- Luo, Y, X. Long, C. Wu and J. Zhang. (2017). Decoupling CO₂ Emissions from Economic Growth in Agricultural Sector across 30 Chinese Provinces from 1997 to 2014. *Journal of Cleaner Production*, 159: 220-228.
- Meng, D. et al. (2021). Decoupling Analysis of CO₂ Emissions in the Industrial Sector from Economic Growth in China. *Energies*, 14(16): 5099.
- Ning, Yadong et al. (2017). Analysis of Regional Decoupling Relationship between Energy-related CO₂ Emission and Economic Growth in China. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 87: 867-883.
- OECD. (2002). *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth*. Paris: OECD.
- Peng, Jiawen, Xianjin Huang, Taiyang Zhong, and Yuntai Zhao. (2011). Decoupling Analysis of Economic Growth and Energy Carbon Emissions in China. *Resources Science*, 33(4): 626-633.
- Quayle, B., N. Sciulli and E. Wilson-Evered. (2020). Accountable to Who, to Whom, for What and How? Unpacking Accountability in Local Government Response to Climate Change. *Australasian Accounting Business & Finance Journal*, 14(3): 56-74.
- REN21. (2021). *Renewables in Cities: 2021 Global Status Report*. Paris: REN21.
- Sachdeva, S., A. Hsu, I. French and E. Lim. (2021). *How are Cities Pledging Net Zero? A Computational Approach to Analyzing Subnational Climate Strategies*. North Carolina: Data Driven Envirolab.
- Tapio, Petri. (2005). Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport policy*, 12(2): 137-151.
- Tingey, M. and J. Webb. (2020). *Net Zero Localities: Ambition & Value in UK Local Authority Investment*. EnergyREV.
- UNEP. (2011). *Decoupling: Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. Nairobi: UNEP.

- Wang, Hong. (2011). Decoupling Measure between Economic Growth and Energy Consumption of China. *Energy Procedia*, 5: 2363-2367.
- Wang, W. et al. (2013) Decomposing the Decoupling of Energy-related CO₂ Emissions and Economic Growth in Jiangsu Province. *Energy for Sustainable Development*, 17(1): 62-71.
- Xie, P. et al. (2020). Influencing Factors of the Decoupling Relationship between CO₂ Emission and Economic Development in China's Power Industry. *Energy*, 209: 118341.
- Zheng, Lingxiao and Min Zhou. (2015). Decoupling and Driving Factors Analysis between the Relationship of Carbon Emissions and Economic Growth in China. *Journal of Industrial Technological Economics*, 34(9): 19-25.
- Net Zero Tracker. <https://eciu.net/netzerotracker>(검색일: 2021.11.08.).

고 재 경: 2001년 서울대학교 환경대학원에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 경기연구원 선임연구위원으로 재직 중이며, 주요 관심 분야는 기후변화, 거버넌스, 지속가능발전이다. 주요 논문으로는 “기초지자체 에너지정책 평가지표 개발에 관한 연구 : 경기도 시범적용을 중심으로”(2020) “공동체 에너지 시민참여와 확산은 어떻게 이루어지는가?: 재생에너지 협동조합을 중심으로”(2019), “지방자치단체 기후변화 적응 거버넌스 변화 연구”(2018) 등이 있다(kjk1020@gri.re.kr).

예 민 지: 2018년 서울대학교 환경대학원에서 도시계획학 석사학위를 받았다. 석사학위 논문제목은 “1인 가구 에너지 소비행태 분석”이다. 현재 경기연구원 연구원으로 재직 중이며, 관심분야는 기후변화-에너지 정책, 환경경제, 지속가능발전이다(ymj472@gri.re.kr).