에너지경제연구 제23권 제1호
Korean Energy Economic Review
Volume 23, Number 1, March 2024: pp. 107~124
DOI: https://doi.org/10.22794/keer.2024.23.1.005

중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지의 동태적 관계 분석

김윤경* · YuFeier** · 이원경***

요 약

본 연구는 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량간의 동태적 관계를 분석하여 재생에너지의 역할을 규명하고자 1980년부터 2021년까지의 공표 데이터를 이용하여 VAR 모형 추정과 Granger 인과관계 검정을 실시하였다. 2021년 기준으로 중국의 이산화탄소 배출량은 11,420 CO_2-Mt으로 세계의 이산화탄소 배출량 1/3을 차지하므로 세계의 기후 위기를 완화하고자 할 때 중국의 이산화탄소 배출량 감소는 매우 중요한 역할을 할 수 있기 때문이다. 분석에서는 중국 재생에너지 발전량 증가가 이산화탄소 배출량 저감에 유의한 영향을 미친다는 결과를 도출하지 못하였다. 분석결과에 따르면 중국의 전년도 GDP 성장률이 10% 일 때에 중국의 이산화탄소 배출량을 1.4%만큼 증가시켰지만, 이와 함께 중국의 전년도 이산화탄소 배출량 증가율이 10% 일 때에 중국의 재생에너지를 5%만큼 증가시켰다. 이러한 결과는 중국에서 경제성장이 이루어지면서 이산화탄소 배출량이 증가하여 환경질이 악화되면, 재생에너지 이용에 대한 인식이 커져서 재생에너지 보급이 많아진다는 것을 의미한다. 이는 전원 구성에서의 재생에너지 비중보다는 재생에너지의 필요성에 대한 인식이 이산화탄소 배출 저감에 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다.

주요 단어 : 이산화탄소, 재생에너지, 경제성장, 중국, 백터자기회귀모형
경제학문헌목록 주제분류 : Q42, Q50

* 이화여자대학교 경제학과 교수(주저자) (e-mail: yoonkkim@ewha.ac.kr)
** 이화여자대학교 경제학과 석사 (e-mail: fisher@ewhain.net)
*** 세종대학교 중국통상학과 조교수(교신저자) (e-mail: wklee@sejong.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

경제성장의 과정에서 에너지 소비는 함께 증가하는 커플링 경향을 갖는다. 선진국을 중심으로 이와 같은 커플링 현상은 완화되고 있지만, 개발도상국처럼 높은 수준의 경제성장을 하는 국가들에서는 여전히 이러한 현상이 나타나고 있다. 중국의 경우도 예외는 아니다. 白卫国(2010)와 Wang and Lin(2017)에 따르면, 중국에서 경제성장은 이산화탄소 배출을 증가시켜 왔다.[1] 중국은 1978년 개혁개방 이후에 경제가 급속히 성장하여 세계 2위의 경제대국이 되었지만, 이와 함께 세계 최대의 에너지 소비국이 되었고 세계 최대의 이산화탄소 배출국이 되었다. U.S. Energy Information Administration(EIA)에 따르면, 2021년 기준으로 중국의 이산화탄소 배출량(11,420 CO_2-Mt)[2]은 세계의 이산화탄소 배출량(35,463 CO_2-Mt)에서 1/3을 차지했고,[3] 중국 온실가스 배출량의 약 90%는 에너지 생산으로부터 발생했다. 이러한 비중을 고려하면, 세계의 기후 위기를 완화하고자 할 때 중국의 이산화탄소 배출량 감소가 매우 중요한 역할을 하게 되므로 그 원인인 전원 구성의 변화를 고려해야 한다.

이에 중국 정부도 이산화탄소의 배출을 감소시키기 위해서 재생에너지의 개발과 활용에 초점을 두고 있다. 그리고 2020년 9월에 중국은 2030년 이전에 이산화탄소 배출량 정점에 도달한 뒤에 2060년에 탄소 중립을 달성하겠다고 밝혔으며,[4] 이는 중국이 기후변화에 대해서 최초로 언급한 것이기도 하다.

중국의 에너지 소비를 보면 1980년에 화석에너지의 비중은 97%이고 재생에너지의 비중은 3%였다. 그러나, 2021년에 화석에너지의 비중은 85%로 감소하고 재생에

1) Aslam et al.(2021)에 따르면, 중국의 경우에 경제성장은 이산화탄소 배출을 감소시켰다.
2) https://www.eia.gov/international/data/country/CHN
3) https://www.eia.gov/international/data/world
4) 우리나라(2020년 10월에 2050 탄소중립 선언)를 포함하여 약 140여개국은 2050 탄소중립을 선언하였다. 그리고 2021년 11월에 인도는 2070 탄소중립을, 네팔은 2045 탄소중립을 선언하였다.

너지의 비중은 12%로 증가하였다.[5] 또한, 중국 재생가능에너지발전보고 2022(水电水利设计总院, 2022)에 따르면, 2022년 중국의 재생에너지 발전설비 용량(1,231 GW)은 석탄화력발전 설비용량(1,120GW)보다 컸다. 2023년 중국 국가 에너지국의 발표에 따르면, 태양광과 풍력의 연간 발전량은 2022년에 처음으로 1,000 TWh를 상회했다(水电水利设计总院, 2023).중국은 재생에너지를 이산화탄소 배출을 저감하는 전원의 하나로만 고려하지 않고 태양광 모듈을 중심으로 주요 산업의 하나로도 인식하고 있다. 이에 2005년에 발표한 제11차 5개년 계획(第十一个五年规划)(2006년~2010년)에서는 재생에너지 산업 발전을 주요 목표의 하나로 제시하기도 했다.

중국에서의 재생에너지 발전 및 확대가 중국의 환경질 개선에 미친 영향을 분석한 선행연구를 보면, 王亮·赵涛(2013)는 1980년부터 2009년까지 재생에너지 소비가 이산화탄소 배출에 유의한 영향을 미치지 않는다고 밝혔고 邱庆全 外(2017)는 1980년부터 2012년까지의 재생에너지 소비가 탄소 배출 감소에 긍정적인 영향을 미친다는 결과를 도출하였다. 두 연구는 모두 시계열 분석 모형에 중국의 연도별 1인당 국내총생산, 1인당 재생에너지 소비량 변수를 포함한다는 점에서 공통점이 있으나, 王亮·赵涛(2013)은 환경질 변수를 탄소배출량[6]으로 측정하였고, 邱庆全 外(2017)는 世界资源研究所(세계자원연구소)의 이산화탄소 배출량으로 측정하여 모형에 포함하고 있다는 점에서 차이가 있다.

중국의 성별 패널 데이터에 대한 분석으로는 Zheng et al.(2021)과 Yu et al.(2020)의 연구가 있다. 두 연구의 패널 분위수 회귀모형을 이용한 분석 결과에 따르면, 재생에너지 발전량이 탄소 배출량을 감소시키는 데에 긍정적인 영향을 주는 것으로 확인되었다. 그러나 추가적으로 경로분석을 수행한 Zheng et al.(2021)의 연구에 따르면, 재생에너지 발전량이 아직 탄소 배출을 억제하기 위한 최소 소비 임계값에 도달하지 않았기 때문에 재생에너지 발전량의 직접적인 영향은 적은 것으로 나타났다. 여러 국가들을 대상으로 한 Antonakakis et al.(2017)의 연구에 따르면 재생에너지 소비

5) https://www.eia.gov/international/data/world

6) 「국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」의 탄소배출계수와 中国统计年鉴(중국통계연감)의 에너지 소비데이터를 이용하여 탄소배출량을 계산하였다.

가 이산화탄소 배출량에 영향을 주지 않으나, Li et al.(2022)에 따르면 재생에너지는 생태발자국으로 측정한 환경질을 개선한다.

이에 본 연구에서는 중국의 1980년부터 2021년까지를 대상으로 중국에서 재생에너지 발전량이 경제성장과 이산화탄소 배출량 변화에 미치는 영향을 벡터자기회귀(vector autoregression: VAR)모형을 이용해서 분석한다. Alam et al.(2016)과 Abbasi et al.(2022)에 따르면, 중국의 경제성장과 이산화탄소 배출량 간의 관계는 경제수준에 따라 혹은 시간에 따라 변화한다. 따라서 약 40년에 걸친 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량 및 재생에너지에 대한 시계열 데이터 분석을 통해 중국의 경제성장 과정과 이산화탄소 배출에서 재생에너지의 역할을 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II에서는 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량 추세를 정리한다. III에서는 중국의 경제성장과 이산화탄소 배출에서 재생에너지의 역할을 분석하기 위한 분석모형을 설정한다. IV에서는 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량간의 동태적 관계를 추정하여 중국에서의 재생에너지의 역할을 평가한다. V에서는 분석 결과를 정리하고 결론을 제시한다.

Ⅱ. 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량 및 재생에너지 동향

중국은 개혁개방 이후에 급속하게 경제성장을 하여 <표 1>과 같이 1980년에 약 4,623억 위안이었던 중국의 국내총생산(GDP)는 2021년에 115조 위안으로 약 250배 이상 증가하였다. 그러나 이러한 경제성장은 이산화탄소 배출량을 증가시켰고, 이는 궁극적으로 환경질을 악화시켰다. <표 1>에서 볼 수 있듯이, 1980년부터 중국의 이산화탄소 배출량은 지속적으로 증가하였으며, 1980년의 1,597 CO_2-Mt부터 2021년의 11,420 CO_2-Mt로 7배 이상 증가하였다. 특히, 2001년에 중국이 WTO (World Trade Organization)에 가입한 이후에 시장 개방을 확대하면서 세계의 공장

역할을 담당하게 되었고 이산화탄소 배출량의 증가는 가속화되었다. 이산화탄소 배출량의 연평균 증가율을 보면, 2000년부터 2005년까지는 11.9%였고 2005년부터 2010년까지는 8.0%였다. U.S. EIA에 따르면, 2005년부터 중국은 이산화탄소 배출량에서 세계 1위를 차지하고 있다.

이에 중국 정부는 2010년에 발표한 제12차 5개년 계획(第十二个五年规划)(2011년~2015년)에서 이산화탄소 배출량을 감축하는 목표를 세웠다. 그리고 이를 실현하기 위하여 에너지 소비구조의 개선, 산업구조의 조정, 재생에너지의 개발과 활용, 재생에너지 기술과 산업 발전에 대한 지원, 삼림의 증가 등과 같은 다양한 방안을 제시하였다. 이와 같은 이산화탄소 배출량 감축 정책으로 이산화탄소 배출량의 연평균 증가율은 2010년부터 2015년까지 3.0%, 2015년부터 2020년까지 0.8%, 2020년부터 2021년까지 1.0%로 둔화되었다(<표 1> 참조).

〈표 1〉 1980년~2021년 중국의 국내총생산 및 이산화탄소 배출량 추이

연도	국내총생산		이산화탄소 배출량	
	금액 (조 위안)	증가율 (%)	배출량 (CO_2-Mt)	증가율 (%)
1980	0.5	-	1,596.7	-
1985	0.9	14.7	2,067.0	5.3
1990	1.9	15.7	2,417.2	3.2
1995	6.1	26.6	3,140.3	5.4
2000	10.0	10.3	3,482.7	2.1
2005	18.7	13.3	6,120.1	11.9
2010	41.2	17.1	9,003.7	8.0
2015	68.9	10.8	10,427.1	3.0
2020	101.4	8.0	10,841.5	0.8
2021	114.9	2.1	11,420.2	1.0

주: 증가율은 5년간의 증가율이다.

자료: 中华人民共和国国家统计局(https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01), EIA(https://www.eia.gov/international/data/country/CHN/other-statistics/emissions-by-fuel)

〈표 2〉 1980년~2021년 중국의 전원별 발전량

연도	재생에너지		화석연료		원자력		계
	발전량 (TWh)	비중 (%)	발전량 (TWh)	비중 (%)	발전량 (TWh)	비중 (%)	발전량 (TWh)
1980	58	20.3	228	79.7	0	0	286
1985	91	23.3	299	76.7	0	0	390
1990	125	21.2	465	78.8	0	0	590
1995	188	19.7	756	79.1	12	1.3	956
2000	223	17.4	1,041	81.3	16	1.3	1,280
2005	398	16.8	1,925	81.1	50	2.1	2,373
2010	784	19.6	3,133	78.5	74	1.9	3,991
2015	1,398	25.0	4,022	71.9	171	3.1	5,591
2020	2,175	29.1	4,926	66.0	366	4.9	7,467
2021	2,363	28.9	5,392	66.1	408	5.0	8,163

자료: 中华人民共和国国家统计局(https://data.stats.gov.cn), EIA(https://www.eia.gov)

중국의 재생에너지 발전량은 1980년부터 2021년까지 꾸준히 증가하여 2021년에는 2,363TWh로 1980년의 58TWh에 비해 약 41배 증가했다(<표 2> 참조). 재생에너지 발전량이 전체 발전량에서 차지하는 비중은 발전설비의 저조한 이용률로 인해 화석연료 발전량이 차지하는 비중보다는 낮다. 그러나 <표 2>에서 알 수 있듯이 재생에너지 발전량의 비중이 2005년부터 급속하게 증가하여 1980년에 약 20%였지만 2021년에는 약 29%에 이르렀다. 이는 중국 정부가 1990년대 이전에는 농촌의 연료 부족을 해결하기 위해서 재생에너지를 개발하였으나, 1990년대부터는 환경 문제를 고려하여 재생에너지의 활용 범위를 전국으로 확장하였기 때문이다(위페이얼, 2024).

중국 정부는 재생에너지를 확대하기 위하여 관련 법률들을 제정하여 정책 실시의 근거를 마련하였다. 1995년에 「중화인민공화국 전력법(中华人民共和国电力法)」을 제정하고 1998년에는 「중화인민공화국 에너지절약법(中华人民共和国节约能源法)」을 제정하여 전원 개발 및 에너지 절약 측면에서 재생에너지의 개발 및 활용을 강조하였다. 2006년에 제정한 「중화인민공화국 재생가능에너지법(中华人民共

和国可再生能源法)」에는 재생에너지의 보급, 활용·촉진, 기술 개발 및 산업 발전을 포함시켜 중국의 재생에너지 발전에 대한 법적 기반을 마련하였다(Fang, 2011). 그리고 제11차 5개년 계획(第十一个五年规划)(2006년~2010년)에서는 재생에너지 개발과 활용 목표를 제시하였다.

재생에너지 설비 용량 및 발전량의 확대와 함께 중국의 태양광 모듈 생산량도 2005년부터 2021년까지 1,247배 증가하여 2021년에는 182GW를 달성하였다(<표 3> 참고). 중국은 2007년에 세계 최대의 태양광 모듈 생산국이 되었으며, IEA-PVPS (2021)에 따르면 2021년에 중국은 세계 태양광 모듈 생산량의 82.3%를 차지하였다.

〈표 3〉 2005년~2021년 중국의 태양광 모듈 생산량 추이(단위: MW)

	2005	2010	2015	2020	2021
생산량(MW)	146	10,800	43,900	124,600	182,000
증가율(%)	-	136.5	32.4	23.2	46.1

주: 증가율은 5년간의 연평균 증가율이다.
자료: IEA-PVPS(2013), IEA-PVPS(2016), IEA-PVPS(2022)

Ⅲ. 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지의 동태적 관계 분석 모형

본 연구는 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량 사이의 동태적 관계를 추정하여 중국에서의 재생에너지 역할을 분석한다. 분석에서는 1980년부터 2021년까지의 중국의 국내총생산,[7] 이산화탄소 배출량,[8] 재생에너지 발전량[9]의 연간 데이터를 사용한다. 각 통계는 중국 국가통계국(National Bureau of Statistics

7) 中华人民共和国国家统计局(https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01)
8) EIA(https://www.eia.gov/international/data/country/CHN)
9) EIA(https://www.eia.gov/international/data/country/CHN/electricity/)

of China: NBS)와 EIA의 공표데이터이다. 이산화탄소 배출량은 중국 전역에서의 석유, 천연가스, 석탄 등의 에너지원 소비로 인한 이산화탄소 배출량으로 측정된다. 재생에너지 발전량은 수력 발전 및 비수력 발전[10] 에너지량을 모두 포함한다. 재생에너지는 전력 수요와 다른 전원의 발전량에 맞추어서 출력 제어(curtailment)되므로 재생에너지 발전 수준을 나타내는 통계로 재생에너지 발전량을 사용한다. Yu et al.(2020)도 출력 제어를 고려하면 재생에너지 발전량이 재생에너지 발전 수준을 나타내는 통계로 적절하다고 언급하였다.

<표 4>는 분석에 사용하는 데이터들의 기초 통계량을 정리한 것이다. 1980년부터 2021년까지 중국 국내총생산의 연평균 증가율은 13.5%, 중국 이산화탄소 배출량의 연평균 증가율은 4.8%, 중국 재생에너지 발전량의 연평균 증가율은 9%였다.

〈표 4〉 기초 통계량

변수	변수 의미	관측수	평균	표준편차	최소	최대
Δ Ln*GDP*	GDP 증가율	41	0.1347	0.0615	0.0271	0.3100
Δ Ln*CO2*	이산화탄소 배출량 증가율	41	0.0480	0.0458	-0.0303	0.1888
Δ Ln*REG*	재생에너지 발전량 증가율	41	0.0904	0.0626	-0.0140	0.2312

<표 5>는 중국의 국내총생산, 중국의 이산화탄소 배출량, 중국의 재생에너지 발전량 데이터의 단위근 유무를 확인하기 위해 실시한 ADF 검정의 결과이다. 분석 결과에 따르면, 각 변수의 로그값인 Ln*GDP*, Ln*CO2*, Ln*REG*는 모두 안정적이지 않으며(non-stationary), 각 변수의 로그값들을 1차 차분한 변수(Δ Ln*GDP*, Δ Ln*CO2*, Δ Ln*REG*)들은 모두 안정적(stationary)이다. 따라서 각 통계값들을 1차 차분하여 VAR(Vector Autoregression) 모형과 Granger 인과관계 분석에서 사용한다.

<표 5>의 단위근 검증 결과에 따르면 각 변수의 로그 변환 값들은 안정적이지 않으므

10) 비수력 발전에는 지열 발전, 태양광, 조력, 파력, 연료전지, 풍력, 바이오매스 및 폐기물 발전을 모두 포함한다.

로 로그 변환 값들 사이의 공적분 관계를 검증한다. <표 6>의 Johansen 검정(Johansen Cointegration test)의 결과에 따르면, 로그 변환 값들 사이에는 공적분 관계가 존재하지 않는다. 따라서 실증분석에서는 VAR모형과 로그 차분된 변수를 이용한다.

〈표 5〉 ADF(Augmented Dickey Fuller) 단위근 검정 결과

수준변수	P-value	결과	차분변수	P-value	결과
Ln*GDP*	0.3150	불안정	Δ Ln*GDP*	0.0276	안정
Ln*CO2*	0.9042	불안정	Δ Ln*CO2*	0.0150	안정
Ln*REG*	0.9022	불안정	Δ Ln*REG*	0.0000	안정

〈표 6〉 Johansen 공적분 검정 결과

rank	트레이스(Trace) 검정			최대고유치(Maximum Eigenvalue) 검정		
	고유치 (Eigenvalue)	트레이스 통계량	5% 임계치	고유치 (Eigenvalue)	최대고유치 통계량	5% 임계치
0	.	21.0628	29.68	.	9.9275	20.97
1	0.2151	11.1354	15.41	0.2151	8.3913	14.07
2	0.1851	2.7440	3.76	0.1851	2.7440	3.76
3	0.0647	-	-	0.0647	-	-

실증분석을 위한 VAR 모형은 식 (1)~식 (3)과 같다. t기의 중국의 국내총생산, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량을 각각 종속변수로 설정하고, 각 변수의 시차변수와 여타 변수의 시차변수를 설명변수로 설정한다.

$$\Delta \mathrm{Ln}(GDP_t) = \mu_1 + \sum_{p=1}^{P} \alpha_{1p} \Delta \mathrm{Ln}(GDP_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} b_{1p} \Delta \mathrm{Ln}(CO2_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} c_{1p} \Delta \mathrm{Ln}(REG_{t-p}) + \epsilon_{1t} \quad (1)$$

$$\Delta \mathrm{Ln}(CO2_t) = \mu_2 + \sum_{p=1}^{P} \alpha_{2p} \Delta \mathrm{Ln}(GDP_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} b_{2p} \Delta \mathrm{Ln}(CO2_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} c_{2p} \Delta \mathrm{Ln}(REG_{t-p}) + \epsilon_{2t} \quad (2)$$

$$\Delta \mathrm{Ln}(REG_t) = \mu_3 + \sum_{p=1}^{P} \alpha_{3p} \Delta \mathrm{Ln}(GDP_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} b_{3p} \Delta \mathrm{Ln}(CO2_{t-p}) + \sum_{p=1}^{P} c_{3p} \Delta \mathrm{Ln}(REG_{t-p}) + \epsilon_{3t} \quad (3)$$

$\Delta \mathrm{Ln}(GDP)$	중국 GDP 성장률
$\Delta \mathrm{Ln}(CO2)$	중국 이산화탄소 배출량의 증가율
$\Delta \mathrm{Ln}(REG)$	중국 재생에너지 발전량 증가율
ϵ_{it}	오차항
t	연도
p	시차

Ⅳ. 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지의 동태적 관계에 대한 실증분석 결과

<표 7>은 AIC, HQIC, SBIC를 이용하여 선택한 VAR(1) 모형으로 추정한 계수값들이다. 중국 국내총생산(GDP)의 성장률($\Delta \mathrm{Ln}GDP_t$)에 대해서는 1차 자기 시차변수($\Delta \mathrm{Ln}GDP_{t-1}$)만이 통계적으로 유의하며, 그 외의 변수들은 통계적으로 유의하지 않다. 중국의 이산화탄소 배출량의 증가율($\Delta \mathrm{Ln}CO2_t$)에 대해서는 1차 자기 시차변수($\Delta \mathrm{Ln}CO2_{t-1}$)와 중국 GDP 성장률의 1차 시차변수($\Delta \mathrm{Ln}GDP_{t-1}$)가 유의한 영향을 준다. 추정 결과에 따르면, 중국의 GDP가 10% 만큼 증가할 때 중국의 이산화탄소 배출량은 1.4% 상승한다. 중국의 재생에너지 발전량의 증가율($\Delta \mathrm{Ln}REG_t$)에 대해서는 중국의 이산화탄소 배출량의 증가율의 1차 시차변수($\Delta \mathrm{Ln}CO2_{t-1}$)가 통계적으로 유의하다. 추정 결과에 따르면, 중국의 이산화탄소 배출량이 10% 증가할 때 중국의 재생에너지 발전량은 5% 증가한다.

그러나 중국 재생에너지 발전량의 증가는 중국의 경제성장이나 이산화탄소 배출

량 저감에 유의한 영향을 주지 않는다. 이와 같은 분석 결과는 Antonakakis et al.(2017), 王亮·赵涛(2013)의 연구 결과와 일치한다. 아직까지 재생에너지의 도입은 중국의 이산화탄소 배출량을 감소시키거나 환경질을 개선하는 것에 기여한다고 보기 어렵다. 2021년 기준으로 중국의 발전량 대비 재생에너지 발전량의 비중은 세계의 평균인 28%[11]보다 약간 상회하는 29%에 머무르고 있으며 화석에너지 발전량의 비중은 66%였다.[12] 화석연료 발전량의 비중보다 재생에너지 발전량의 비중이 낮기 때문에 재생에너지가 환경질의 개선에 도움을 주지 못하고 있다(Wu et al., 2022). Li et al.(2023)은 재생에너지가 에너지 소비 구조에서 낮은 비중을 차지하는 원인이 송전망의 한계로 인해 재생에너지의 효율적 활용이 어렵기 때문이라고 지적했다.

중국에서의 이산화탄소 배출량 증가는 중국의 재생에너지 확대에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. t기의 중국의 이산화탄소 배출량이 10% 증가할 때, t+1기의 중국의 재생에너지 발전량은 5% 증가한다. 이는 Lin and Moubarak(2014)의 연구 결과와 일치한다. 환경질이 악화되면 국민과 정부는 재생에너지 보급 확대의 필요성을 인식하게 되어 재생에너지를 보다 적극적으로 도입하기 때문이다. 실증 분석에서 중국의 경제성장이 재생에너지 발전량을 증가시키는 직접적인 결과를 도출하지는 못했지만, 중국의 경제성장이 이산화탄소 배출량을 증가시키는 결과와 증가된 이산화탄소 배출량이 재생에너지 발전량을 증가시키는 결과로부터 중국의 경제성장이 재생에너지 발전량을 증가시키는 연결관계를 도출할 수 있다. 이는 경제성장에 따른 소득 증가가 국민들의 환경질 개선 요구를 높여 정부가 산업구조를 개선하고 환경보호 규제를 강화한다는 Ouyang et al.(2020) 및 Du et al.(2022)의 결과처럼 경제성장이 재생에너지 발전량 증가에 간접적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 그리고 국가의 소득이 증가함에 따라 정책과 환경 압력이 재생에너지 소비를 더욱 촉진시키는 결과를 도출한 Wang et al.(2020)의 연구 결과도 본 연구에서의 결과처럼 경제성장이 재생에너지 발전량 증가에 간접적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

11) Gibb et al.(2022)

12) https://www.eia.gov/international/data/country/CHN/electricity/electricity-generation

〈표 7〉 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지에 대한 VAR(1) 추정 결과

	Δ Ln*GDP*(식(1))		Δ Ln*CO2*(식(2))		Δ Ln*REG*(식(3))	
$\Delta \mathrm{Ln}GDP_{t-1}$	0.5801***	(0.1231)	-0.1417*	(0.0860)	-0.0781	(0.1689)
$\Delta \mathrm{Ln}CO2_{t-1}$	0.2619	(0.1673)	0.7984***	(0.1169)	0.4593**	(0.2296)
$\Delta \mathrm{Ln}REG_{t-1}$	-0.1587	(0.1106)	-0.0434	(0.0773)	-0.1461	(0.1518)

주: 1) 각 수치는 VAR 추정 계수이며, ( )는 표준오차이다.
2) * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01

<표 8>은 VAR(1), VAR(6), VAR(9) 모형에 기초한 Granger 인과관계 검정(Granger-causality test) 결과로부터 변수간 인과관계를 정리한 것이다. 적정시차를 고려한 VAR(1) 추정 결과에 따르면, 단방향으로 중국 GDP 성장율(Δ Ln*GDP*)은 중국 이산화탄소 배출량의 증가율(Δ Ln*CO2*)에 영향을 주고,[13] 단방향으로 중국 이산화탄소 배출량의 증가율(Δ Ln*CO2*)은 중국 재생에너지 발전량의 증가율(Δ Ln*REG*)에 영향을 준다. 그러나 중국 재생에너지 발전량의 증가율(Δ Ln*REG*)은 중국 이산화탄소 배출량의 증가율(Δ Ln*CO2*)이나 중국 GDP 성장율(Δ Ln*GDP*)에 영향을 주지 않는다. 이는 VAR 모형을 사용한 실증분석에서 중국의 경제성장이 이산화탄소 배출을 증가시키면 재생에너지 발전량을 증가시킨다는 결과로부터 중국의 경제성장이 재생에너지 발전량을 증가시킨다는 간접적인 연결 관계를 제시한 것과 일치한다.

시차를 확대한 VAR(6) 추정 결과와 VAR(9) 추정 결과에서는 변수들간의 양방향 인과관계가 추정되었다. VAR(6) 추정 결과에 따르면, 중국 재생에너지 발전량 증가율(Δ Ln*REG*)과 중국 GDP 성장률(Δ Ln*GDP*) 사이에, 그리고 중국 재생에너지 발전량 증가율(Δ Ln*REG*)과 중국 이산화탄소 배출량의 증가율(Δ Ln*CO2*) 사이에는 양방향의 인과관계가 존재한다. VAR(9) 추정 결과에 따르면, 각 변수 간에 모두 양방향 인과관계가 존재한다. Granger 인과관계 검정은 한 변수가 다른 변수에 대한 선행 여부를 검증하여 한 변수가 다른 변수에 원인이 될 가능성만을 확인하는 것이

13) Granger 인과관계 검정 결과의 분석에서 기술된 '영향을 준다'는 'Granger 인과한다'를 의미한다.

므로, Granger 인과관계 검정에서 시차를 확대하여 중국의 경제성장이 이산화탄소 배출량을 증가시키고 다시 재생에너지 발전량을 증가시키는 결과가 순환되고 있다는 점을 파악할 수 있다.

〈표 8〉 Granger 인과관계 검정 결과

		Lag1	Lag6	Lag9
1	Ln*GDP* → Ln*CO2*	0.099*	0.260	0.005***
	Ln*CO2* → Ln*GDP*	0.118	0.372	0.001***
2	Ln*GDP* → Ln*REG*	0.644	0.000***	0.000***
	Ln*REG* → Ln*GDP*	0.151	0.060*	0.000***
3	Ln*CO2* → Ln*REG*	0.045**	0.000***	0.000***
	Ln*REG* → Ln*CO2*	0.574	0.015**	0.000***

주: 1) 각 수치는 p 값을 나타낸다.
2) * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 중국의 경제성장, 이산화탄소 배출량, 재생에너지 발전량간의 동태적 관계를 분석하여 재생에너지의 역할을 규명하고자 하였다. VAR 모형 추정과 Granger 인과관계 검정에서는 중국 재생에너지 발전량 증가가 이산화탄소 배출량 감소에 유의하게 영향을 미친다는 결과를 도출하지 못하였다. 그러나 경제성장은 이산화탄소 배출량 증가에 영향을 미치고, 이산화탄소 배출량은 재생에너지 발전량 수준에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 중국의 전년도 GDP 성장률이 10% 일 때에 중국의 이산화탄소 배출량은 1.4%만큼 증가하였으며, 중국의 전년도 이산화탄소 배출량 증가율이 10% 일 때에 중국의 재생에너지 발전량은 5%만큼 증가했다. 이러한 결과는 중국에서 이산화탄소 배출량이 증가하여 환경질이 악화되면 재생에너지 이용에 대한 인식이 높아지고, 재생에너지를 보다 적극적으로 도입한다는 것을 의미

한다.

재생에너지가 중국의 이산화탄소 배출량 저감이나 환경질 개선에 기여하지 못한다는 분석 결과는 중국에서의 재생에너지 확대의 필요성을 제기한다. Wu et al. (2022)은 중국의 전원 구성에서 재생에너지가 차지하는 비중이 화석에너지의 비중보다 여전히 낮기 때문에 재생에너지가 환경질의 개선에 도움을 주지 못할 수 있다고 설명하였다. G7을 비롯한 세계 주요국을 보면, 발전량에 대한 재생에너지 비중은 화석에너지의 비중을 상회하고 있지 않지만 이산화탄소 배출량은 감소하고 있다.[14] IEA(2021)에 따르면, 2020년 기준의 재생에너지 발전량 비중은 독일 43.6%, 영국 43.1%, 이탈리아 41.5%, 프랑스 23.8%, 미국 19.7%, 캐나다 67.9%, 일본 19.8%이다. IEA에 따르면, 2021년 기준의 이산화탄소 배출량은 독일 664Mt, 영국 346Mt, 이탈리아 327Mt, 프랑스 317Mt, 미국 4,903Mt, 캐나다 554Mt, 일본은 1,060Mt이다.[15] 이 국가들의 이산화탄소 배출량은 모두 2000년에 비해서 감소하였다.[16] 세계 주요국의 사례는 전원 구성에서의 재생에너지 비중보다는 재생에너지의 필요성에 대한 인식이 이산화탄소 배출 저감에 더 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 그리고 본 연구의 실증분석 결과에서 나타났듯이 중국에서는 전기의 이산화탄소 배출량 증가가 이번 기의 재생에너지 발전량 증가로 이어지고 있으므로 이산화탄소 배출량에서 세계 1위를 차지하고 있는 중국에서 당분간은 재생에너지의 확대를 기대할 수 있다.

접수일(2024년 2월 13일), 수정일(2024년 2월 26일), 게재확정일(2024년 2월 26일)

14) 주요 선진국들은 전력부문의 탈탄소화를 추진하고 있다. 캐나다, 독일, 영국, 미국은 2035년을 전력부문 탈탄소화 목표년도로 제시하였고 이탈리아는 2030년에 재생에너지 70% 목표를 설정하였다. 이에 비해 프랑스는 전력부문에서 90%의 탈탄소화(원자력발전 포함)를 이루었다. 미국 DOE의 2035년 탈탄소시나리오에서 전원별 비중을 보면, 재생에너지 81.1% (태양광 37.0%, 풍력 37.3%, 수력 5.9%), 원자력 13.2%, 가스 5.1% 등이다. 호주의 정책목표 시나리오에 따르면 2030년 재생에너지 비율은 82%이고, 2043년에 석탄을 퇴출한다. 이에 따라서 CO_2 배출은 2030년에 42% 저감되고 2040년에는 거의 CO_2 zero를 달성하게 된다.

15) https://www.eia.gov/international/overview/world

16) 2000년 기준 이산화탄소 배출량은 독일 872Mt, 영국 570Mt, 이탈리아 452Mt, 프랑스 409Mt, 미국 5,889Mt, 캐나다 568Mt, 일본 1,233Mt이다.

◎ 참 고 문 헌 ◎

위페이얼(2024). “중국의 환경·산업 측면에서 본 재생에너지의 역할 연구.” 이화여자대학교 석사학위 논문.

Abbasi, K. R., Shahbaz, M., Zhang, J., Irfan, M. and Alvarado, R.(2022). “Analyze the environmental sustainability factors of China: The role of fossil fuel energy and renewable energy.” *Renewable Energy* 187 : 390-402.

Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M. and Ozturk, I.(2016). “Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth.” *Ecological Indicators* 70 : 466-479.

Antonakakis, N., Chatziantoniou, I. and Filis, G. (2017). “Energy consumption, CO2 emissions, and economic growth: An ethical dilemma.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 : 808-824.

Aslam, B., Hu, J., Shahab, S., Ahmad, A., Saleem, M., Shah, S. S. A., Javed, M. S., Aslam, M. K., Hussain, S. and Hassan, M.(2021). “The nexus of industrialization, GDP per capita and CO_2 emission in China.” *Environmental Technology & Innovation* 23 : 101674.

Du, Y., Liu, Y., Hossain, M. A. and Chen, S.(2022). “The decoupling relationship between China’s economic growth and carbon emissions from the perspective of industrial structure.” *Chinese Journal of Population, Resources and Environment* 20(1) : 49-58.

Fang, Y.(2011). “Economic welfare impacts from renewable energy consumption: The China experience.” *Renewable and sustainable energy Reviews* 15(9) : 5120-5128.

Gibb, D., Ledanois, N., Ranalder, L. and Yaqoob, H.(2022). Renewables 2022 global status report. REN21: Paris, France.

IEA(2021). An energy sector roadmap to carbon neutrality in China. Paris, France :

International Energy Agency.

IEA-PVPS(2013). Annual Report 2013. Paris, France : International Energy Agency.

IEA-PVPS(2016). Annual Report 2016. Paris, France : International Energy Agency.

IEA-PVPS(2021). National Survey Report of PV Power Applications in China 2021. Paris, France : International Energy Agency.

IEA-PVPS(2022). Annual Report 2022. Paris, France : International Energy Agency.

Li, R., Wang, X. and Wang, Q.(2022). "Does renewable energy reduce ecological footprint at the expense of economic growth? An empirical analysis of 120 countries." *Journal of Cleaner Production* 346 : 131207.

Li, Y., Wei, Y., Zhu, F., Du, J., Zhao, Z. and Ouyang, M.(2023). "The path enabling storage of renewable energy toward carbon neutralization in China." *eTransportation* 16 : 100226.

Lin, B. and Moubarak, M.(2014). "Renewable energy consumption–economic growth nexus for China." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40 : 111-117.

Ouyang, X., Fang, X., Cao, Y. and Sun, C.(2020). "Factors behind CO2 emission reduction in Chinese heavy industries: do environmental regulations matter?." Energy Policy 145 : 111765.

Wang, A. and Lin, B.(2017). "Assessing CO_2 emissions in China's commercial sector: Determinants and reduction strategies." *Journal of cleaner production* 164 : 1542-1552.

Wang, Q., Li, S. and Pisarenko, Z.(2020). "Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy--evidence from the G20 countries." *Energy* 209 : 118322.

Wu, J., Fu, Q., Sial, M. S., Pavel, C. D., Samad, S. and Matac, L. M.(2022). "Causal relationship between nuclear energy, carbon-di-oxide emission and economic growth. Empirical evidence from China." *Frontiers in Energy Research* 10 : 993818.

Yu, S., Hu, X., Li, L. and Chen, H.(2020). "Does the development of renewable energy promote carbon reduction? Evidence from Chinese provinces." *Journal of environmental*

management 268 : 110634.

Zheng, H., Song, M. and Shen, Z.(2021). “The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China.” *Energy* 237 : 121639.

邱庆全·李爽·夏青(2017). “中国可再生能源消费与能源碳排放影响关系研究.” 生态经济 33(2) ; 19-23.

白卫国(2010). “中国二氧化碳排放与经济发展的均衡分析.” 安徽农业科学 19 : 10355.

水电水利设计总院(2022). 中国可再生能源发展报告2021. http://www.creei.cn/web/content.html?id=2598 (검색일: 2023.12.15.).

水电水利设计总院(2023). 中国可再生能源发展报告2022. http://www.creei.cn/userfiles/site/735bdbbfd56241a78ae2895f232e95f1.pdf (검색일: 2023.12.15.).

王亮·赵涛(2013). “中国可再生能源消费, 经济增长与碳排放的动态关系.” 技术经济 32(11) : 99-104.

ABSTRACT

Dynamic Relations Among Economic Growth, CO_2 Emission and Renewable Energy in China*

Yoon Kyung Kim*, Yu, Feier** and Wonkyung Lee***

This study analyzes the relationship between China's economic growth, carbon dioxide emissions, and renewable energy generation from 1980 to 2021 using the VAR model and Granger causality tests. The crucial role of China's reduction in carbon dioxide emissions, which accounted for one-third of the global total at 11,420 CO_2-Mt in 2021, is underscored in the context of the global climate crisis. Our findings do not indicate a significant impact of China's renewable energy production on carbon dioxide emissions reduction. Instead, China's carbon dioxide emissions increase by 1.4% with a 10% GDP growth rate in the previous year, and renewable energy increases by 5% with a 10% carbon dioxide emissions growth rate in the previous year. This suggests that as carbon dioxide emissions rise due to China's economic growth, there is a corresponding increase in renewable energy awareness and utilization. Our study suggests that the awareness of the need for renewable energy has a more significant impact on reducing carbon dioxide emissions than the proportion of renewable energy in the power generation mix.

Key Words : CO_2, Renewable Energy, Economic Growth, China, VAR

* Professor, Department of Economics, Ewha Womans University, yoonkkim@ewha.ac.kr
** Master's Degree in Economics, Department of Economics, Ewha Womans University, fisher@ewhain.net
*** Assistant Professor, Major of Chinese Trade & Commerce, Sejong University, wklee@sejong.ac.kr