

중국의 오염저감 정책이 이산화황 배출에 미치는 영향 분석

김 가 영* · 이 재 승†

*고려대학교 그린스쿨대학원 · † 고려대학교 국제학부/그린스쿨대학원

An Analysis of the Impact of China's Pollution Reduction Policy on Sulfur Dioxide Emissions

Kim, Ka Young* and Lee, Jae Seung†

*Green School, Korea University, Korea

†Division of International Studies / Green School, Korea University, Korea

ABSTRACT

This study analyzed the effectiveness of China's policy to reduce of sulfur dioxide. China's 12th Five-year plan on national economic and social development emphasized environmental protection and low-carbon economic development. Sulfur dioxide was one of the major gases to affect air pollution and climate change and its control became a key policy agenda in the environment and energy sector. As the absolute amount of sulfur dioxide emissions in China came from the industrial sector, the control of the coal-based energy was especially urgent. This study analyzed the factors that influenced the sulfur dioxide emissions and the policy effects to reduce sulfur dioxide in China from 2003 to 2012 based on regional data. The air pollution treatment investments showed the biggest impact together with energy conservation policy in reducing sulfur dioxide emissions. However, pollutant emissions charge did not show a relevant policy effectiveness in all regions as the amount of charge would be smaller than economic benefit from non-compliance. Rationalizing pollutant emissions charge is, therefore, a key policy task for further reduction of sulfur dioxide emissions.

Key words : Climate Change, China, Sulfur Dioxide Emissions, Sulfur Dioxide Reduction Policy, 12th Five-Year Plan.

1. 서 론

중국은 개혁개방 이후 성장 위주의 정책 추진으로 지난 30여 년간 연평균 10%에 달하는 경제 성장을 이루어왔다. 이러한 고속 경제발전은 동시에 에너지 수요를 큰 폭으로 증가시켰으며, 자원고갈, 환경오염, 기후변화 등 심각한 부작용을 가져오게 되었다. 중국의 에너지 소비량은 꾸준히 증가하고 있

고, 에너지원 별 소비 비중은 대기오염의 주요한 요인인 석탄이 70%를 차지하고 있다(China Energy Board, 2013). 중국의 석탄 소비량은 2012년 이후 감소하고 있음에도 불구하고 전 세계 모든 나라의 석탄 소비량을 합친 것보다 많은 수치이다(US Energy Information Administration, 2014).¹⁾ 최근 중국에서도 기후변화와 대기환경의 심각성을 인지하여 정부에서 대기오염 관리를 강화하고, 처벌을 강화하겠다고 발표하였으

- 1) US Energy Information Administration(2014). 중국은 1년에 32억톤 이상의 석탄을 소비해 전 세계 모든 나라의 석탄 소비량을 합친 것보다 많으며, 2012년 중국의 화석연료 생산과 소비는 13년 연속 증가하고 있다고 밝혔다.
- 2) 中華人民共和國 中央人民政府(2013). 리커창 주최 국무원 상무회의의 대기오염 10개 조항. 2013년 6월 리커창 총리 주최로 국무원 상무회를 개최하여, 대기오염방지를 위한 10개의 조항을 발표하였으며, 주요 내용은 정부, 기업, 국민이 참여하는 새로운 대기오염 방지 시스템을 구축하고, 지역별로 대기오염 정비 사업을 추진하도록 명시하였다.

* First author : 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정.

† Corresponding author : jaselee@korea.ac.kr

Received October 15, 2015 / Revised November 25, 2015(1st), December 14, 2015(2nd) / Accepted December 24, 2015

나,²⁾ 중국의 에너지 소비는 꾸준히 증가하고 있는 상황에서 여전히 대기오염은 우려되고 있는 상황이다. 급격한 도시화, 산업화로 인해 중국의 주요 도시들은 세계보건기구(WHO)의 대기환경 기준에 미달하고 있다(Jeremy J, 2012; Keith, 2015). 중국은 “국민경제와 사회발전 12차 5개년 계획(2011~2015)” (이하 12차 5개년 계획)에서 환경보호 및 저탄소 경제건설을 주요 키워드로 설정하고, 자원절약과 환경보호에 대해 명확한 목표를 제시하는 한편, 주요 오염물질 배출에 대한 총량 제한을 실시하여 중국 정부의 기후변화 및 대기오염 개선에 대한 의지를 표명하였다.

대기 중의 이산화황은 대기 중의 오염물질을 산화시켜 지구를 냉각시키거나 가뭄의 원인이 될 수 있어 대기오염 및 기후변화에 영향을 미칠 수 있다(Peter LW, 2009). 이산화황 배출 규제는 중국의 오염 저감 정책의 주요한 목표가 되어 왔다. 2006년 11차 5개년 계획기간(2006~2010) 동안 이산화황 감축을 위한 대대적인 목표 수립과 함께 이산화황 감축 방안이 실시되어 낙후산업의 도태, 화력발전소의 효율 향상, 지역별 배출량 할당 등을 통해 2005년 대비 10% 감축 목표를 1.2% 초과 달성한 바 있다(중화인민공화국 환경보호부, 2010). 12차 5개년 계획기간에는 2015년까지 2010년 대비 8% 감축의 목표를 수립하여 정부의 대기오염 개선에의 명확한 의지를 표명하였다.³⁾

중국의 전체 이산화황 배출 중 산업부문은 약 80%를 차지하고 있다.⁴⁾ 따라서 산업부문의 배출량 제어는 전체 이산화황 배출량에 큰 영향을 미치며, 산업부문을 대상으로 시행하고 있는 여러 오염 저감 정책들 역시 이산화황 배출에 중요한 요소로 작용한다. 이산화황 배출은 또한 에너지의 사용량과 깊은 연관이 있으며, 이는 산업 발전, 인구 증가, 경제 성장 등의 변수와 연관된다.

본 연구는 2003년부터 2012년까지 10년간 중국 30개 성·

시의 이산화황 배출량에 오염저감 정책이 미치는 효과를 분석하고자 한다. 에너지 절감정책, 배출 부과금 정책, 대기오염 방지 정책의 효과를 분석하기 위해 산업부문의 에너지절감 비율, 배출 부과 요율, 대기오염 처리 투자금액을 변수로 선정하였고, 석탄사용량과의 관계도 분석하였다. 이들 변수들 간의 상관관계를 규명하기 위해 패널회귀분석이 이용되었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 중국의 오염저감 정책, 경제성장과 환경오염에 대한 기존 연구 동향을 살펴보고, 제3장에서는 중국의 대기오염과 에너지 사용 현황, 그리고 오염 저감 정책을 이산화황 배출을 중심으로 살펴본다. 제4장에서는 중국의 오염 저감 정책의 여러 기제들이 이산화황 배출에 미치는 영향에 대한 실증 분석 모형 및 변수, 그리고 분석 결과에 대해 설명한다. 제5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고, 이와 관련된 정책적 시사점을 논의한다.

2. 선행연구 고찰

중국의 환경오염이 심각해짐에 따라 중국의 오염저감 정책에 대한 연구도 활발히 전개되고 있다. 국내에서는 전반적인 중국의 환경오염 및 오염저감 정책의 변화와 흐름에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 김성욱(2011)은 중국의 경제라는 토대의 변화에 따라 환경정책이 어떻게 변화하고 있는지를 오염저감 정책 수단과 기업행위, 지역별 환경행위 집행의 차이를 대상으로 분석하였다. 중국 기업들은 현재의 배출부과금이 매우 낮은 편이기 때문에, 기업의 구조전환이나 기술혁신 등을 통한 오염절감이라는 환경투자에 대한 비용을 매우 회피하는 성향을 나타내며, 저발전 지역일수록 느슨한 환경정책이 이루어지고 있다는 결론이 본 연구에서 제시되었다. 윤성혜(2013)은 중국의 환경관련 세제와 정책을 평가하면서, 중국의 오염물 배출 부과금 정책은 세금의 성질을 가지고 있는 부과

Table 1. Sulfur dioxide reduction target and total emissions in five-year plan period

Division	“11.5 five-year plan period”	“12.5 five-year plan period”	
Reduction target	10% reduction by 2010 compared to 2005	8% reduction by 2015 compared to 2010	
Total emissions (10,000ton)	2,295	2,086.4	Thermal power generation 800
			Steel industry 180
			Others 1,866

Source: Ministry of Environmental Protection in China (2006, 2011).

3) 특히 “12차 5개년 계획 기간”에는 주요 산업별로 배출량을 할당하여 목표 달성을 구체화 하였다.

4) 환경보호부 환경통계연감 2003~2012년도 데이터

금으로 그 자체적인 한계를 가지고 있어, 중국 국내의 사회·경제적인 변화를 반영하지 못하고 있다고 주장하였다. 해외에서는 중국 환경정책의 형성과정과 변화, 향후 방향에 관한 연구와 더불어 이산화황 감축 정책에 대한 연구도 진행되어 왔다. Jeremy J. Schreifels(2012)는 2000년부터 2010년까지의 중국의 이산화황 감축 정책을 시장 기반의 정책, 명령과 통제 기반 정책 및 중국 행정부의 정치적 수단 관점에서 분석, 평가하고, 향후 질소산화물, 이산화탄소 감축 달성을 위한 정책과제를 제시하였다. Yuan Xueliang(2013)은 이산화황 감축을 달성하기 위한 중국의 정책, 사회 구조 및 기술 3가지 분야에서 전략적인 로드맵을 분석하고, 12차 5개년 계획기간의 이산화질소, 이산화탄소 감축 달성을 위한 전략적 함의를 제시하였다.

중국의 환경오염에 영향을 주는 요인 분석에 대한 연구도 많이 진행되어 왔는데, 환경쿠즈네츠가설을 입증하는 연구가 다수를 차지하고 있다.⁵⁾ Matthew A. Cole(2008)은 97년도부터 2003년까지 중국의 15개 산업별로 이산화황, 검댕, 먼지 세 가지 오염원에 영향을 준 요인들을 분석하였다. 에너지 사용량, 오염물 원단위, 인구 규모, 임금, 기업 수, 효율성, 현대화 정도, 혁신 요인으로 나누어서 분석한 결과, 에너지 사용량, 임금 및 인구밀도가 오염원에 양의 영향을 주었고, 산업의 생산성, 혁신 요인은 음의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 기업의 규모, 자본 지출은 오염원에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Hidemichi Fujii(2013)는 1998~2009년 동안 산업부문 중국의 대기오염 물질에 영향을 주는 요인을 석탄 오염원단위, 후 처리 기술, 에너지 믹스, 생산성 효율 변화, 생산량 변화로 설정하여 분석하였으며, 그 결과 생산량 증가가 이산화황 배출 증가에, 그리고 에너지 효율 향상이 이산화황 배출 저감에 주된 영향을 끼친 것으로 나타났다. Xueliang Yuan(2014)은 중국의 경제 발전 지역 및 미발전 지역에 대해 에너지 소비 및 대기오염 방출이 경제 발전에 미치는 영향을 REPI(Resource and Environmental Performance Index) 모델을 통해 분석하였으며, 그 결과 경제 발전이 에너지 소비와 대기 질에 일정 부분 영향을 미치지만, 반드시 부의 영향을 미친다고는 할 수 없다는 결과를 도출하였다. 중국의 환경오염에 영향을 주는 요인 분석에 대한 가장 최근의 연구는 Xingle Long(2015)을 들 수 있다. 본 연구는 2001년부터 2011년까지의 중국의 산업별 데이터를 이용하여 여러 경제변수들이 중국 산업의 환경오염에 어떤 영향을 미치는지를 그래인저 인

과관계를 이용하여 실증분석 하였다. 그 결과, 중국의 에너지 소비량이 증가함에 따라 오염이 증가하는 것이 확인되었으며, 역U자 형태의 환경쿠즈네츠 곡선 가설을 입증하였다.

이상의 선행연구에서 보았듯이, 대부분 중국 환경오염에 대한 연구는 전반적인 환경오염 정책의 변화와 흐름, 특정 오염 물질에 대한 감축 정책과 전략에 대한 것이었다. 중국을 대상으로 한 환경효율성에 대한 연구는 환경오염과 경제성장간 관계를 분석하여 쿠즈네츠 이론을 증명하거나, 산업별 데이터를 이용하여 환경오염에 영향을 주는 요인들을 분석하는 연구가 대부분이다. 특정 지역 혹은 지역을 그룹화 하거나, 산업별 분석을 실시하여 환경오염에 주는 영향이 다른 요인들을 평가하고, 정책적인 제언을 하는 연구가 진행되었다. 이들은 대부분 환경오염 물질에 영향을 주는 요인들을 지역별, 산업별로 구분하여 분석을 하였는데, 이러한 영향을 주는 요인들에 대한 정책을 분석하는 연구는 찾아보기 힘들다. 본 연구는 중국의 환경오염 저감 정책을 분석하고, 어떠한 정책이 환경오염 저감에 영향을 주었는지, 그리고 지역별로는 영향의 차이가 어떻게 다른지 분석해 보고자 한다.

3. 중국의 대기오염 및 오염 저감 정책

3.1 대기오염 현황과 이산화황 배출

최근 중국의 급격한 경제성장으로 대기오염은 심각한 문제를 직면했다. 2013년 스모그가 발생한 평균 일수는 전년보다 18.3일 늘어난 35.9일로 1961년 이후 최대치를 기록했다. 특히 수도권인 징진지(京津冀)⁶⁾ 지역에서 국가 기준치에 부합한 비율은 37.5%에 불과했다(Ministry of Environmental Protection in China, 2013). 또한 중국의 500개 대도시 중에 오직 1% 미만의 도시만이 세계보건기구(WHO)의 대기질량표준에 도달하고 있을 뿐이다(조성재, 2013). 칭화대학교와 아시아개발은행이 최근 발표한 ‘중화인민공화국 국가환경분석’ 보고서는 세계 10대 대기오염도시로 타이위안(太原), 밀라노, 베이징, 우루무치(烏魯木齊), 멕시코시티, 란저우(蘭州), 충칭(重慶), 지난(濟南), 스자좡(石家莊), 테헤란을 선정하여, 중국 7개 도시가 세계 10대 대기오염 도시에 포함되었다(Qingfeng Zhang, 2013). 이에 리커창 중국 상무부총리는 대기오염 해결에 적극적으로 나서기 위해 환경보호법 집행력을 강화하고, 대중들의 대기오염 예방에 대한 경각심을 일깨워야 한다고 발표했다(중화인

5) 경제성장과 환경오염에 대한 최초의 연구는 Grossman and Krueger(1995)에 의해 처음 제시된 ‘환경쿠즈네츠가설(environmental Kuznets hypothesis)’로부터 시작되었다. 위 가설은 경제성장의 발전단계에 따른 오염물의 배출량 변화를 설명하고 있으며, 핵심은 저소득구간에서 환경오염은 증가하고, 고소득구간에서는 감소한다는 것이다.

6) 징진지(京津冀)는 베이징(北京), 톈진(天津), 허베이(河北) 지역을 말함.

민공화국 중앙인민정부, 2013).⁷⁾ 특히 2013년 6월 리커창 총리가 대기 질 개선을 위한 10대 정책을 발표한 이후, 각 부처가 경쟁적으로 대기환경 정책을 세워 시행하고 있다. 이처럼 중국의 대기오염 상황은 심각하며 중국 정부에서도 이 심각성을 인지하여 대기오염 개선에 주력하고 있다.

중국의 주요 대기오염 물질은 Fig. 1과 같이 이산화황, 먼지 그리고 질소산화물을 들 수 있다. 에너지 사용과 연관이 깊은 이산화황은 2006년 이후 사용량이 감소하다 2011년 다소 증가하였다. 질소산화물의 경우, 2006년 이후부터 중요성이 인식되어 통계자료가 수집되었으며, 배출량은 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 먼지의 경우 배출량 추세가 이산화황과 유사하게 2005년부터 감소하다 2011년에 다시 증가하고 있다.

Fig. 1에서도 볼 수 있듯이, 2006년부터 점차 감소추세에 접어들고 있다. 제 11차 5개년 계획 기간(2006~2010)의 주요 관리 오염물질 대상은 이산화황으로, 2005년 대비 10% 감축한 2,294.4만톤 배출을 목표로 수립되었고(중국 국무원, 2007), 2010년 배출량 감소는 목표를 초과 달성한 14.3%로 집계되었다. 이후 2011년 2,217.9 만톤이 배출되어 일부 증가하였으나, 2012년 다시 이산화황 배출량은 감소하였다. 이산화황의 배출량은 2006년 이후 감소세를 보이고 있다. 제 11차 5개년 계획 기간에 GDP 성장률은 11.2%에 달하고, 석탄 소비 총량은 약 10억 톤이 증가하였지만 이산화황 배출 총량은 2005년 대비 14.29% 감소하여 이산화황 배출 감축은 성공적이라는 평가를 받고 있다.

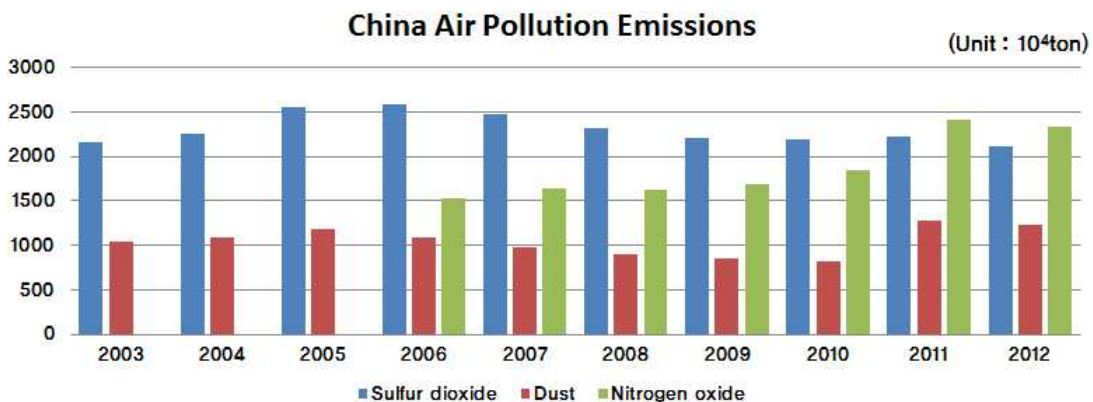
2012년 기준 성·시 별 이산화황 배출량은 Table 2와 같다. 주요 산업지역인 베이징(北京), 톈진(天津), 허베이(河北), 랴오

닝(遼寧) 등 주로 화북, 화중, 화동, 서남, 화서지역에서 많이 배출되고 있으며, 동부 연해지역에 비해 개발이 뒤쳐진 칭하이(靑海), 티벳(西藏), 간쑤(甘肅) 등 서부 지역의 배출량은 현저히 적다.

2012년 성·시 별 이산화황 배출에 있어, 대기 중 이산화황 연평균 농도가 국가 2급 기준 또는 2급 이상에 도달한 도시는 98.8%를 차지하였다. 이산화황의 연평균 농도범위는 0.004~0.087 mg/m³인데, 대부분 도시의 농도가 0.02~0.05 mg/m³에 집중되어 있다(강택구, 2013). Table 3은 2003년부터 2012년까지 10년 간 중국 전체 이산화황 배출원 및 주요 산업의 배출 비중을 정리하였다. 전체 이산화황 배출원 중 주요 배출 산업인 발전업, 비금속 광물 제조업, 철금속 제련업이 차지하는 비중은 70%를 넘는다. 발전업은 50% 이상을 차지하고 있으며, 2006년 이후 점차 비중이 줄어들고 있다. 에너지 소비에 있어서 석탄의 비중이 70%를 차지하고 있어 대기오염, 특히 석탄의 주 오염물질인 이산화황 문제는 중요한 사안으로 대두되고 있다.

3.2 오염 저감 정책

이산화황 등 황산화물은 석유와 석탄 등 화석연료가 연소될 때 배출된다(윤상훈, 2006). 즉, 에너지 사용은 이산화황 배출과 큰 연관이 있으며, 에너지 절감은 곧 이산화황 절감으로 이어질 수 있는 것이다. 중국은 1978년 개혁개방 이후 25년간 연평균 9.5%대 이상의 경제성장률을 기록해 왔다. 이에 따라 중국 내 에너지 생산 및 소비도 급격히 증가하였고, 1993년부터 석유 수입국으로 전환하게 되었다. 1997년 이후에는 에너지



Source: Ministry of Environmental Protection in China (2012).

Fig. 1. China air pollution emissions.

7) 중화인민공화국 중앙인민정부(2013). “李克强主持召開國務院常務會議部署大气污染防治十條措施”를 발표하여 대기오염의 심각성을 모두가 인지하고, 대기 질 개선을 위해 규제를 강화하도록 하였다.

Table 2. Sulfur dioxide emissions in 2012 by region

(unit: 10⁴ ton)

Region	Emissions	Region	Emissions	Region	Emissions
Shandong	1,748,807	Xinjiang	796,128	Ningxia	406,633
Neimenggu	1,384,928	Yunnan	672,216	Jilin	403,482
Hebei	1,341,201	Hunan	644,959	Fujian	371,251
Shanxi	1,301,755	Zhejiang	625,766	Shanghai	228,218
Henan	1,275,909	Hubei	622,367	Tianjin	224,521
Liaoning	1,058,712	Gansu	572,489	Qinghai	153,853
Guizhou	1,041,087	Jiangxi	567,687	Beijing	93,849
Jiangsu	991,967	Chongqing	564,777	Hainan	34,137
Sichuan	864,440	Anhui	519,589	Xizang	4,185
Shaanxi	843,755	Heilongjiang	514,300		
Guangdong	799,223	Guangxi	504,123		

Source: Ministry of Environmental Protection in China (2013).

Table 3. Sulfur dioxide emissions sources and proportion of major industries

Division	Industry	Living	Total
Unit		10 ⁴ ton (%)	
2003	1,791.4 (83)	367.3 (17)	2,158.7
2004	1,891.4 (84)	363.5 (16)	2,254.9
2005	2,168.4 (85)	380.9 (15)	2,549.3
2006	2,237.6 (86)	351.2 (14)	2,588.8
2007	2,140.0 (87)	328.1 (13)	2,468.1
2008	1,991.3 (86)	329.9 (14)	2,321.2
2009	1,865.9 (84)	348.5 (16)	2,214.4
2010	1,864.4 (85)	320.7 (15)	2,185.1
2011	2,017.2 (91)	200.4 (9)	2,217.9
2012	1,911.7 (90)	205.7 (10)	2,117.6

Source: Ministry of Environmental Protection in China (2013).

순수입국이 되어 에너지 자원의 안정적 확보를 위해 국가적 차원에서 대응 전략을 마련하기 시작하였으며, 동시에 에너지 절감에 대한 대책을 발표해 왔다(삼성경제연구소, 2011). 최초

의 에너지 절감 정책은 1986년에 발표한 “에너지 절약 관리 잠정 조례(節約能源管理暫行條例)”에서 찾아볼 수 있으며, 이후 건축물, 기업의 에너지 관리 등 분야에서 에너지 절감 관련 법적 조치들이⁸⁾ 발표되었다. 에너지 절약법은 1997년에 제정되었으며, 에너지 이용의 효율 제고, 에너지 소비 구조의 최적화, 에너지 개발 및 운반의 효율 향상 등에 대해 언급하고 있고, 기업의 에너지 절감은 11차 5개년 계획기간에 에너지 소비가 많은 기업을 대상으로 “천개기업에너지 절약 행동 실시 방안(千家企業節能行動實施方案)”을 발표하면서부터 강조되었다. 이후 12차 5개년 계획기간에는 만개의 기업으로 대상을 확대하였고, 에너지 절약 목표도 강화되었다.

배출 부과금 정책은 1978년에 발표된 “환경보호업무 보고 요점(環境保護工作匯報要點)”에서 처음 언급되었고, 이후 1979년에 “잠정 환경보호법(環境保護法試行)”에서 법률의 형식으로 배출부과금 제도가 확정되었다. 서장, 청해를 제외한 27개 성과 자치구는 배출 부과금 징수를 실시하였고, 1981년 말에 22개의 성과 자치구, 직할시는 “배출 부과금 징수 잠정법(征收排污費試行辦法)”을 발표함으로써 본격적인 배출 부과금 제도를 실시하였다. 대기 분야 배출 부과금은 2000년에 개정된 “대기 오염방지법(大氣污染防治法)” 제 14조에 규정되어 있으며, 기준치 이상을 배출할 경우 위법으로 규정하고, 그에 따른 행정 처분을 받도록 하고 있다.

8) 민용건축물 에너지 절약 설계 표준(民用建築節能設計標準), 기업의 에너지절약 관리 향상 임시 규정(企業節能管理升級定級暫行規定) 등을 통해 에너지 절감에 대한 법적 효력이 있는 문서를 발표하였음.

대기오염물질 배출 기준은 “오염물 배출 부과금 징수 표준관리법(排污費征收標準管理辦法)”에서 규정하고 있다.⁹⁾ 2003년에 개정된 이 법은 기존의 농도 기준으로 한 배출 부과금 기준에서 총량과 농도를 결합한 부과금 기준으로 개정이 되었다. 이는 오염물 배출의 관리를 강화하여 기업의 적극적인 오염물질 처리를 유도하고, 책임을 강화하고자 함이다. 동 법은 이산화황, 질소산화물 등을 포함한 44가지 대기오염 물질에 대해 배출 부과금을 징수하고 있으며, 이동오염원은 대상에서 제외하고 있다.¹⁰⁾ 배출 부과 요율은 “오염물배출징수표준관리법(排污費征收管理辦法)”에서 정의하고 있다. 배출 부과 요율은 2003년과 2005년에 0.2위안씩 인상되어 배출 부과 정책을 점차 강화하고 있다. 베이징시의 경우만 석탄의 황 함유량에 따라 배출 부과 요율을 다르게 책정하고 있다.

1987년 “대기오염방지법(大氣污染防治法)”이 발표되면서 대기오염 방지에 대한 법적인 기반이 마련되기 시작하였다. 석탄 매연으로 인한 오염물질 처리를 중점적으로 강조하였고, 이전의 점 오염원 처리 방식에서 대기오염의 종합적인 처리 방식으로 전환하였다. 또한 기업의 기술 개조와 산업 부문의 오염 방지가 강조되었다. 90년대 들어서면서 점차 오염원에 대한 총량 제어를 실시하게 되었고, 개별 도시 차원의 대기오염 처리에서 구역별 오염 제어로 전환하기 시작하였다. 배출된 오염물질의 농도를 규제하기 위해 중국은 1982년 “대기환경질 기준”을 제정하였다. Table 4는 “대기환경질 기준”의 이산화황 농도를 나타낸 것이다. 제정 당시 6종의 관리 물질은 1996년과 2000년 두 차례의 개정을 통해 10종으로 확대되었으며, 기능구역을 세 종류에서 두 종류로 축소하였다. 2012년

세 번째 수정작업을 통해 “대기환경질 기준(GB3095-2012)”을 개정하였다. 이 기준의 전국 실행은 2016년 1월 1일부터 예정이며, 본 기준이 실행되기 전까지 실행 지역을 지정하여 점차 전국으로 확대하여 적용하도록 하였다. 2012년 시행되는 1단계로 징진지, 장강삼각주, 주강삼각주 등 중요 지역 및 직할시가 대상이고, 2013년 2단계로는 113개 환경보호 중점도시 및 국가 환경 모범도시에, 그리고 2015년부터는 모든 지급(地級) 이상 도시로 확대되어 전국적으로 시행되었다(중국 환경보호부, 2012).

4. 실증 분석

4.1 분석 대상 및 자료 수집

본 연구는 2003년부터 2012년까지 10년간 중국 30개 성·시의 이산화황 배출량에 오염저감 정책이 미치는 효과를 분석하고자 한다. 에너지 절감정책, 배출 부과금 정책, 대기오염 방지 정책의 효과를 분석하기 위해 산업부문의 에너지절감 비율, 배출 부과 요율, 대기오염 처리 투자금액을 변수로 두었으며, 석탄사용량과의 관계도 분석하였다. 이를 위해 패널회귀 분석을 이용하였다. 산업부문이 전체 이산화황 배출량의 80%를 차지하여 이산화황 배출 증가 혹은 감축에 가장 큰 영향을 미치며, 오염저감 정책 역시 주로 산업부문을 대상으로 시행되고 있기 때문에, 이산화황 배출량에 영향을 미칠 수 있는 설명변수들의 범위를 산업부문으로 제한을 두었다. 변수들의 데이터는 중화인민공화국 국가통계국의 중국통계연감, 환경통계데이터, 중국에너지통계연감을 이용하여 수집하였다.

Table 4. Atmospheric sulfur dioxide concentrations in environmental quality standards

Sulfur dioxide (µg/m³)	Atmospheric environmental quality standards GB3095-1996			Atmospheric environmental quality standards GB3095-2012	
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 1	Level 2
Annually	20	60	100	20	60
24-Hour average	50	150	250	50	150
1-Hour average	150	500	700	150	500

Source: Ministry of Environmental Protection in China (2012).

9) 배출 부과금 대상, 오염물질, 부과 기준 등은 오염물 배출 부과금 징수 표준관리법(排污費征收標準管理辦法)에서 규정하고 있다.

10) 대기오염물질 배출 부과금 계산은 아래 식과 같다. 물질 별 당량지수를 정의하고 있고, 오염물질 배출량에 대해 배출 부과금을 산정하고 있다.

$$\text{오염물질 당량(equivalent weight)} = \frac{\text{오염물질 배출량}(kg)}{\text{오염물질 당량지수}(kg)} \quad (1)$$

$$\text{배출 부과금} = 0.6(\text{위안}) \times \text{오염물질 당량} \quad (2)$$

변수들 중 산업 부문의 에너지 절감량은 정부에서 공개하지 않아 에너지 원단위 감소량을 통해 에너지 절감량을 추산한 Jingke(2012)의 계산방법을 인용하여 계산하였다. 계산식은 아래와 같다.

$$IESt + 1_j = (IEI_{t,j} - IEI_t + 1_j) \times IV_{At} + 1_j \quad (1)$$

$IESt + 1_j$ 는 j 지역 산업 부문의 에너지 절감량을 의미한다. 에너지 원단위 감소량에서 산업 부가가치를 곱하여 에너지 절감량을 추산하였는데, 당해연도의 산업부문 에너지 절감량은 전년도 에너지 원단위와 당해연도 에너지 원단위의 차이에서 당해연도 산업 부가가치를 곱하면 절감된 에너지량을 추산할 수 있다. 위의 산식에서 $IEI_{t,j}$ 는 t 시점의 j 지역 산업 부문 에너지 원단위를, $IEI_t + 1_j$ 는 $t + 1$ 시점의 j 지역 산업 부문 에너지 원단위를 의미한다. 또한 $IV_{At} + 1_j$ 는 $t + 1$ 시점의 j 지역 산업 부가가치를 의미한다. 위의 식을 통해서 계산된 에너지 절감량은 패널분석 모형에서 에너지 절감 비율을 계산할 때 이용된다.

추산된 지역별 에너지 절감량의 기초통계량 Table 5와 같다.

4.2 분석 모형 및 방법

본 연구는 2003년부터 2012년까지 10년간 중국 30개 성·시의 이산화황 배출량에 오염저감 정책이 미치는 효과를 분석하고자 한다. 에너지 절감정책, 배출 부과금 정책, 대기오염 방지 정책의 효과를 분석하기 위해 산업부문의 에너지절감 비율, 배출 부과 요율, 대기오염 처리 투자금액을 변수로 두었으며, 석탄사용량과의 관계도 분석하였다. 이를 위해 패널회귀분석을 이용하였다. 통계적 유의성을 위하여 하우스만 검정(Hausman test)을 시행하였으며, 그 결과 귀무가설을 기각하므로 고정효과를 사용하였다. 기본적인 패널분석 모형은 아래와 같다.

$$\ln(SO_{2i,t}) = \alpha_{i,t} + \beta_1 X_{i,t} + \beta_2 \ln(X_{2i,t}) + \beta_3 \ln(X_{3i,t}) + \beta_4 \ln(X_{4i,t}) + \beta_5 D_t + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

지역별 변수의 이산화황 배출 저감 효과를 추정하기 위해서 동일한 식으로 회귀분석도 실시하였다. 지역 구분은 6대 행정구역에 의거하여 화북, 동북, 화동, 중남, 서남, 서북으로 나누었으며, 데이터가 없는 티베트 지역은 제외하였다. 분석에 사용된 변수는 Table 6과 같다.

분석 모형에 사용된 변수 중 에너지 절감 비율과 오염물 배

출 부과 요율을 제외한 수량변수들은 로그를 취한 값을 사용하였다. $SO_{2i,t}$ 는 31개 성·시의 연도별 인당 이산화황 배출량이다. i 는 각 지역의 성·시, t 는 시간, 그리고 β 는 각각의 계수를 의미한다. 에너지 절감 비율과 오염물 배출 부과 요율을 제외한 설명변수들은 모두 인구수로 나눈 후 로그를 취하였다. 또한 에너지절감 규제가 강화된 11차 5개년 계획 기간을 규제 확대 시행 더미(D_t)를 포함하였다.

분석변수의 기초통계량을 구하면 Table 7과 같이 나타난다.

4.3 분석 결과

2000년부터 2012년까지 13년간 중국 30개 성·시의 이산화황 배출을 증가시키는 요인들에 대한 추정 결과는 Table 8과 같다.

패널 확률효과 추정 결과를 보면 에너지 절감비율이 1단위 증가하면 이산화황 배출량이 0.05단위 감소되는 것으로 나타났다. 배출 부과 요율은 1단위 증가하면 이산화황 배출량이 0.54단위 감소하였고, 대기오염 처리 투자금의 경우 1단위 증가하면 이산화황 배출량이 0.03단위 증가하는 것으로 나타났다. 또한 석탄 사용량이 증가함에 따라 이산화황 배출은 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 대기오염 처리 투자 정책의 경우, 이산화황 배출량을 증가시키는 결과를 나타내었다. 이는 대기오염 처리 투자금은 증가하고 있지만, 이산화황 저감에 효과적인 설비에 투자되지 않았거나, 이산화황이 아닌 분진, 이산화질소 저감을 위한 설비에 투자가 되었을 경우를 생각해볼 수 있다.

지역별 회귀분석 결과는 동북지역에 에너지 절감 정책이 이산화황 배출량에 0.16단위 감소시키는 것으로 나타났다. 동북 지역은 랴오닝과 헤이룽장이 속해 있는 대표적인 산업지역이다. 특히 에너지 소비량이 많은 기업이 밀집해 있어 기업 대상으로 실시하고 있는 에너지 절감정책이 효과를 나타낸 것으로 해석해 볼 수 있다. 배출 부과 요율은 특히 화북지역에서 이산화황 배출 저감에 가장 큰 영향을 나타내고 있다. 베이징 지역의 배출 부과 요율이 황 함유량에 따라 다르게 책정하고 있어서 더욱 큰 효과를 나타낸 것으로 해석해 볼 수 있다. 하지만 동북 지역의 배출부과 요율은 오히려 이산화황 배출의 증가 영향을 나타내었다. 동북지역의 경제 상황, 이산화황 배출량, 산업의 구조 등을 고려하여 배출 부과 요율을 조정할 필요가 있을 것이다. 대기오염 처리 투자금 역시 화북지역에서 이산화황 배출 저감에 가장 큰 영향을 나타내고 있다. 이 역시 수도인 베이징 지역의 이산화황 배출 저감을 위한 투자가 효과를 나타낸 것으로 해석할 수 있을 것이다.

Table 5. Statistics basic of energy reduction

Region	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Beijing	-338.70000	2,115.9210	-5,521.940	931.1995
Tianjin	-153.65900	1,627.8610	-4,084.570	984.9012
Hebei	-544.39000	7,981.5540	-19,836.000	4,419.5030
Shanxi	-158.81000	5,446.4450	-12,749.800	3,809.7410
Neimenggu	650.94310	4,278.0740	-9,666.110	3,718.4860
Liaoning	45.51126	5,644.7000	-13,610.700	3,703.2770
Jilin	199.80500	2,258.2090	-5,315.400	1,604.7800
Heilongjiang	-694.47800	3,133.1970	-8,050.000	1,826.7170
Shanghai	-689.58600	3,103.9870	-8,225.050	1,327.3400
Jiangsu	-888.77600	6,614.1410	-17,167.400	2,199.6090
Zhejiang	-523.10300	4,697.2830	-12,031.700	1,868.1540
Anhui	307.68860	2,811.2900	-6,505.980	2,127.8420
Fujian	-142.89800	2,453.3280	-6,141.600	1,362.7820
Jiangxi	135.91040	1,839.1340	-4,286.010	1,440.0500
Shandong	-1,355.77000	9,299.5200	-24,161.900	4,341.9930
Henan	-168.93600	5,901.1220	-14,624.600	3,184.9260
Hubei	270.06560	4,232.6620	-10,082.000	2,650.1550
Hunan	402.66060	4,162.5700	-9,709.270	3,008.8400
Guangdong	-912.64600	6,928.4500	-17,921.000	2,423.4550
Guangxi	146.25330	2,098.7100	-4,868.570	1,618.0860
Hainan	-42.93780	332.3507	-822.198	220.7743
Chongqing	44.52996	2,062.4360	-4,942.890	1,262.4200
Sichuan	459.31380	5,036.2040	-11,816.100	3,469.4140
Guizhou	-94.27100	2,284.3020	-5,641.250	1,219.2460
Yunnan	-184.33200	2,415.9190	-6,023.970	1,342.2800
Shaanxi	157.02560	2,383.2490	-5,571.340	1,652.0510
Gansu	-76.40050	1,794.8050	-4,367.670	1,376.2750
Qinghai	23.15012	719.0005	-1,670.360	570.3989
Ningxia	30.20892	1,081.1050	-2,536.080	912.1533
Xinjiang	-381.19000	2,389.2460	-5,506.490	2,164.3860

Table 6. Analysis variables

Variables		Meaning		Source
Dependent variable	ln(SO ₂)	SO ₂ emissions	Log capita of sulfur dioxide emissions	Environment Statistical Yearbook
Explanatory variables	β_1	Energy savings ratio	Energy savings during the year compared to the previous year energy consumptions	Energy Statistics Yearbook
	β_2	Pollutant emissions charges rate	Previous year pollutant emissions charges rate in the industrial sector	Ministry of Environmental Protection in China Statistics
	β_3	Air pollution treatment investments	Log capita of investment in industry air pollution treatment	Environment Statistical Yearbook
	β_4	Coal usage	Log capita of coal usage	National Statistics

Table 7. Statistics basic of variables

Variables	Unit	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Emissions	ton/capita	4.98	0.60	3.19	6.41
Energy savings ratio	tce/tce	-0.03	0.38	-1.38	0.30
Pollutant emissions charges rate	yuan/capita	2.56	0.59	0.06	4.51
Air pollution treatment investments	yuan/capita	2.70	0.90	-1.01	5.08
Coal usage	yuan/capita	0.73	0.66	-1.00	2.21

Table 8. Parameter estimation results

Division	Panel random effects	Regression analysis					
		North	North east	East	Middle south	West south	West north
β_1 (energy savings ratio)	-0.0591** (0.0287)	-0.0514 (0.107)	-0.163** (0.0701)	-0.0706 (0.0752)	-0.0397 (0.170)	-0.0335 (0.165)	-0.0937 (0.0670)
β_2 (pollutant emissions charges rate)	-0.544*** (0.105)	-1.345*** (0.336)	0.651* (0.348)	-0.705*** (0.237)	-1.039** (0.504)	-0.645 (0.600)	-0.335 (0.220)
β_3 (air pollution treatment investments)	0.0381** (0.0172)	-0.226*** (0.0577)	-0.0278 (0.0476)	0.0405 (0.0391)	0.240*** (0.0704)	-0.0656 (0.108)	-0.0340 (0.0387)
β_4 (coal usage)	0.390*** (0.0656)	1.816*** (0.144)	0.140 (0.360)	0.342*** (0.0980)	0.373** (0.173)	0.664*** (0.202)	0.734*** (0.0524)
R^2	0.574	0.923	0.923	0.434	0.502	0.270	0.860
Obs.	270	45	27	63	54	36	45

주) 1) Significance * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

2) Standard errors in parentheses.

3) Using the year dummy, regional dummy in the analysis.

5. 결 론

양적 성장을 우선적으로 추구해온 중국은 최근 심각한 대기오염 문제를 해결하기 위해 정부에서도 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 이산화황의 주 배출원인 석탄의 비중이 절대적으로 높은 상황에서 산업부문의 대기오염 제어는 그 중요성이 증대되어 왔다. 본 연구는 중국의 에너지 절감 및 대기오염 정책이 이산화황 배출 저감에 미친 영향을 분석하였고, 이를 지역별로 비교하며 정책 효과에 대한 논의를 진행하였다.¹¹⁾ 분석 결과에 따르면 이산화황 배출 감축에 있어서 배출부과 요율이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 에너지 절감 정책 역시 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 대기오염 처리 투자금은 이산화황 배출에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 12차 5개년 계획 기간에 강화된 에너지 절감정책 및 대기오염 저감 정책으로 인해 이산화황 배출에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

6개의 행정구역으로 나누어 볼 경우, 화북지역의 대기오염 처리 투자금이 이산화황 배출에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났고, 동북지역의 에너지 절감 비율이 이산화황 배출에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 배출부과 요율의 경우는 화북, 동북, 중남 지역이 이산화황 배출에 음의 영향을 미치고 있으나, 오히려 동북 지역의 경우 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 실제로 중국의 배출 부과금액이 낮아 실효성을 거두지 못하고 있다는 비판이 존재하고 있다.¹²⁾ 2014년 중국은 배출 부과금을 대폭 조정한 바 있다. 하지만 무조건 배출 부과금을 상향하더라도 실질적인 배출량 감소에는 영향을 미치지 못할 수도 있다. 배출 부과금과 실제 이산화황 배출량은 양의 관계를 나타낸 동북지역의 경우 그 지역의 산업 특성과 정책의 차이를 바탕으로 배출 부과금의 상향 혹은 하향을 조절한다면 이산화황 감축에 보다 효과적인 정책이 될 것이다.

사 사

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2015년, 특화전문대학원 연계 학연 협력 지원사업).

REFERENCES

- Cao M. 2006. Value orientation and reform direction of environmental tax system in China. *Law Review* 1(135):92.
- EIA. 2014. Annual energy outlook 2014, DOE/EIA-0383 (2014).
- Hidemichi F. 2013. Decomposition analysis of air pollution abatement in China: Empirical study for ten industrial sectors from 1998 to 2009. *Cleaner Production* 59:22-31.
- Kang J. 2000. Improving the environmental taxation system in our country. *Tax Research* 2000-09 pp 45.
- He J. 2009. China's industrial SO₂ emissions and its economic determinants: EKC's reduced vs. structural model and the role of international trade. *Environment and Development Economics* 14:227-262.
- Jeremy JS. 2012. Sulfur dioxide control in China: Policy evolution during the 10th and 11th five-year plans and lessons for the future. *Energy Policy* 48:779-789.
- Jing K, Lynn P. 2012. China's industrial energy consumption trends and impacts of the top-1000 enterprises energy-saving program and the ten key energy-saving projects. *Energy Policy* 50:562-569.
- Jung SK, Kang SM. 2013. The dynamic analysis between environmental quality, energy consumption, and income (in Korean with English abstract). Lee HJ, 2011. Analysis of energy efficiency in the manufacturing sector of China(in Korean with English abstract). *Environmental Policy Research* 12(3):97-122.
- Kim SO. 2011. Study on the development and characteristics of Chinese environmental policy: Focused on the environmental policy measures and regional differences. *Korea and China Social Science Research* 9(1):83-111.
- Kim KU, Kang SM. 2012. Effect of pollutants and environmental regulation on energy efficiency: Evidence from 30 provinces in China(in Korean with English abstract). *Northeast Asian Economic Research* 24(2):288-311.

11) 본 연구는 2000년대 중반 이후 주요 대도시를 중심으로 추진된 석탄에서 천연가스로의 에너지 전환 정책의 이산화황 배출 효과까지는 충분히 고찰하지 못하였으며, 이는 후속 연구를 통해 논의를 진행할 예정이다.

12) 김성옥(2011)은 현재 중국에서는 환경규제에 대한 “위법비용이 낮고 집행비용이 높기 때문에” 대다수의 기업들은 오염처리 비용을 부담하기 보다는 배출량을 위반하고, 이에 대한 부과금을 내는 쪽을 택하고 있다고 주장하며, Wen Shangjie(2006)은 현재 오염물배출 기업들이 납부하고 있는 오염물 배출 부과금은 오염관리 비용의 10~15% 밖에 되지 않아, 인상이 필요하다고 주장하고 있다. Jia Kang(2000), Cao mingde(2006), 윤성혜(2012) 등은 중국의 오염물 배출 부과금 제도가 불합리적이라고 지적하고 있다.

- Kang TK. 2013. Air pollution reduction management comparison in Korea and China. Korea Environment Institute 13-56.
- Keirh C, Zhimin M. 2015. Costs of selected policies to address air pollution in China. RAND.
- Li P, Wang X, Chai F. 2011. Recommendation and suggestion on policy and measures for air pollution control integrated management in China(in Chinese with English abstract). Environment and Sustainable Development 2011 (5):8-14.
- Lee HJ. 2011. Analysis of energy efficiency in the manufacturing sector of China(in Korean with English abstract). Chinese Research 2011(58):449-479.
- Matthew AC. 2008. Industrial activity and the environment in China: An industry level analysis. China Economic Review 19:393-408.
- Peter LW. 2009. Sulfur dioxide initiates global climate change in four ways. Thin Solid Films 517:3188-3203.
- Qingfeng Zhang. 2013. Towards the future of environmental sustainable development of the people's Republic of China. ADB.
- Shim SH. 2003. China's environment policy and the response of the steel industry. POSCO Management Institute 2003 (20).
- Samsung Economic Research Institute. 2011. 2011 Chinese economic outlook.
- Wen S. 2006. The present situation and countermeasures of environmental tax system in china. Journal of Guangxi Institute of Political and Legal Management 2006(02):31.
- Xingle L. 2015. Energy consumption, industrial development and environmental pollution: The case of China's 36 industries. Management and Economics 37:3-20.
- Yoon SH, Choi BH, Lee KS, Yoon KJ, Kim DS. 2006. A study on the characteristics of the exhaust concentrations according to the sampling methods of sulfur oxides in the combustion facility. Korean Society for Atmospheric Environment 2006(10):129-130.
- Yun SH. 2013. Study on Chinese environmental taxations and policies(in Korean with English abstract). Institute for Legal Studies Soongsil University 2013(29):297-325.
- Yanxia Z. 2014. A dual strategy for controlling energy consumption and air pollution in China's metropolis of Beijing. Energy 81:294-303.
- Yuan X. 2014. Economic development, energy consumption, and air pollution: A critical assessment in China. Human and Ecological Risk Assessment 21:781-798.