

경제성장과 탄소배출량의 탈동조화 현상 분석: 63개국 동태패널분석(1980~2014년)[†]

임형우* · 조하현**

요약 : 2015년 파리협정 이후 전 세계가 온실가스 감축 의무를 부여받음에 따라 경제성장을 유지하며, 온실가스를 감축하는 ‘탈동조화(decoupling)’의 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 전 세계 63개 국가를 대상으로 1980년부터 2014년까지의 각 국가별 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 현상의 주요 특징 및 이를 야기하는 원인을 분석하였다. 본 연구에서는 매 5년마다의 탈동조화 정도를 국가별로 측정하였다. 분석 결과, OECD국가 및 소득이 많은 국가들의 탈동조화 지수가 높았으며, 2000년대 이후 전세계적으로 탈동조화 현상이 가속화되었음을 확인했다. 다만, 국가 특성에 따라 탈동조화 정도가 상이했다. 동태패널모형을 통해 탈동조화의 원인을 살펴본 결과, 제조업 성장률 및 수출비중은 탈동조화를 저해한 반면, 인적자본 및 신재생에너지 비율은 탈동조화에 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 소득은 탈동조화에 역U자형태의 영향을 미쳤다.

주제어 : 경제성장, 탄소배출량, 탈동조화(decoupling), 동태패널모형, 시스템 GMM

JEL 분류 : Q54, Q56

접수일(2019년 8월 13일), 수정일(2019년 10월 21일), 게재확정일(2019년 10월 29일)

[†] 심사과정에서 유익한 조언을 해 주신 세 분의 익명의 심사위원들에게 감사드립니다.

* 연세대학교 경제학부 박사과정, 제1저자(e-mail: hyungwoo.lim0206@gmail.com)

** 연세대학교 경제학부 정교수, 교신저자(e-mail: hahyunjo@hanmail.net)

Analysis of Decoupling Phenomenon Between Economic Growth and GHG Emissions: Dynamic Panel Analysis of 63 Countries (1980~2014)[†]

Hyungwoo Lim* and Ha-hyun Jo**

ABSTRACT : The importance of “decoupling” to maintain economic growth and reduce greenhouse gases is emerging as the world has been mandated to reduce greenhouse gases since the 2015 Paris Agreement. This study covered 63 countries from 1980 to 2014 and analyzed the main characteristics and causes of decoupling phenomenon between economic growth and carbon emissions. In this study, the degree of decoupling was measured every five years. The analysis found that the decoupling rate of OECD countries and countries with large incomes was high, and that the decoupling phenomenon has accelerated worldwide since the 2000s. However, the degree of decoupling was different depending on the national characteristics. According to the results of dynamic panel model, the growth rate of manufacturing and the proportion of exports hampered decoupling, while the proportion of human capital and renewable energy had a positive effect on decoupling. Also income had a inverse U-shape non-linear effect on decoupling.

Keywords : Economic growth, CO₂ emission, Decoupling, Dynamic panel model, System GMM

Received: August 13, 2019. Revised: October 21, 2019. Accepted: October 29, 2019.

[†] Thanks to the three anonymous judges who gave us useful advices.

* PhD. course, Department of Economics, Yonsei University, First author(e-mail: hyungwool.im0206@gmail.com)

** Professor, Department of Economics, Yonsei University, Corresponding author(e-mail: hahyunjo@hanmail.net)

I. 서론

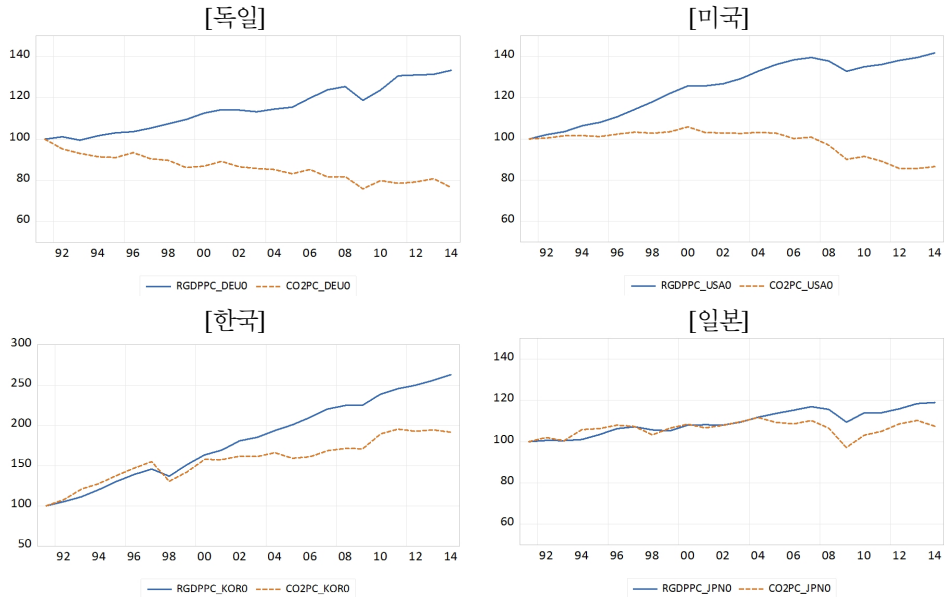
산업화 이후 경제성장에 따라 에너지 사용량이 폭증하며 온실가스 농도 또한 증가하였다. 2014년 전세계 대기 중 온실가스 농도는 산업화 이전에 비해 42% 상승했으며, 이산화탄소 배출량 중 75%가 에너지 부문 및 산업공정 과정에서 배출되었다(노동운, 2016). IPCC 역시 2013년 발간한 제 5차 평가보고서에서 20세기 중반 이후의 기후변화가 인간의 활동에 의한 결과물일 확률이 매우 높다(Extremely Likely)고 밝혔다(IPCC, 2014).

하지만 90년대 이후 유럽 등 선진국을 중심으로 경제성장-온실가스 배출량 관계에 변화가 발생하고 있다. 산업구조의 변화, 에너지 효율성의 증대, 에너지 믹스의 변화 등으로 일부 국가에서 경제성장은 지속되면서 온실가스 배출량은 상대적으로 적게 증가하는 ‘탈동조화 현상(Decoupling)’이 발생하고 있다(이상준, 2017). 하지만 국가별로 탈동조화 현상의 양상이 상이하다.

아래의 <그림 1>은 1인당 실질GDP(실선) 및 CO₂배출량(점선)의 움직임을 1991년을 기점으로 지수화한 그래프이다. 각각 독일, 미국, 한국, 일본 4개국의 변화를 보여주며, 각 국가마다 패턴의 차이를 관찰할 수 있다. 선진국 중 독일은 탈동조화 정도가 강하지만, 일본 등의 국가는 탈동조화가 이루어지지 못하고 있다.

특히 2015년 파리협정이 체결된 이후 선진국뿐 아니라 개도국 역시 온실가스 저감 의무를 부여받게 되면서, 개도국의 경제성장 기회를 제한하는 협정이라는 비판이 일고 있다. 하지만 경제성장과 온실가스 배출량 사이의 탈동조화 현상이 강화된다면, 개도국 역시 온실가스 감축으로 인한 경제적 피해를 최소화하며 국제적 협약을 이행할 수 있게 된다. 한국 역시 잠재 경제성장률이 2%대로 하락하는 상황에서 2030년까지 BAU 대비 37%의 온실가스를 감축한다는 목표가 상당한 부담으로 다가오고 있다. 따라서 경제성장을 지속하며 탄소배출량을 목표만큼 감축하기 위해서는 탈동조화가 반드시 필요한 상황이다.

〈그림 1〉 주요 국가(독일, 미국, 한국, 일본)의 실질GDP와 CO₂배출량



- 주: 1) 실선(파란색) : 1인당 실질GDP, 점선(빨간색) : 1인당 CO₂ 배출량.
 2) 1991년 실질GDP 및 CO₂ 배출량을 100으로 설정하였음.
 3) 가로축은 연도를 의미. 세로축은 1인당 실질GDP 및 CO₂배출량의 지수를 의미.
 4) 한국은 세로축의 범위가 50~300이며, 나머지 국가는 50~150임.

본 연구는 전 세계 63개 국가를 대상으로 1980~2014년의 국가별 경제성장률과 탄소 배출량 사이의 탈동조화 추세를 확인하고, 동태패널모형을 이용하여 그 원인을 분석하고자 한다. 본 연구에서는 1980년부터 매 5년마다의 탈동조화 정도를 국가별로 측정하고, 이를 바탕으로 패널 모형을 구성하여 탈동조화 정도를 결정하는 주요 요인을 분석하였다. 대부분의 선행연구들이 국가별 탈동조화 정도를 측정하는 수준에 머물거나, 간접적인 방식을 통해 탈동조화에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였다. 본 연구는 기존연구와 비교할 때 국제적 차원에서 여러 국가들의 탈동조화 정도를 분석하고, 이에 대한 결정요인을 분석했다는 점에서 차별점을 갖는다.

제2장에서는 탈동조화지수 및 환경쿠즈네츠곡선 관련 선행연구를 소개하고, 본 연구의 차별점을 제시한다. 제3장에서는 분석방법 및 모형과 활용 데이터를 소개하고, 제4장에서는 실증분석 결과를 제시한다. 특히 제4장 1절에서는 국가별 탈동조화지수를 계

산하여 주요 패턴을 분석하였으며, 2에서는 탈동조화를 유발하는 요인에 대해 동태패널 모형을 이용한 분석을 진행하였다. 제 5장에서는 주요 내용을 요약하고, 시사점 및 한계점을 제시하였다.

II. 선행연구 및 본 연구의 차별점

1. 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 관련 선행연구

1990년대 이후 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 현상이 나타나기 시작하면서 탈동조화의 정도를 측정하고 그 요인을 분해하는 연구가 시작되었다. 탈동조화 정도를 측정하는 연구 중 가장 널리 인용되고 있는 연구는 OECD(2002)이며, 탈동조화 비율은 다음과 같이 측정된다.

$$DR = - \frac{(EP/DF)_{t_0+n} - (EP/DF)_{t_0}}{(EP/DF)_{t_0}} \quad (1)$$

여기서, EP: 환경적 스트레스(Environmental Pressure)로 ‘온실가스 배출량’, DF: 유발요인(Driving Force)으로 ‘실질 GDP’, t_0 : 기준시점, $t_0 + n$: 기준시점으로부터 n 기 이후의 비교시점을 의미함.

위 식에서 (EP/DF) 는 일종의 탄소집약도(Carbon Intensity)를 의미하며, 1단위 생산을 위해 배출되는 온실가스의 양을 의미한다. 즉, DR 은 기준시점(t_0) 대비 n 기 이후($t_0 + n$)의 탄소집약도의 변화를 의미하며, 탄소집약도가 감소할 경우 DR 이 양의 값을 가질 수 있도록 부호를 조정하였다. 즉, $DR > 0$ 이면, 기준시점부터 n 기 동안 탄소집약도가 감소하기 때문에 탈동조화가 진행되었다고 볼 수 있으며, $DR \leq 0$ 이면, 기준시점부터 n 기 동안 탄소집약도가 증가하기 때문에 동조화가 진행되었다고 볼 수 있다.

이후 탈동조화 정도를 측정하는 연구들 중 상당수는 OECD(2002)를 바탕으로 다양한 환경오염 요인 및 유발요인에 대해 분석을 진행하였으며, 그 정도에 따라 약탈동조화(Weak Decoupling) 및 강탈동조화(Strong Decoupling)으로 구분하였다(Wang et al.,

2014; Gupta, 2015).

일부 연구는 Kaya 항등식(Kaya, 1989)에 근거하여 CO₂ 배출요인을 분해하려는 노력을 진행했다. Ang(2005)이 제안한 LMDI(Log Mean Divisia Index) 방식을 바탕으로 탄소 배출요인을 분해한 연구가 많았으며, 대부분의 연구에서 경제성장이 주요한 CO₂ 배출량 증가 요인으로 나타났다(Lu et al., 2007; Wang et al., 2013). 다만 이러한 형태의 연구들은 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화에 관해서는 분석을 진행할 수 없다는 단점이 존재한다.

2. 환경쿠즈네츠 곡선 관련 연구

경제성장과 탄소배출량 관계에 대한 연구는 Beckerman(1992)의 “Too poor to be green” 주장 이후, 경제성장과 탄소배출량 사이의 비선형성을 분석하는 환경쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve)을 중심으로 진행되었다. 환경쿠즈네츠 곡선 연구는 다음의 수식을 기본 형태로 한다.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 x_{i,t} + \beta_2 x_{i,t}^2 + \beta_3 x_{i,t}^3 + \gamma' Z_{i,t} + e_{i,t} \quad (2)$$

($i = 1, 2, \dots, N$ 국가, $t = 1, 2, \dots, T$ 연도)

$y_{i,t}$ 는 환경오염을 의미하는 종속변수로 탄소배출량이나, SO₂와 같은 오염원을 이용한다. $x_{i,t}$ 는 소득 변수로 제곱항 혹은 세제곱항을 추가하여 비선형적 관계를 반영하며, Z 는 소득 외에 환경오염에 영향을 미칠 수 있는 설명변수들로 구성한다. 기존의 환경쿠즈네츠곡선을 분석한 연구들은 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 의 계수를 분석하여, $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0, \beta_3 = 0$ 이 성립할 때 소득과 환경오염 사이의 역U자형 관계가 성립한다고 밝혔다. 또한 소득과 환경오염 관계의 전환점(Turning Point)을 $x^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$ 로 측정하여 계산하였다. 즉, 전환점 이전까지는 소득과 환경오염 사이에 동조화 현상이 발생하지만, 일정 소득 수준 이후에는 탈동조화 현상이 발생한다고 주장하였다. 일부 연구에서는 패널공적분모형을 이용하는 등 전환점 수준을 정확하게 찾기 위해 노력하였다(조상섭 외, 2001)

2000년대 이후 상당수의 연구에서 소득 외에도 환경오염에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 찾기 위해 기존 분석을 확장하였다. 일부 연구들은 Z 에 다양한 변수를 추가하여, 특정 요인들이 소득과 환경오염 사이의 역U자형 관계에 영향을 미치는지를 분석했다 (Kaika and Zervas, 2013). 소득과 환경오염의 관계에 영향을 미치는 요인으로는 무역량 (Suri and Chapman, 1998), 정부의 가버넌스 및 교육 수준(Dutt, 2009; 최충익·김지현, 2006), 소득불균형(Magnani, 2000; Bimonte, 2002), 서비스업 비중(Panayotou, 2016) 등을 제시했다. 위 연구들은 해당 변수들의 계수 추정치가 유의하고, 이러한 변수를 추가했을 때 전환점이 바뀌는 것을 통해 탈동조화 시점 및 정도에 영향을 미칠 수 있음을 밝혔다. 또한 일부 연구들에서는 특정 변수들 수준에 따라 표본을 나눈 후 각각의 그룹을 대상으로 환경쿠즈네츠 곡선이 성립하는지를 분석하여 탈동조화에 영향을 미치는지 분석하였다(Coondoo and Dinda, 2008; 김재혁·조하현, 2017).

하지만 위와 같이 환경쿠즈네츠 곡선에 기반한 분석은 해당 변수들이 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 관계에 미치는 영향력을 간접적으로만 보였다. 예를 들어 Dutt(2009) 연구에서 정치제도 수준은 탄소배출량에 음에 영향을 미치며, 환경쿠즈네츠 곡선의 전환점을 상승시키는 영향을 미쳤다. Dutt(2009)는 정치제도 수준이 개선될수록 정책 시행의 효과가 커져 환경 개선에 기여할 수 있다고 주장했으나, 환경쿠즈네츠곡선의 전환점이 상승하는 이유에 관해서는 설명하지 못하였다. 또한 특정 변수 수준을 기반으로 국가 그룹을 구분할 경우, 이외에 다른 공통 요인이 국가 그룹 사이에 섞이게 되어 관계에 영향을 미칠 수 있다.

3. 본 연구의 차별점

선행연구와 비교되는 본 연구의 차별점은 다음 3가지이다. 첫째, 본 연구에서는 소득 및 탄소배출량의 장기적 추세를 바탕으로 탈동조화지수를 계산하였다. 앞서 탈동조화 지수를 계산한 선행연구들의 문제점은 탈동조화지수가 일정한 추세 없이 분석 기간에 따라 급변했다는 점이다. 본 연구는 1인당 GDP 및 탄소배출량의 장기적인 움직임을 추출하기 위해 5년 이동평균(Moving Average) 자료를 이용하여 평탄화시킨 후 탈동조화 지수를 계산하였다. 이 경우 일시적인 충격을 제거한 잠재GDP와 잠재 탄소배출량 사이의 탈동조화 정도를 측정할 수 있기 때문에 탈동조화지수의 안정성을 개선할 수 있다. 본

연구는 평탄화된 1인당 GDP 및 탄소배출량 자료를 활용하여 1980년부터 매 5년 단위의 탈동조화지수를 계산하여 분석에 활용하였다.

둘째, 본 연구는 탈동조화지수에 영향을 미치는 결정요인을 직접적으로 분석하였다. 기존 환경쿠즈네츠곡선 연구들은 간접적인 방식으로 탈동조화 관계에 영향을 주는 요인들을 분석하였다는 한계가 존재한다. 반면 본 분석에서는 탈동조화 정도를 종속변수로 이용하여 분석하기 때문에 설명변수들의 직접적인 영향을 관찰할 수 있으며, 엄밀한 해석이 가능해진다. 선행연구 중 CO₂ 배출량의 결정요인을 분석하는 연구(또는 경제성장과 CO₂ 배출량 사이의 환경쿠즈네츠곡선 관계를 분석하는 연구)는 다수 존재한다. 또한 탄소집약도(탄소배출량/산출액)의 결정요인을 분석하는 연구도 일부 존재한다(Anderesson and Karpestam, 2013). 다만, 본 연구와 같이 경제 성장과 CO₂ 배출량 사이의 탈동조화 정도를 분석하는 연구는 저자가 확인해 본 바로는 찾을 수 없었으며, 본 연구가 최초의 시도이다.

셋째, 탈동조화지수가 지속성을 가질 수 있음에 착안하여 동태패널모형으로 분석을 진행하였으며, 종속변수의 단위근이 의심되어 시스템 GMM 방식으로 추정하였다(Blundell and Bond, 1998). 설명변수들에 내생성이 존재할 수 있음을 인지하고 도구변수 선정시 이를 반영하여 결정했으며, 직교차분(Orthogonal Deviation)을 통해 관측치 손실을 최소화하였다(Arellano and Bover, 1995).

III. 분석 방법, 모형 및 데이터

1. 분석 방법 및 모형

탈동조화의 결정요인 분석을 위해 총 2단계로 분석을 실시하였다. 1단계에서는 경제 성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 정도를 측정했다. 장기적인 탈동조화지수를 도출하기 위해 1980년부터 2014년까지 63개국의 1인당 실질GDP 및 이산화탄소 배출량을 5년 이동평균(Moving Average)을 통해 평탄화하여 활용하였다.¹⁾ 탈동조화지수 측정은 선행연구에서 주로 이용되며, 제 1장에서 설명한 바 있는 OECD(2002)의 방식(식 1의

1) 원자료를 활용할 경우, 연도별 변동성이 크게 나타나 탈동조화지수 값이 해당 연도 특성에 민감하게 반응하였다. 이를 완화하기 위하여 해당 연도 포함 5년 평균값을 이동평균으로 구하여 활용하였다.

DR)을 사용했다. 본 연구에서는 기간을 5년 단위로 설정하여 1980~2014년의 탈동조화 지수를 계산하였다.

2단계 분석에서는 앞서 1단계에서 도출한 국가별 탈동조화지수를 바탕으로 시스템 GMM 방식으로 탈동조화 결정요인을 분석하였다. 탈동조화지수는 장기적인 경제 구조의 변화이므로 과거의 탈동조화지수가 현재의 지수에 영향을 미친다고 보는 것이 적절하며, 이를 반영하기 위해 동태패널모형을 구성하였다. 또한 1단계에서 도출한 탈동조화지수의 경우 확률적 추세항을 바탕으로 계산한 값이므로, 단위근을 가질 확률이 높다.²⁾ 이 경우 Blundell and Bond(1998)에 따라 시스템 GMM을 이용하는 것이 적합하다. Arellano and Bond(1991)의 차분 GMM에서는 종속변수의 과거 수준 항을 도구변수로 이용하는 반면, 시스템 GMM에서는 차분변수의 과거값까지 도구변수로 이용하여 더 효율적이다. 또한 계수 추정치의 강건성을 확보하기 위해 Windmeijer(2005)에 따라 소규모표본조정(Small-Sample Correction)을 진행하였으며, 오차항의 이분산성을 조정하여 추정을 진행하였다.

본 연구는 다음과 같은 형태의 동태적 패널 모형을 설정하였으며, 선행연구를 바탕으로 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화에 영향을 미칠 수 있는 요인 6가지를 분석하였다.

$$\begin{aligned}
 DR_{i,t} &= a + bDR_{i,t-1} + cINC_{i,t} + dIND_{i,t} + ePOL_{i,t} \\
 &\quad + fEDU_{i,t} + gENV_{i,t} + hTRADE_{i,t} + e_{i,t} \\
 e_{i,t} &= \mu_i + v_{i,t} \\
 (i &= 1, 2, \dots, 63 \text{ 국가}, t = 1, 2, \dots, 7 \text{ 기간})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서, DR: *i* 국가의 *t* 기간 탈동조화지수, IND: 산업구조 관련 변수,
 POL: 사회안정성 관련 변수, EDU: 교육수준 및 인적자원 관련 변수,
 ENV: 환경기술 관련 변수, TRADE: 무역량 관련 변수임.

2) 탈동조화지수에 대해 IPS 및 LLC 패널 단위근 검정(상수항 포함) 결과 정상시계열로 판별되었다. 하지만 선형 추세를 추가하여 단위근 검정을 시행한 경우 IPS 검정에서 I(1) 시계열로 판별되었다.

종속변수인 *DR*는 앞서 1단계에서 계산한 국가별 탈동조화지수로, 값이 클수록 탈동조화가 강화되고 있음을 의미한다. 설명변수인 *INC*는 소득수준을 의미하며, 환경쿠르네츠곡선 가설을 검증하는 역할을 수행한다. 환경쿠르네츠곡선에 따르면 일정 소득수준까지는 소득이 증가함에 따라 탄소배출량이 증가하는 동조화 현상이 발생하지만, 일정 소득수준 이후부터는 소득 증가에도 탄소배출량은 감소하는 탈동조화 현상이 발생한다. 즉, 소득수준에 따라 탈동조화지수가 선형 혹은 비선형적 관계를 맺는지를 분석하여 환경쿠르네츠곡선 가설이 성립하는지를 검증할 수 있다.

IND 변수는 산업구조를 의미하며, 해당 국가의 제조업 및 서비스업 발달 정도로 설명된다. 제조업이 발달된 국가의 경우 경제성장 과정에서 탄소집약적 산업의 영향으로 탄소배출이 많아진다(김재혁·조하현, 2017). 이로 인해 탈동조화에는 음(-)의 영향을 미친다. 반면 서비스업이 발달된 국가는 경제성장에 있어 상대적으로 적은 탄소배출이 발생하기 때문에 경제가 성장함에도 탄소배출량이 감소할 수 있다(Panayotou, 2016). 따라서 서비스업의 발달은 탈동조화지수 개선에 양(+)의 영향을 미칠 것으로 기대된다.

POL 변수는 사회적 안정성을 의미하는 변수이다. Dutt(2009)에 따르면 경제성장 과정에서 발생하는 환경오염을 줄이기 위해서는 정부의 역할이 중요하며, 민주주의가 보급되고 정부의 가버넌스 수준이 높을수록 이러한 역할을 잘 수행할 수 있다. 또한 소득분포가 평등할수록 경제성장에 따른 중위계층의 환경오염 인식도 개선되어 더 강력한 환경규제를 부과할 수 있다(Magnani, 2000; Bimonte, 2002). Torras and Boyce(1998)는 환경오염은 환경오염 과정에서 이득을 얻는 자들과, 환경오염의 부담을 지는 자들의 영향력 차이에 의해 결정되며, 사회적·경제적으로 안정된 사회일수록 영향력 차이가 적어 환경오염이 덜 발생한다고 주장한다. 따라서 정치·사회·경제적 안정성이 개선됨에 따라 탈동조화가 가속화될 것으로 예상된다.

EDU 변수는 교육수준 및 인적자본을 의미하며, 교육수준이 높을수록 환경오염에 대한 인식수준이 높아지기에 환경 개선에 영향을 미칠 수 있다(Dutt, 2009). 따라서 교육수준 및 인적자본이 증가할수록 탈동조화가 강화될 것으로 기대한다.

ENV 변수는 환경 관련 기술보급을 의미한다. 친환경기술 투자가 증가할수록 에너지 효율성이 증가하고, 탄소배출량 역시 감소하게 된다(Neumayer, 1998). 또한 신재

생에너지 비중이 증가할수록 에너지 부문의 탄소배출량이 감소하여 탈동조화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

마지막으로 *TRADE* 변수는 오염피난처가설(Pollution Haven Hypothesis)을 검증하기 위한 무역량이다. 오염피난처가설에 따르면 선진국이 탄소 감축을 한 이유는 오염 집약적 산업 및 오염 배출 공장이 강력한 환경규제를 피해 개도국으로 이전하였기 때문이다. 오염피난처가설이 성립한다면 선진국은 오염 집약적 제품을 수입하여 이용하고, 개도국은 상품을 수출하는 구조가 형성되기에 국제적인 탄소감축이 이루어지지 못한다. 따라서 본 연구에서는 수출 및 수입에 따라 탈동조화 정도가 달라지는지를 분석하는 방식으로 오염피난처가설을 간접적으로 검증하고자 한다.

〈표 1〉 탈동조화지수 결정요인의 예상 부호 및 예상 채널

설명변수	예상 부호	예상 채널	선행 연구
소득수준	-, +	소득수준이 낮을 때는 음이나, 일정소득수준 이상에서는 양의 영향 (환경쿠즈네츠곡선 가설)	Beckerman(1992) Panayotou(2016)
산업구조 변화 (서비스업 발달)	+	서비스업 비중 증가 → 저탄소성장 → 탈동조화 강화	김재혁·조하현(2017) Panayotou(2016)
사회적 안정성	+	정부 가버넌스 및 소득분포 개선 → 환경규제 강화 → 탈동조화 강화	Dutt(2009), Magnani(2000) Bimonte(2002) Torrás and Boyce(1998)
교육수준 및 인적자본	+	교육수준 및 인적자본 증가 → 환경오염에 대한 인식수준 개선 → 탈동조화 강화	Dutt(2009)
환경 관련 기술	+	친환경기술 개발 → 탈동조화 강화 및 신재생에너지 비중 증가 → 에너지 부문 탄소배출량 감소 → 탈동조화 강화	Neumayer(1998)
무역량	수출: + 수입: -	* 개도국의 오염집약적 상품생산 증대 및 선진국으로의 수출 * 선진국의 오염집약적 상품생산 감소 및 개도국으로부터의 수입 (오염피난처가설)	Suri and Chapman(1998), Levinson and Taylor(2004)

2. 데이터

OECD 34개국 및 비OECD 29개국(총 63개국)을 대상으로 1980~2014년의 연별 자료를 이용하였다.³⁾ 분석을 위해 1980년부터 5년을 기준으로 총 7개의 기간을 설정하였다.⁴⁾ 1단계에서는 각 국가의 1인당 실질GDP 및 1인당 탄소배출량을 이동평균(Moving Average)으로 평탄화하여 1980년부터 매 5년마다 탈동조화지수를 계산했다. 즉, 1980~1984년 동안의 1인당 실질 GDP 및 1인당 탄소배출량의 평균값과 1985~1989년 동안의 평균값을 활용하여 OECD(2002)의 탈동조화지수인 DR을 계산하였다.

2단계에서는 탈동조화지수에 영향을 미치는 설명변수들에 대해 5년 평균 또는 5년 성장률 자료로 변환하여 분석에 사용하였다. 구체적인 변수 설명은 아래 표에 제시되어 있다.

〈표 2〉 데이터 설명 및 출처

분류	변수명	변수 설명	출처
탄소 배출	1인당 탄소 배출량	1인당 CO ₂ 배출량 (단위: metric ton per capita)	World Bank
소득	1인당 실질 GDP	1인당 실질 GDP (단위: 2010 US\$)	World Bank
산업구조	제조업 성장률	5년간의 실질 제조업 부가가치 (단위: 2010 US\$) 성장률 (여기서 제조업은 ISIC 15~37 항목을 의미)	World Bank
	서비스업 성장률	5년간의 실질 서비스업 부가가치(단위: 2010 US\$) 성장률 (여기서 서비스업은 ISIC 50~99 항목을 의미)	World Bank
	서비스업 비중	5년간의 실질GDP 대비 실질 서비스업 부가가치 비중(%)	World Bank
사회적 안정성	소득 불평등도 지수	GINI 계수의 5년 평균 (GINI 계수가 100에 가까울수록 소득 불평등도가 커짐)	World Bank
	민주화 정도 지수	정치적 권리 지수(Political Rights index)의 5년 평균 (1부터 7까지의 지수로 측정되며, 값이 클수록 정치적 권리가 낮음을 의미)	Freedom House

3) 분석에 활용된 국가 목록은 <부록 표 1>을 참고하십시오.

4) 1980~2014년을 매 5년 총 7개의 기간(1980~1984년, 1985~1989년, 1990~1994년, 1995~1999년, 2000~2004년, 2005~2009년, 2010~2014년)으로 구분하였다.

〈표 2〉 데이터 설명 및 출처 (계속)

분류	변수명	변수 설명	출처
인적자본	인적자본 지수	인적자본 지수(Human Capital Index)의 5년 평균 (평균 교육기간과 Mincer equation에서 도출한 평균 교육 수익률을 기반으로 산정)	Penn World Table 9.0
환경 기술 보급	신재생에너지 비중	전체 전력 발전량 중 신재생에너지 비중의 5년 평균 (수력 및 원자력 발전 제외) (단위: %)	World Bank
무역량	수출 비중	GDP 대비 상품 및 서비스 수출 비중의 5년 평균 (단위: %)	World Bank
	수입 비중	GDP 대비 상품 및 서비스 수입 비중의 5년 평균 (단위: %)	World Bank

각 변수들의 기초통계량은 다음 <표 3>과 같다. 특징적으로 1인당 탄소배출량의 평균은 6.12Mt이지만, 최솟값은 0.2Mt, 최댓값은 26.6Mt 수준으로 120배가량의 차이가 발생하였으며, 1인당 실질GDP의 경우 약 260배의 차이가 나타났다. 또한 분석대상국가들의 경우 평균적으로 서비스업의 비중이 약 61% 수준으로 높았으며, 성장률 역시 제조업에 비해 더 높게 나타났다.

〈표 3〉 데이터의 기초통계량

	평균	중앙값	최댓값	최솟값	표준편차
1인당 탄소 배출량(Mt)	6.12	5.64	26.60	0.22	4.89
1인당 실질 GDP(US\$)	19,694	10,668	105,761	408	19,975
제조업 성장률(%)	3.02	2.71	12.42	-9.41	3.23
서비스업 성장률(%)	3.51	3.34	14.71	-7.23	2.42
서비스업 비중(%)	60.93	62.11	87.29	25.17	10.56
소득 불평등도 지수	37.99	34.60	59.70	24.38	10.16
민주화 정도 지수	2.28	1.40	7.00	1.00	1.69
인적자본 지수	2.67	2.74	3.72	1.20	0.60
신재생에너지 비중(%)	3.68	0.87	47.76	0.00	6.59
수출 비중(%)	37.07	30.95	187.56	5.88	22.88
수입 비중(%)	38.54	33.18	155.04	6.16	21.04

IV. 실증분석 결과

국가별 탈동조화 패턴을 비교하고, 그 요인을 분석하기 위해 본 연구에서는 다음과 같이 2단계로 실증분석을 진행했다. 첫 번째 단계에서는 63개 국가의 탈동조화지수를 계산하고, 패턴을 분석하여 주요 특징을 파악하였다. 두 번째 단계에서는, 앞선 1단계의 결과를 바탕으로 동태패널분석을 통해 국가별 탈동조화지수의 결정요인을 분석하였다.

1. 국가별 탈동조화지수 계산 및 패턴 분석

1단계에서는 각 국가의 1인당 실질GDP 및 1인당 탄소배출량을 이동평균(Moving Average)으로 평탄화하여 1980년부터 매 5년마다 탈동조화지수를 계산하였다. 1단계 과정을 통해 도출한 국가별 탈동조화지수를 이용하여 국가별 특징 및 공통점을 분석한 결과 다음과 같은 5개의 주요 결론을 도출하였다.⁵⁾

① OECD가 비OECD에 비해 전반적인 탈동조화 정도가 높다

전반적으로 OECD 국가들의 탈동조화 정도가 비OECD 국가들에 비해 높았다. 표준편차 역시 상대적으로 낮아, OECD 국가들의 전반적인 탈동조화 정도가 높음을 확인할 수 있다.

<표 4> OECD 및 비OECD 국가들의 탈동조화 정도(DR) 비교

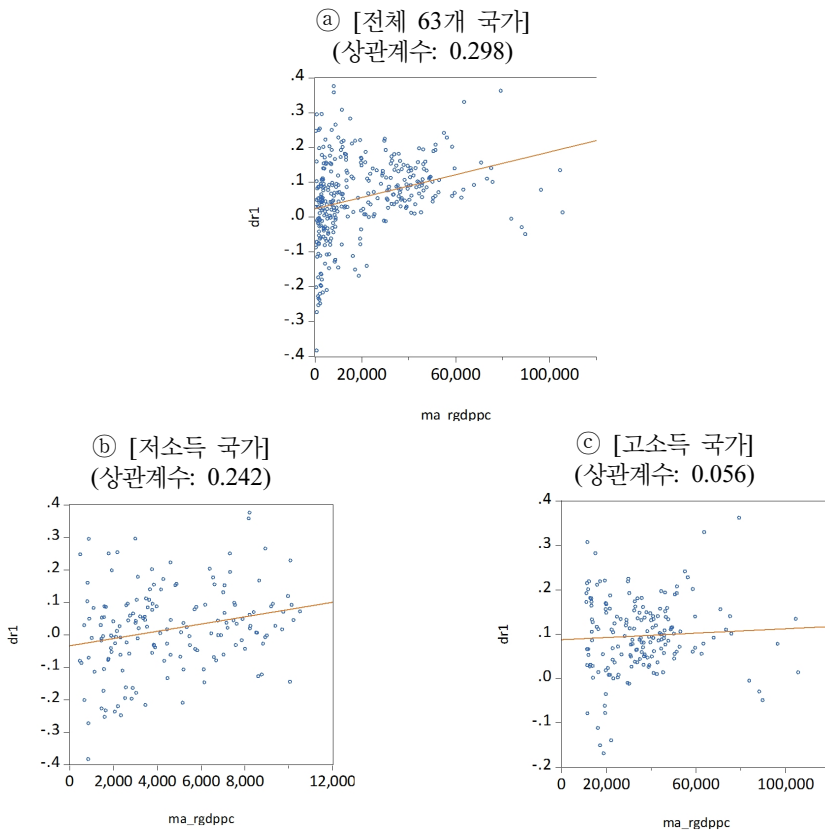
	전체 국가	OECD 34개 국가	비OECD 29개 국가
평균	0.058	0.093	0.016
중앙값	0.065	0.090	0.025
최댓값	0.374	0.374	0.357
최솟값	-0.383	-0.169	-0.383
표준편차	0.114	0.088	0.125

5) 국가별 탈동조화지수의 세부적인 수치는 <부록 표 2>를 참고하십시오.

② 소득이 높을수록 탈동조화 정도가 높지만, 일정 수준의 소득 이상에서는 관계가 없다

전체 국가를 대상으로 5년 평균 1인당 실질GDP와 탈동조화지수 사이의 산포도를 그려보면 다음 <그림 2>와 같다. 그림 ①은 전체 63개 국가를 대상으로 1인당 소득(x축)과 탈동조화지수(y축) 사이의 관계를 산포도로 나타낸 그래프로, 상관계수가 0.298로 나타났다. 이들 국가를 1인당 소득 중위값을 기준으로 저소득 그룹과 고소득 그룹으로 구분하여 그린 산포도는 그림 ②, ③과 같다. 저소득 국가(그림 ②)의 경우 상관계수가 0.242로 전체 국가 그룹과 유사하게 나타났다. 하지만 고소득 국가(그림 ③)의 소득과 탈동조화지수 사이의 상관계수가 0에 가까우며, 통계적으로도 유의하지 않았다.

<그림 2> 소득과 탈동조화지수의 관계도



주: 저소득국가는 소득수준 중위값 미만의 국가를 의미하며, 고소득 국가는 소득수준 중위값 이상의 국가로 정의함.

소득이 많은 국가들의 경우, 소득과 탈동조화지수 사이의 관계가 약화된다. 이러한 특징은 기존 환경쿠르즈네츠크곡선의 결과에 상응한다. 상당수의 환경쿠르즈네츠크곡선 연구는 이산화탄소의 경우 소득과 이산화탄소 배출량 사이의 역 U자 형태가 아닌, 선형적인 양의 관계가 성립한다고 밝힌 바 있다(Shafic and Bandyopadhyay, 1992; Perrings and Ansuategi, 2000; Iwata and Samreth, 2011).

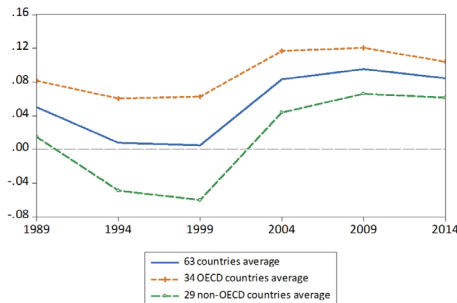
③ 2000년대 이후 탈동조화 현상이 강화되고 있다.

탈동조화지수를 살펴보면, 분석 기간에 따라 탈동조화 정도의 변화가 큼을 확인할 수 있다. 특히 1985~1999년까지는 전반적으로 동조화되는 현상이 발견되나, 2000년대 이후부터는 탈동조화 현상이 확연히 나타난다.

이러한 변화는 비OECD 국가에서 더 크게 나타나는데, 1995~1999년 기간 동안 비 OECD 국가들의 평균 탈동조화지수는 -0.06으로 경제성장에 따라 탄소배출이 증가하는 현상이 발견되나, 2000년대 이후부터는 급속도로 탈동조화가 진행되어, 1990년대의 OECD 수준까지 개선되었음을 확인할 수 있다. 반면 OECD 국가들의 경우 2000년대 이후 탈동조화 정도가 0.120 수준으로 개선되었으나, 그 개선폭은 크지 않았다.

〈표 5〉 연도 변화에 따른 탈동조화지수 평균

	1985~1989년	1995~1999년	2010~2014년
전체 63개국	0.050	0.004	0.084
OECD 34개국	0.081	0.062	0.104
비 OECD 29개국	0.014	-0.060	0.061



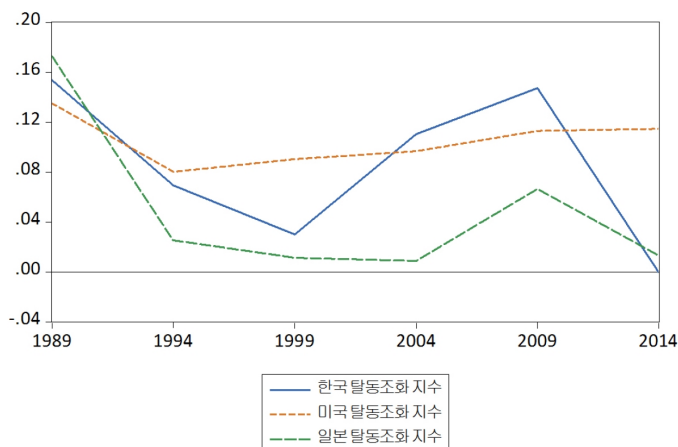
- 주: 1) 하단의 그래프는 기간별 국가들의 평균값을 의미하며, 상단의 표는 이 중 일부 기간의 값을 정리한 결과임.
- 2) 실선(파란색): 전체 63개 국가의 평균, 점선(붉은색): OECD 34개 국가의 평균, 점선(녹색): 비OECD 29개 국가의 평균을 의미.

④ 국가마다 탈동조화 정도의 패턴이 상이하다

미국, 일본의 경우 탈동조화 수준이 안정적인 모습을 보인다. 특히 미국의 경우 1989~1994년에 탈동조화 정도가 0.08 수준으로 소폭 감소하였지만 이후 지속적으로 개선되어 2010~2014년에는 0.11로 OECD 국가 평균을 상회하는 모습을 보이고 있다. 일본의 경우 1989~1994년 기간 동안 탈동조화지수가 0.025 수준으로 하락한 후 뚜렷한 개선이 발견되지 않고 있다.

한국의 경우 앞선 미국 및 일본과 달리 탈동조화 수준의 변동성이 매우 크다. 1985~1989년에는 0.15로 탈동조화 현상이 두드러지게 나타났으나, 1995~1999년에는 0.03으로 급락하였으며, 이후 꾸준히 개선되는 모습을 보였지만 2009~2014년에는 0 수준으로 나타났다. 이는 곧 부가가치 당 탄소배출량 수준의 변화가 없었음을 의미한다.

〈그림 3〉 한국, 미국, 일본의 연도별 탈동조화지수



주: 실선(파란색): 한국, 점선(빨간색): 미국, 점선(녹색): 일본의 탈동조화지수를 의미.

⑤ 탈동조화지수가 높은 국가들과 낮은 국가들의 특징이 다르다

탈동조화 수준이 높은 국가들과 낮은 국가들의 주요 특징이 다를 것이라 가정하고, 2010~2014년 기간 동안 탈동조화수준이 가장 높은 상위 20개 국가와 하위 20개 국가를 선정하였다. 이들 그룹에 대해 탈동조화 수준에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대해 2010~2014년 평균값을 계산한 결과는 다음 <표 6>과 같다.

일반적으로 선형연구를 통해 알려진 바와 같이 탈동조화지수가 높은 국가들은 소득이 많으며, 제조업 성장률이 상대적으로 낮으며, 소득 평등도가 높고 민주화 정도가 높았다. 특히 서비스업 비중은 탈동조화지수 하위 국가들에 비해 약 13%가량 더 높게 나타나, 이들 국가들이 서비스업 중심의 국가들임을 확인할 수 있었다. 또한 인적자본 역시 탈동조화 정도가 낮은 국가들에 비해 높았으며, 신재생에너지 비율 또한 높았다.

〈표 6〉 탈동조화지수 상위, 하위 20개 국가들의 주요 변수 평균

분류	변수명	상위 20개 국가 평균	하위 20개 국가 평균
소득수준	1인당 실질 GDP	33,778	14,265
탄소배출량	1인당 탄소배출량(Mton/capita)	5.94	4.59
산업구조	제조업 성장률(%)	2.39	3.51
	서비스업 성장률(%)	1.56	3.68
	서비스업 비중(%)	71.58	58.83
사회적 안정성	소득 불평등도(지니계수) (0: 완전 평등 ~ 100: 완전 불평등)	33.25	40.22
	민주화 정도(Political Rights) (1: PR 높음 ~ 7: PR 낮음)	1.07	2.98
인적자본	인적자본	3.16	2.79
환경 관련 기술 보급	신재생에너지 비율	13.40	5.91
무역량	수출 비중	59.01	41.71
	수입 비중	55.06	44.62

주: 2010~2014년 평균값을 의미.

2. 탈동조화 결정요인 분석

앞선 1단계의 패턴분석결과를 바탕으로 국가마다의 탈동조화 패턴이 상이함을 확인하였다. 이에 따라 본 연구에서는 탈동조화의 결정요인을 분석하기 위해 선형연구에서 EKC 관계에 영향을 미친다고 주장한 변수들을 중심으로 탈동조화에 영향을 주는 요인들을 설정하였다. 1984년부터 2014년까지의 5년 단위 기간에 대해 63개 국가의 데이터를 활용하여 다음과 같이 동태패널모형 식(4-a) 및 (4-b)를 설정하고, 이를 시스템 GMM

으로 추정하였다. 또한 분석의 강건성을 위해 Windmeijer(2005)의 소규모표본조정을 적용했다. 이 식은 3장에서 제안한 식 (3) 중 활용 가능한 변수를 이용하여 구성한 식이다.

이때 탈동조화지수의 시차항뿐만 아니라, 산업구조 및 환경 관련 기술보급 변수들에 서 내생성 문제가 발생할 수 있다. 산업구조 및 환경 관련 기술보급은 탈동조화에 영향을 주는 요인이면서, 동시에 탈동조화에 대한 의지의 결과이다. 본 연구에서는 Blundell and Bond(1998)에 따라 일부 설명변수들의 내생성 문제를 반영하여 추정하였다. 탈동조화지수의 시차항 및 산업구조(서비스업 비중 및 제조업·서비스업 성장률), 환경 관련 기술보급 변수를 내생변수로 취급하여 시스템 GMM을 추정하였다.

$$\begin{aligned}
 DR_{i,t} = & a + b_1 DR_{i,t-1} + c_1 \log(Y_{i,t}) + d_1 SVC_{i,t}^{ratio} + d_2 MAF_{i,t}^{gr} \\
 & + d_3 SVC_{i,t}^{gr} + e_1 \log(DEMO_{i,t}) + f_1 \log(HC_{i,t}) + g_1 REN_{i,t} \\
 & + h_1 EXP_{i,t} + h_2 IMP_{i,t} + e_{i,t}
 \end{aligned} \tag{4-a}$$

$$e_{i,t} = \mu_i + v_{i,t} \quad (i = 1, \dots, 63, t = 1984-1989, 1990-1994, \dots, 2010-2014)$$

위 식 (4-a)에서 소득변수($\log(Y_{i,t})$)를 제외한 수식 (4-b)

여기서, DR 은 i 국가의 t 기간 탈동조화지수, Y 는 1인당 실질GDP, SVC^{ratio} 는 실질 GDP 중 서비스업의 비중⁶⁾, MAF^{gr} 은 제조업 성장률, SVC^{gr} 는 서비스업 성장률, $DEMO$ 는 민주화정도 지수, HC 는 인적자본지수, REN 은 신재생에너지비율, EXP 는 수출비중, IMP 는 수입비중을 의미함. i 는 국가를 나타내며, t 는 기간을 의미함.⁷⁾

추정결과와 아래 <표 7>에 정리되어 있다. 통계적으로 유의성을 보인 변수들은 대체로 선행연구와 동일한 방향의 움직임을 보였다. 서비스업 비중이 높을수록, 서비스업 성장률이 높을수록 탈동조화를 야기하는 반면, 제조업 생산은 탄소배출을 야기하여 탈동조화를 둔화시켰다.⁸⁾ 인적자본 및 신재생에너지 비율의 경우 Dutt(2009), Neumayer(1998) 연구

6) 실질GDP 중 서비스업의 비중과 제조업의 비중 사이의 음의 상관관계가 높게 나타나, 본 분석에서는 서비스업의 비중만을 반영하였다.

7) 1기는 1984~1989년, 2기는 1990~1994년을 의미하며, 마지막 6기는 2010~2014년을 의미한다.

8) 본 연구에서는 산업구조 관련 변수로 서비스업의 비중 및 제조업·서비스업의 성장률 변수를 활용하였다. 선행연구에서 서비스업의 비중이 온실가스 감축에 주요한 영향을 미친다고 밝힌 바 있으며, 제조업 성장률 및 서비스업 성장률은 어떤 업종이 주력으로 성장하고 있는지를 나타낸다는 측면에서, 향후 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동

와 마찬가지로 양의 값으로 나타났다. 즉, 환경에 대한 인식수준이 높고 관심이 많은 경우 탈동조화현상이 보다 강하게 나타났다.

반면 소득 변수는 통계적으로 유의하지 않았다. 환경쿠르네즈곡선 등의 선행연구에서는 단순히 소득수준에 따라 CO₂ 배출량이 영향을 받는다고 가정하고 있고, 일정 수준 이상으로 소득이 증가하면 CO₂ 배출량이 감소한다고 주장한다(Kaika and Zervas, 2013). 하지만, 탈동조화 속도 측면에서 보면 해당 국가의 소득수준보다는 산업구조, 환경에 대한 인식, 환경기술 보급 등이 탈동조화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.⁹⁾

〈표 7〉 탈동조화 결정요인 추정 결과 : 시스템 GMM 추정 결과

설명 변수	식 (4-a): 소득 포함	식 (4-b): 소득 불포함
종속변수 시차항	0.284***	0.200**
1인당 GDP	0.000	
서비스업 비중	0.209	0.443**
제조업 성장률	-0.817***	-0.983***
서비스업 성장률	1.091*	0.601
민주화 정도 지수	0.012	0.036
인적자본 지수	0.151***	0.141**
신재생에너지 비율	0.200***	0.248***
수출 비중	-0.022	0.045
수입 비중	0.004	-0.069
Hansen test stat	48.19	54.52
AR(1)	-1.93*	-1.82*
AR(2)	0.36	0.29
Obs	237	237
Countries (<i>i</i>)	62	62

주: 1) ***: p-value < 0.01, **: p-value < 0.05, *: p-value < 0.10

2) 종속변수의 시차항, 서비스업 비중, 제조업 성장률, 서비스업 성장률, 신재생에너지 비율을 내생변수로 보고 시스템 GMM을 추정하였음(Blundell and Bond, 1998; Roodman, 2009).

조화에 주요한 영향을 미칠 수 있다.

9) 본 연구에서 종속변수로 사용하고 있는 탈동조화지수(DR)는 환경쿠르네즈곡선의 기울기로 해석할 수 있다. 즉, 환경쿠르네즈곡선이 성립한다면 소득 증가에 따라 탈동조화지수가 감소하는 음의 관계가 나타나야 한다.

3. 강건성 분석

대부분의 선행연구들에서는 소득변수가 탄소배출량 및 탈동조화에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 앞선 <표 7>의 결과에서는 소득 변수가 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 변수들 사이의 다중공선성에 따른 문제일 수 있다.

식 (4-a)에서 사용한 변수 중 일부는 1인당 GDP와의 상관계수가 높게 나타났다. 1인당 GDP와 인적자본은 0.66, 서비스업비중은 0.62, 민주화 정도는 -0.56으로 상관관계가 높았다.¹⁰⁾ 이에 따라 변수들 사이의 다중공선성 문제로 인해 소득 변수가 통계적으로 유의하지 않을 수 있기에 본 연구에서는 강건성 검증을 위해 상관관계가 높은 일부 변수를 제외하여 추정을 실시하였다.

다음 식 (5-a) ~ 식 (5-c)는 소득변수와 상관계수가 높은 변수(민주화정도, 인적자본, 서비스업비중)를 제외해가며 새롭게 모형을 구성한 것이다. 마지막 식 (5-d)는 상관계수가 높은 변수를 모두 제외하고 소득 제공항을 추가하여 비선형적인 관계를 반영하고자 했다.

$$DR_{i,t} = a + b_1DR_{i,t-1} + c_1\log(Y_{i,t}) + d_1SVC_{i,t}^{ratio} + d_2MAF_{i,t}^{gr} + d_3SVC_{i,t}^{gr} + e_1\log(HC_{i,t}) + f_1REN_{i,t} + g_1EXP_{i,t} + g_2IMP_{i,t} + e_{i,t} \quad (5-a)$$

$$DR_{i,t} = a + b_1DR_{i,t-1} + c_1\log(Y_{i,t}) + d_1SVC_{i,t}^{ratio} + d_2MAF_{i,t}^{gr} + d_3SVC_{i,t}^{gr} + e_1\log(DEMO_{i,t}) + f_1REN_{i,t} + g_1EXP_{i,t} + g_2IMP_{i,t} + e_{i,t} \quad (5-b)$$

$$DR_{i,t} = a + b_1DR_{i,t-1} + c_1\log(Y_{i,t}) + d_1MAF_{i,t}^{gr} + d_2SVC_{i,t}^{gr} + e_1\log(DEMO_{i,t}) + f_1\log(HC_{i,t}) + g_1REN_{i,t} + h_1EXP_{i,t} + h_2IMP_{i,t} + e_{i,t} \quad (5-c)$$

$$DR_{i,t} = a + b_1DR_{i,t-1} + c_1\log(Y_{i,t}) + c_2\log(Y_{i,t})^2 + d_1MAF_{i,t}^{gr} + d_2SVC_{i,t}^{gr} + e_1REN_{i,t} + f_1EXP_{i,t} + f_2IMP_{i,t} + e_{i,t} \quad (5-d)$$

$$e_{i,t} = \mu_i + v_{i,t} \quad (i = 1, \dots, 63, t = 1984-89, 90-94, \dots, 2010-14)$$

10) 변수들 사이의 상관계수는 <부록 표 2>를 참고하시오.

식 (5-a) ~ 식 (5-d)의 추정 결과는 다음 <표 8>과 같다. 분석결과, 소득변수와의 상관 계수가 높았던 민주화정도, 인적자본, 서비스업비중을 하나씩 제외한 경우(식 (5-a) ~ 식 (5-c))에는 소득변수가 여전히 통계적으로 유의하지 않았다. 소득변수 이외의 제조업 성장률, 인적자본, 신재생에너지 등의 변수는 계수 추정치가 유사했으며, 통계적 유의성 역시 기존 분석 결과와 유사했다.

특징적으로 소득과 상관계수가 높은 변수들을 모두 제외한 식 (5-d)의 경우, 소득변수 및 소득의 공급향이 통계적으로 유의했다. 이는 소득수준이 탈동조화에 미치는 효과가 역 U자 형태로 나타남을 의미한다. 이때의 전환점은 1인당 \$58,873로 상당히 높게 나타났다. 본 연구의 분석대상 국가 중 전환점을 초과하는 국가는 룩셈부르크, 노르웨이, 스위스, 덴마크로 일부에 불과했다. 즉, 대부분의 국가에서는 소득 개선에 따라 탈동조화 현상이 강화되고 있으며, 그 효과가 체감함을 확인할 수 있다.

<표 8> 탈동조화 결정요인 강건성 검증 : 유사변수 제외

설명 변수	식 (5-a)	식 (5-b)	식 (5-c)	식 (5-d)
종속변수 시차항	0.280***	0.340***	0.263***	0.327***
1인당 GDP	-0.004	0.017	0.010	0.238**
1인당 GDP 제공항				-0.011*
서비스업 비중	0.224	0.185		
제조업 성장률	-0.777***	-0.703**	-0.861**	-0.668**
서비스업 성장률	0.937	0.715	0.819	0.593
민주화 정도 지수		0.002	0.004	
인적자본 지수	0.138**		0.162***	
신재생에너지 비율	0.207***	0.179**	0.258***	0.179**
수출 비중	0.010		-0.077	-0.128*
수입 비중	-0.027		0.066	0.137*
전환점 수준 (\$)	-	-	-	58,873
Hansen test stat	54.35	56.09	54.42	55.84
AR(1)	-1.89*	-1.88*	-1.93*	-1.97**
AR(2)	0.40	0.51	0.51	0.59
Obs	237	237	245	245
Countries (<i>i</i>)	62	62	63	63

주: 1) ***: p-value < 0.01, **: p-value < 0.05, *: p-value < 0.10

2) 종속변수의 시차항, 서비스업 비중, 제조업 성장률, 서비스업 성장률, 신재생에너지 비율을 내생변수로 보고 시스템 GMM을 추정하였음(Blundell and Bond, 1998; Roodman, 2009).

V. 결론

온실가스 배출 문제는 전세계적인 문제로 확대되었으며, 이에 따라 온실가스 저감에 대한 전세계적 관심이 증폭되었다. 1990년대 이후 일부 선진국을 중심으로 경제성장과 온실가스 배출량 사이의 ‘탈동조화 현상(Decoupling Effect)’이 발생하고 있으며, 이는 파리협정에 따라 온실가스를 의무적으로 감축하는 국가들에게 있어 주요한 시사점을 제공한다.

본 연구는 전세계 63개국을 대상으로 1980년부터 2014년까지의 국가별 경제성장과 탄소배출량 사이의 탈동조화 추세를 확인하고, 그 원인을 분석하였다. 본 연구는 소득 및 탄소배출량의 장기적 추세를 도출하여 탈동조화지수를 계산하였으며, 탈동조화지수에 대한 결정요인을 직접적으로 분석하는 첫 번째 연구이다.

본 연구의 첫 번째 단계에서는 63개국 국가별 탈동조화지수(DR)를 계산하고, 패턴을 살펴보았다. 그 결과로 다음과 같은 5개의 결과를 도출하였다.

- ① OECD 국가가 비OECD 국가에 비해 전반적인 탈동조화 정도가 높다.
- ② 전반적으로 소득이 높을수록 탈동조화지수가 높으나, 고소득 국가에서는 관계가 약하다.
- ③ 2000년대 이후 전세계적인 탈동조화 현상이 강화되고 있다.
- ④ 국가마다 탈동조화가 진행되는 경로가 상이하다.
- ⑤ 탈동조화지수가 높은 국가와 낮은 국가 사이에 상이한 특징이 발견된다.

본 연구의 두 번째 단계에서는 탈동조화의 원인을 판명하기 위해 동태패널분석을 진행하였다. 특히 탈동조화지수의 지속성을 반영하고 단위근 문제를 해결하기 위해 시스템 GMM 방식으로 추정을 진행하였다. 이때 결정요인은 선행연구를 바탕으로 선정하였으며, 소득수준, 산업구조, 사회적 안정성, 인적자본, 환경 관련 기술 보급, 무역량을 반영하였다.

주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 제조업 중심의 산업구조에 비해 서비스업 중심의 산업구조가 탈동조화 달성에 유리하다. 이는 선행연구의 결과와 유사한데, 2차산업 중심의 산업구조는 탄소배출량을 늘려 경제성장과 탄소배출의 동조화 현상을 야기하는 반면 서비스업 중심의 산업구조는 경제성장과 탄소배출량의 탈동조화를 유발하는 것으로

나타났다. 둘째, 인적자본 및 신재생에너지 비율은 탈동조화에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 교육수준 및 인적자본의 경우 환경오염에 대한 인식수준 개선을 통해 탈동조화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 환경관련기술의 개발은 에너지 부문의 탄소배출량 감소를 통해 탈동조화를 이끌어낼 수 있다. 셋째, 소득은 탈동조화에 역U자 형태의 영향을 미친다. 대부분의 국가에서 소득의 증가는 탈동조화에 긍정적인 영향을 미쳤으나, 그 효과가 체감함을 확인할 수 있었다.

끝으로 본 연구의 한계점과 향후 연구방향은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 이용한 OECD(2002) 방식은 산업생산당 탄소배출량의 변화를 통해 탈동조화 수준을 측정하는 방식으로 경제 성장 및 하락 국면에 따른 구분이 없다는 한계를 지니고 있다(Grand, 2016). 이에 따라 후속 연구에서는 Tapio(2005) 및 Ru et al.(2012) 등의 방법을 통해 탈동조화 수준을 재측정하고, 이를 바탕으로 강건성을 검증하는 등의 추가적 분석이 필요하다.

둘째, 오염피난처가설의 효과를 제대로 파악하기 위해서는 에너지집약산업의 수출 및 수입 비중에 대한 정보를 이용하여 분석을 수행해야 한다. 하지만 본 연구에서는 자료수집상의 한계로 인하여 세부적인 수출, 수입비중이 아닌 전체 상품에 대한 수출, 수입비중 변수를 활용하였다. 향후 연구에서는 세부적인 데이터를 확보할 수 있는 일부 국가를 대상으로 추가적인 분석이 필요하다.

[References]

- 김재혁·조하현, “1인당 탄소배출 수렴가설 검증: 105 개국 동태적 패널임계 분석”, 국제 통상 연구, 제22권 제1호, 2017, pp. 123~154.
- 노동운, “최근 세계 온실가스 배출추이와 시사점”, KEEI 세계 에너지 시장 인사이트, 제16권 제5호, 2016.2.
- 이상준, “주요국의 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향과 시사점”, KERI Insight, 제17권 제6호, 2017.
- 조상섭·강신원·김동엽, “비정태적 패널자료를 이용한 환경 쿠즈네츠가설에 대한 실증 분석

- OECD 17 개국 사례분석”, 자원·환경경제연구, 제10권 제4호, 2001, pp. 619~633.
- 최충익·김지현, “경제성장과 환경오염간의 관계에 대한 국제비교연구: CO₂의 환경쿠즈네츠 곡선 검증을 중심으로”, 국토계획, 제41권 제1호, 2006, pp. 153~166.
- Andersson, Fredrik NG, and Peter Karpestam. “CO₂ emissions and economic activity: Short-and long-run economic determinants of scale, energy intensity and carbon intensity,” *Energy Policy*, Vol. 61, 2013, pp. 1285~1294.
- Ang, B. W., “The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide,” *Energy Policy*, Vol. 33, No. 7, 2005, pp. 867~871.
- Arellano, M. and S. Bond, “Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations,” *The Review of Economic Studies*, Vol. 58, No. 2, 1991, pp. 277~297.
- Arellano, M. and O. Bover, “Another look at the instrumental variable estimation of error-components models,” *Journal of Econometrics*, Vol. 68, No. 1, 1995, pp. 29~51.
- Beckerman, W., “Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?,” *World Development*, Vol. 20, No. 4, 1992, pp. 481~496.
- Bimonte, S., “Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve,” *Ecological Economics*, Vol. 41, No. 1, 2002, pp. 145~156.
- Blundell, R. and S. Bond, “Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models,” *Journal of Econometrics*, Vol. 87, No. 1, 1998, pp. 115~143.
- Coondoo, D. and S. Dinda, “Carbon dioxide emission and income: A temporal analysis of cross-country distributional patterns,” *Ecological Economics*, Vol. 65, No. 2, 2008, pp. 375~385.
- Dutt, K., “Governance, institutions and the environment-income relationship: a cross-country study,” *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 11, No. 4, 2009, pp. 705~723.
- Grand, M. C., “Carbon emission targets and decoupling indicators,” *Ecological Indicators*, Vol. 67, 2016, pp. 649~656.
- Gupta, S., “Decoupling: a step toward sustainable development with reference to OECD countries,” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 22, No. 6, 2015, pp. 510~519.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II

- and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Iwata, H., K. Okada, and S. Samreth, "A note on the environmental Kuznets curve for CO₂: a pooled mean group approach," *Applied Energy*, Vol. 88, No. 5, 2011, pp. 1986~1996.
- Kaika, D., and E. Zervas, "The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory—Part A: Concept, causes and the CO₂ emissions case," *Energy Policy*, Vol. 62, 2013, pp. 1392~1402.
- Kaika, D., and E. Zervas, "The Environmental Kuznets curve (EKC) theory—Part B: Critical issues," *Energy Policy*, Vol. 62, 2013, pp. 1403~1411.
- Kaya, Y., "Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios," Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, 1989 May.
- Levinson, A., and S. Taylor, "Trade and the environment: Unmasking the pollution haven," Georgetown University (2004).
- Lu, I. J., S. J. Lin, and C. Lewis, "Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea," *Energy Policy*, Vol. 35, No. 6, 2007, pp. 3226~3235.
- Magnani, E., "The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution," *Ecological Economics*, Vol. 32, No. 3, 2000, pp. 431~443.
- Neumayer, E., "Is economic growth the environment's best friend?," *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, Vol. 21, 1998, pp. 161~176.
- OECD, "Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth," *Sustainable development SG/SD*, 2002.
- Panayotou T. Economic growth and the environment. The environment in anthropology. 2016 Apr 26:140-8.
- Perrings, Charles, and Alberto Ansuategi, "Sustainability, growth and development," *Journal of Economic Studies*, Vol. 27, No. 1/2, 2000, pp. 19~54.
- Roodman, D., "How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata," *The Stata Journal*, Vol. 9, No. 1, 2009, pp. 86~136.
- Ru, X., S. Chen, and H. Dong, "An empirical study on relationship between economic growth

- and carbon emissions based on decoupling theory,” *Journal of Sustainable Development*, Vol. 5, No. 8, 2012.
- Shafik, Nemat, and Sushenjit Bandyopadhyay. Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence. Vol. 904. World Bank Publications, 1992.
- Suri, V., and D. Chapman, “Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve,” *Ecological Economics*, Vol. 25, No. 2, 1998, pp. 195~208.
- Tapio P. “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*, Vol. 12, No. 2, 2005 , pp. 137~151.
- Torras, M., and J. K. Boyce, “Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve,” *Ecological Economics*, Vol. 25, No. 2, 1998, pp. 147~160.
- Wang, W., Y. Kuang, N. Huang, and D. Zhao, “Empirical research on decoupling relationship between energy-related carbon emission and economic growth in Guangdong province based on extended kaya identity,” *The Scientific World Journal*, 2014.
- Wang, W., R. Liu, M. Zhang, and H. Li, “Decomposing the decoupling of energy-related CO₂ emissions and economic growth in Jiangsu Province,” *Energy for Sustainable Development*, Vol. 17, No. 1, 2013, pp. 62~71.
- Windmeijer, F., “A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators,” *Journal of Econometrics*, Vol. 126, No. 1, 2005, pp. 25~51.

[부록]

〈부록 표 1〉 분석대상 국가 목록

소득 구분	국가코드(국가명)
고소득 (High income) 총 38개 국가	ARG(아르헨티나), AUS(호주), AUT(오스트리아), BEL(벨기에), CAN(캐나다), CHE(스위스), CHL(칠레), CYP(키프로스), CZE(체코), DEU(독일), DNK(덴마크), ESP(스페인), EST(에스토니아), FIN(핀란드), FRA(프랑스), GBR(영국), GRC(그리스), HRV(크로아티아), HUN(헝가리), IRL(아일랜드), ISL(아이슬란드), ISR(이스라엘), ITA(이탈리아), JPN(일본), KOR(대한민국), LTU(리투아니아), LUX(룩셈부르크), LVA(라트비아), NLD(뉴질랜드), NOR(노르웨이), POL(폴란드), PRT(포르투갈), RUS(러시아), SVK(슬로바키아), SVN(슬로베니아), SWE(스웨덴), URY(우르과이), USA(미국)
중상소득 (Upper Middle income) 총 14개 국가	BGR(불가리아), BRA(브라질), COL(콜롬비아), CRI(코스타리카), ECU(에콰도르), JOR(요르단), MEX(멕시코), MYS(말레이시아), PAN(파나마), PER(페루), THA(태국), TUN(튀니지), TUR(터키), ZAF(남아프리카공화국)
중하소득 (Lower Middle income) 총 11개 국가	ARM(아르메니아), EGY(이집트), GTM(과테말라), HND(온두라스), IND(인도), KEN(케냐), MAR(모로코), PHL(필리핀), SLV(엘살바도르), UKR(우크라이나), VNM(베트남)
저소득 (Low income)	-

주1. 소득구분은 World Bank의 2014년 기준에 따라 설정하였음

주2. 국가코드는 World Bank의 국가코드를 이용함

〈부록 표 2〉 국가별 탈동조화지수 수준

국가 코드	1989	1994	1999	2004	2009	2014	국가 코드	1989	1994	1999	2004	2009	2014
ARG	-0.08	0.07	0.06	-0.03	0.03	0.07	ITA	0.09	0.03	0.04	0.03	0.05	0.15
ARM				0.25	0.18	0.02	JOR	-0.18	-0.20	0.04	0.04	0.11	0.11
AUS	0.06	0.08	0.05	0.09	0.05	0.11	JPN	0.17	0.03	0.01	0.01	0.07	0.01
AUT	0.08	0.09	0.05	0.04	0.08	0.13	KEN	0.29	-0.07	-0.38	0.16	0.05	-0.01
BEL	0.19	0.06	0.05	0.14	0.16	0.10	KOR	0.15	0.07	0.03	0.11	0.15	0.00
BGR	0.14	0.20	0.15	0.22	0.20	0.15	LTU				0.36	0.20	0.10
BRA	0.03	-0.04	-0.13	-0.01	0.09	-0.08	LUX	0.24	0.16	0.36	0.08	0.01	0.13
CAN	0.13	0.06	0.03	0.09	0.08	0.11	LVA				0.37	0.22	0.03
CHE	0.07	0.05	0.08	0.09	0.11	0.14	MAR	0.09	-0.08	-0.04	0.01	-0.02	0.04
CHL	0.03	0.04	-0.12	0.12	0.07	0.03	MEX	-0.06	0.09	0.05	0.01	0.00	0.09
COL	0.09	0.02	0.15	0.16	0.08	0.00	MYS	-0.04	-0.21	-0.07	0.02	0.01	0.02
CRI	-0.06	-0.11	-0.05	0.00	0.03	0.17	NLD	0.11	0.07	0.06	0.14	0.10	0.04
CYP	0.09	0.01	0.05	0.02	0.07	0.16	NOR	0.06	0.33	0.10	-0.01	-0.05	-0.03
CZE				0.12	0.22	0.17	PAN	0.17	-0.13	-0.07	-0.03	0.13	0.09
DEU				0.11	0.11	0.10	PER	0.05	-0.06	0.06	0.05	-0.08	-0.01
DNK	0.08	0.06	0.06	0.23	0.14	0.20	PHL	0.03	-0.23	-0.17	0.08	0.20	0.03
ECU	0.14	0.08	-0.03	-0.03	-0.03	0.01	POL			0.25	0.26	0.17	0.18
EGY	-0.01	0.05	-0.08	-0.01	-0.06	0.09	PRT	0.00	-0.15	-0.06	0.01	0.11	0.19
ESP	0.16	0.04	0.00	-0.01	0.08	0.22	RUS				0.19	0.23	0.07
EST				0.31	0.21	-0.11	SLV	-0.24	-0.25	-0.20	-0.01	0.04	0.08
FIN	0.05	0.05	0.04	0.12	0.16	0.11	SVK				0.19	0.28	0.22
FRA	0.22	0.16	0.09	0.09	0.09	0.13	SVN				0.17	0.12	0.10
GBR	0.13	0.12	0.15	0.14	0.13	0.15	SWE	0.18	0.16	0.08	0.15	0.21	0.07
GRC	-0.17	-0.08	0.01	0.07	0.12	0.04	THA	-0.05	-0.17	-0.22	-0.06	0.04	0.02
GTM	-0.03	-0.22	-0.11	-0.16	0.06	0.06	TUN	-0.01	-0.01	0.09	0.02	0.09	0.00
HND	-0.01	-0.11	-0.25	-0.23	0.00	0.04	TUR	-0.11	0.00	-0.02	0.02	0.04	0.05
HRV				0.03	0.13	0.13	UKR				0.25	0.29	0.11
HUN				0.21	0.17	0.16	URY	0.18	0.04	-0.03	0.07	-0.15	0.18
IND	-0.08	-0.09	0.03	0.10	0.08	0.05	USA	0.14	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11
IRL	0.02	0.14	0.18	0.19	0.19	0.19	VNM		0.25	-0.20	-0.27	-0.12	-0.02
ISL	0.11	-0.01	0.04	0.15	0.20	0.14	ZAF	-0.15	0.08	-0.05	0.09	0.04	0.10
ISR	-0.04	-0.14	0.01	0.05	0.13	0.09							

주. 국가코드는 World Bank의 국가코드를 이용함

〈부록 표 3〉 탈동조화 결정요인 변수들 사이의 상관계수

	1인당 GDP	서비스 업 비중	제조업 성장률	서비 스업 성장률	민주화 지수	인적자 본 지수	신재생 에너지 비율	수출 비중	수입 비중
1인당 GDP	1								
서비스업 비중	0.62	1							
제조업 성장률	-0.31	-0.41	1						
서비스업 성장률	-0.35	-0.46	0.56	1					
민주화 정도 지수	-0.57	-0.60	0.20	0.29	1				
인적자본 지수	0.66	0.54	-0.13	-0.32	-0.59	1			
신재생에너 지 비율	0.12	0.14	-0.11	-0.20	-0.15	0.02	1		
수출 비중	0.34	0.24	0.05	0.01	-0.11	0.29	0.05	1	
수입 비중	0.16	0.19	0.09	0.07	-0.01	0.18	0.07	0.94	1

주. 변수들은 모두 5년 이동평균 값을 사용함