

III

연구논단



- 중국 이산화황 감축에 영향을 미친 정책 분석: 베이징시와 톈진시의 비교 46
김가영 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정
- 지하수 오염 기여도 평가 및 오염개선에 따른 사회적 편익 분석 66
김호림 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정
- 화력발전소 온배수 열에너지 활용의 타당성에 관한 사례분석: 남제주화력 시범단지를 중심으로 78
남태섭 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

- 집단에너지사업의 배출권 할당에 대한 문제점과 개선방안 87
양원창 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정
- 중동 산유국의 신재생에너지 도입에 대한 요인 분석 97
이정은 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정
- 소양강 수력발전소 연간발전량 재산정 조사 연구 112
임선택 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

중국 이산화황 감축에 영향을 미친 정책 분석: 베이징시와 톈진시의 비교

김 가 영 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

*The Policies Affecting Sulfur Dioxide Emission Reduction in China:
Comparison of Beijing and Tianjin City*

Ka Young Kim | M.S. Candidate, Green School, Korea University

초록

중국의 경제성장에 따라 에너지 사용량이 늘어나고, 이에 석탄 사용량도 계속 증가하고 있다. 에너지 사용량의 70%는 석탄이 차지하고 있어 대기오염도 심각한 수준이다. 2006년 이후 석탄의 사용량은 계속 증가하고 있으나 이산화황의 배출은 감소하는 추세에 있다. 대기오염 정책으로는 총량제어와 농도관리가 있으며, 산업 정책으로는 탈황 및 도태, 효율 향상 및 청결 생산이 있다. 경제개발 5개년 계획 기간에 따라 전국적인 이산화황 감축 목표를 설정하고, 성·시별 환경 용량 및 경제발전 상황 등에 따라서 배출량을 할당하였다. 또한 배출된 오염물질의 농도를 규제하고 있는데 1982년 처음으로 “대기환경질 기준”을 제정하여 세 차례의 개정을 통해 현재의 “대기환경질 기준 GB3095-2012”를 발표하였다. 탈황 설비를 투자하여 이산화황 감축을 달성하도록 하고, 특히 발전 부분의 탈황 설비를 운행하도록 “석탄발전소 이산화황 처리 11.5 규획”을 실시하여 주요 석탄발전소에 탈황 설비를 설치하고 개조하도록 하고 있다. 그리고 이산화황 배출 주요 산업인 철강, 비철 금속, 화공, 전력 등의 산업을 대상으로 낙후된 산업을 도태시킬 것을 강조하고 있다. 베이징시와 톈진시는 중국의 주요 도시로, 베이징시는 중국 수도이며, 톈진시는 주요 경제발전 도시이다. 두 도시 모두 이산화황 배출량은 감소하고 있으나 톈진시는 베이징시에 비해 감축 정도가 미비하며, 산업부문의 경우 2010년 다시 눈에 띄게 증가하였다. 베이징시는 중앙정부의 시행 정책을 각 구·현 별로 체계적인 이산화황 감축을 실시하고 있다. 또한 정부의 고오염 산업 도태 정책을 철저하게 시행하여 고오염 산업의 생산량은 급격히 감소하였으며, 공업 기업의 수도 감소하였다. 이에 반해 톈진시의 경우 베이징과 비교해서 개인 소유의 기업과 외국 소유의 기업이 많아 중앙정부에서 시행하는 산업 도태 정책은 많은 어려움이 있어 감축 효과가 베이징시에 비해 미비하다.

1. 서론

중국의 대기오염은 날로 심각해지고 있다. 급격한 경제 성장과 산업화, 도시화 등 환경오염 문제는 피할 수 없는 상황이 되었다. 최근 중국에서도 대기환경의 심각성을 인지하여 정부 차원에서 대기오염 관리를 강화하고 처벌을 엄중히 하겠다고 발표했다.¹ 하지만 중국의 에너지 소비는 꾸준히 증가하고 있고, 대기오염의 주범인 석탄 사용이 70%를 차지하고 있어 여전히 대기오염의 심각성이 우려되고 있는 상황이다. 중국 환경보호부에 따르면 중국의 이산화황으로 인한 경제적 피해는 약 1,100억 위안에 이른다고 한다

1 中华人民共和国 中央人民政府(2013). 리커창 주석 국무원 상무회의의 대기오염 10개 조항. 2013년 6월 리커창 총리 주최로 국무원 상무회를 개최하여, 대기오염 방지를 위한 10개의 조항을 발표하였으며, 주요 내용은 정부, 기업, 국민이 참여하는 새로운 대기오염 방지 시스템을 구축하고 지역별로 대기오염 정비 사업을 추진하도록 명시하였다.

(环境保护部, 2009). 2006년 11차 5개년 계획기간(“11.5 기간”, 2006-2010)에 이산화황 감축을 위한 대대적인 목표 수립과 함께 이산화황 감축을 위한 시행방안을 실시하였다. 2010년까지 2005년 대비 10%를 감축하겠다는 목표를 수립하였고 낙후산업의 도태, 화력발전소의 효율 향상, 지역별 배출량 할당 등의 정책 시행으로 2010년에는 목표량보다 1.2% 초과 감축을 달성하였다(环境保护部, 2010). 하지만 중국의 석탄 사용량은 매년 증가하고 있다. 매년 석탄의 사용량은 꾸준히 증가하는데도 이산화황의 감축량이 감소한 것은 정책의 시행이 효과적이었다라고 평가할 수 있겠다.

최근 중국의 환경오염이 심각해짐에 따라 중국의 환경정책에 관한 연구도 활발히 전개되고 있다. 국내에서는 대체로 전반적인 중국의 환경오염 및 환경정책의 변화와 흐름에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 고재모(2007)는 중국의 환경오염 법제, 환경오염 실태와 원인에 대해 분석하였다. 폐수, 대기오염, 고체 폐기물 등 전반적인 환경오염 실태를 점검하고 오염처리를 위한 투자 및 오염 방지 대책에 대해 분석하였다. 김성옥(2011)은 중국의 경제라는 토대의 변화에 따라 환경정책이 어떻게 달라지고 있는지를 환경정책 수단과 기어 행위, 지역별 환경행위 집행의 차이를 대상으로 분석하였다. 이준호(2011)는 중국의 환경정책 규제 레짐의 구성요소를 구조적 측면과 제도적 측면의 두 가지로 구분하여 환경 규제 레짐의 맥락적 변화과정을 분석하였다. 국내에서 진행된 연구는 대부분 중국의 전반적인 환경오염에 대한 실태 및 정책으로, 이산화황 감축의 정책을 대상으로 진행된 연구는 없었다.

국외에서는 환경정책의 형성과정과 변화, 향후 방향에 관한 연구뿐만 아니라 특정 오염물질에 대한 연구도 진행되고 있다. Zhang(2007)은 중국의 환경정책 발전 과정을 살펴보고 선진국들의 환경정책을 토대로 중국의 환경정책 방향에 대해 제언을 하였다. 이산화황 감축 정책에 대한 연구도 진행되고 있는데, Schreifels(2012)는 2000년부터 2010년까지의 이산화황 감축 정책을 평가하고 향후 질소산화물, 이산화탄소 감축 달성에도 기여할 수 있도록 정책적 제언을 하였다. 시장 기반의 정책, 명령과 통제 기반 정책 및 중국 정부의 정치적 수단 관점에서 이산화황 감축 정책을 분석하였다. Yuan(2013)은 성공적인 이산화황 감축을 달성한 중국의 정책, 사회 구조 및 기술 3가지 분야에서 전략적인 로드맵을 분석하였다. 그리고 12차 5개년 계획기간(“12.5 기간”, 2011-2015)의 이산화질소, 이산화탄소 감축 달성을 위한 전략적 함의를 제공하였다.

지금까지 진행된 이산화황 감축 정책 연구는 모두 이산화황 감축을 위하여 중앙정부에서 시행중인 정책을 검토하였으나, 산업부문의 세부 정책을 검토하지 않았다는 한계점을 갖고 있다. 이산화황 배출원의 90%를 차지하고 있는 산업부문의 이산화황 감축에 영향을 미친 정책을 분석해볼 필요가 있겠다. 또한 지역별 이산화황 배출의 현황 및 시행 정책이 다르므로, 지역별로 시행중인 정책을 분석하여 성공적인 감축 지역의 사례를 검토해 볼 필요가 있겠다.

본 연구에서는 중국의 대기오염 현황 및 정책을 알아보고 대기오염 감축에 영향을 미친 정책에 대해 분석하고자 한다. 또한 베이징시와 톈진시의 이산화황 현황 및 시행 정책을 검토하여 이산화황의 성공적인 감축에 영향을 미친 정책이 무엇인지 분석하고자 한다. 나아가 이산화황 외의 대기오염 물질을 감축하기 위해 어떠한 방향으로 나아가야 하는지도 연구해 보고자 한다. 연구 방법은 정부 법률 문서, 국가 표

Ⅲ. 연구논단

준, 국가 계획 및 규범성 문건, 각종 보고서 등에 대한 문헌조사와 정부 통계자료의 데이터 분석이다. 정부에서 발표한 중앙정부 문서를 토대로 베이징시와 톈진시의 지방정부 문서, 계획, 규범성 문건을 검토하였다. 또한 국가통계국, 에너지국 통계자료, 환경보호부 통계자료를 인용하여 이산화황 배출량, 에너지 사용 현황, 이산화황 처리 현황, 경제 지표 등을 분석하였다.

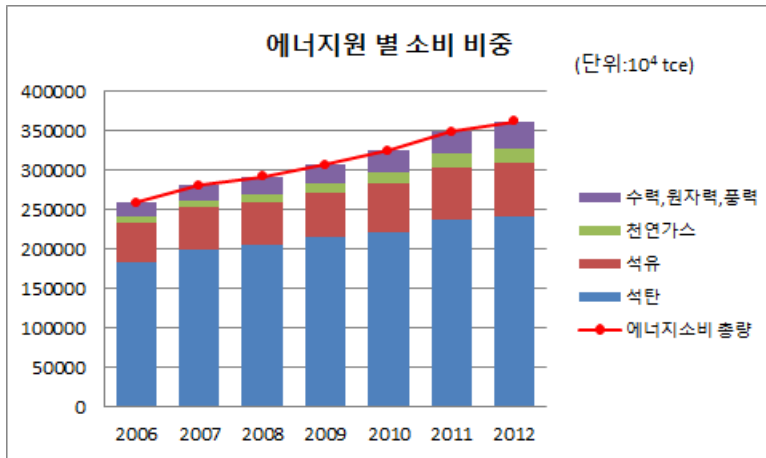
2. 중국 대기오염 현황

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)² 지역에서 국가 기준치에 부합한 비율은 37.5%에 불과했다(环境保护部, 2013). 또한 중국의 500개 대도시 중에 오직 1% 미만의 도시만이 세계보건기구(WHO)의 대기질량표준에 도달하고 있을 뿐이다(조성재, 2013: 30-31). 칭화대학교와 아시아개발은행이 최근 발표한 ‘중화인민공화국 국가환경분석’ 보고서는 세계 10대 대기오염도시로 타이위안(太原), 밀라노, 베이징, 우루무치(乌鲁木齐), 멕시코시티, 란저우(兰州), 충칭(重庆), 지난(济南), 스자좡(石家庄), 테헤란을 선정한 바 있는데, 이에 따르면 중국 7개 도시가 세계 10대 대기오염 도시에 포함되었다(张庆丰, 2013). 한편 리커창 중국 상무부총리는 대기오염 해결에 적극적으로 나서기 위해 환경보호 법 집행력을 강화하고 대중들의 대기오염 예방에 대한 경각심을 일깨워야 한다고 발표했다(中华人民共和国 中央人民政府, 2013). 특히 2013년 6월 리커창 총리가 대기질 개선을 위한 10대 정책을 발표한 이후 각 부처가 앞 다투어 대기환경 정책을 세워 시행하고 있다. 이처럼 중국의 대기오염 상황은 심각하며 중국 정부에서도 이 심각성을 인지하여 대기오염 개선에 주력하고 있다.

2.1 에너지 소비 현황

중국은 빠른 속도로 GDP 성장을 하고 있으며 이에 따라 에너지 소비 역시 급격히 증가하고 있다. 중국의 에너지원 별 소비 비중은 석탄이 약 70%를 차지하고 있다. 2007년 후 석탄 소비 비중은 점차 줄어들어 2012년은 67%를 차지하였으나, 에너지 전체 소비량이 증가하여, 석탄의 소비량도 꾸준히 늘어나고 있는 추세이다. 석탄에 이어 석유는 18%를 차지하고 있다(能源局, 2013). 중국 정부가 원자력발전소 건설 계획을 주요 사안으로 추진하고 있지만 아직 원전의 이용률은 중국 전체 에너지 소비에서 아주 낮은 수준이다. 석탄 소비 비중이 70%를 차지하고 있어 대기오염, 특히 석탄의 주 오염물질인 이산화황 문제는 중요한 사안으로 대두되고 있다.

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



출처: 环境保护部(2000~2012). 环境统计年报

그림 1. 중국 에너지원 별 소비 비중

2012년 중국의 에너지 소비는 2006년 대비 약 1.4배 증가한 36억 TCE를 기록하였지만, GDP 대비 에너지 소비량인 에너지 원단위는 점차 줄어들고 있다. 비록 에너지 원단위는 줄어들고 있지만 에너지 소비량은 꾸준히 증가하고 있어, 2010년에서 2040년 사이 중국이 세계 에너지 소비 증가량 중 절반을 차지할 것으로 예상된다(US Energy Information Administration, 2013).

표 1. 중국의 GDP, 에너지 소비량

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
GDP (10 ⁸ 위안)	216,314	265,810	314,045	340,903	401,513	473,104	518,942
에너지 소비량 (10 ⁴ TCE)	258,676	280,508	291,448	306,647	324,939	348,002	361,732
에너지 소비량/GDP (TCE/10 ⁴ 위안)	1.20	1.06	0.93	0.90	0.81	0.74	0.70

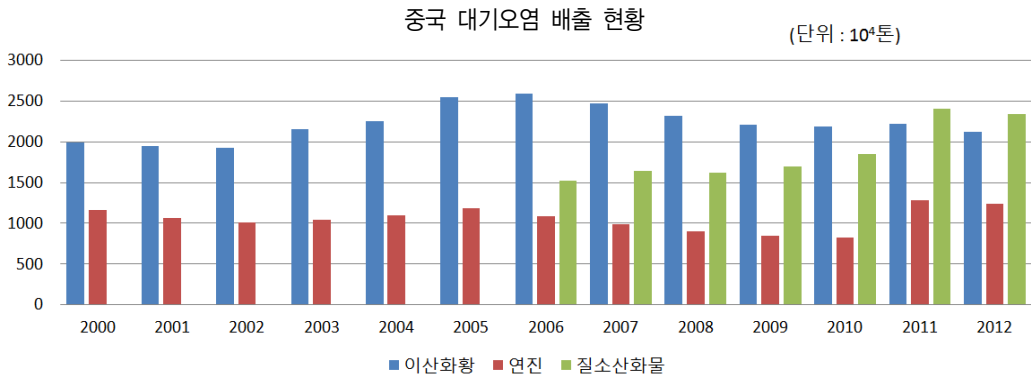
출처: 能源局(2013). 能源统计年鉴

2.2 이산화황 배출 현황

중국의 주요 대기오염 물질은 그림2 와 같이 이산화황, 이산화질소, 연진 등이 있다. 438개 주요도시 중 대기환경질³ 등급이 2급 이상인 도시의 비율은 91.4%로 2011년보다 2.4% 포인트 상승하였다. 하이커우(海口), 산아(三亚) 등 11개 도시의 대기환경질은 1급에 도달하였고 2급 이하 도시는 8.6%를 차지하였다(环境保护部, 2012).

3 미세먼지, 이산화질소, 이산화황, 일산화탄소, 오존의 농도를 종합하여 6등급으로 대기환경질을 구분하여 관리하고 있다.

Ⅲ. 연구논단

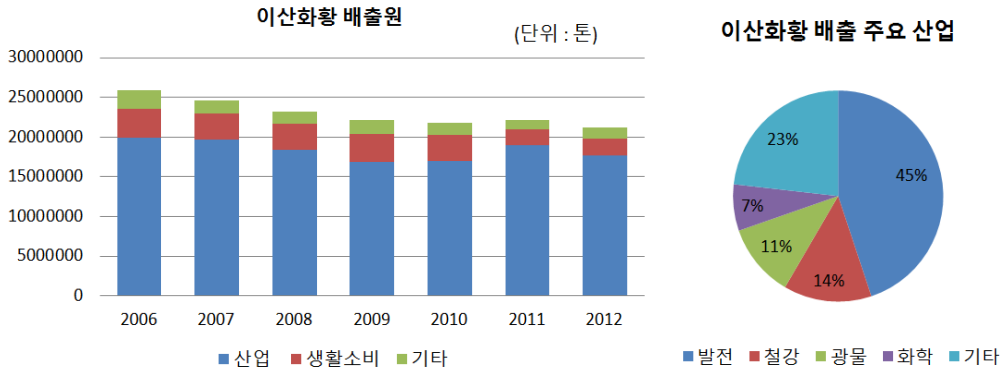


출처: 环境保护部(2000-2012). 环境统计年报

그림 2. 중국 대기오염 배출 현황

현재 중국의 GDP당 이산화황 배출량은 미국의 8배, 독일의 26배, 일본의 81배에 이르고 있고, 전 국토의 30%에 산성비가 내려 세계 3대 산성비 지역에 속해 있다. 이산화황 등으로 유발된 산성비로 인한 경제적 손실은 매년 1,100억 위안에 이르고, 대기오염에 의한 손실은 GDP의 2~3%에 이르는 것으로 분석되고 있다(심상형, 2003). 하지만 중국의 이산화황 배출은 2006년부터 점차 감소추세에 접어들고 있다. 11.5 기간의 주요 관리 오염물질 대상은 이산화황으로, 2005년 대비 10% 감축한 2294.4만 톤 배출을 목표로 수립하였다(国务院, 2007). 2010년 배출량은 목표를 초과 달성한 14.3%인 2185.1만 톤으로, 11.5 기간 이산화황 배출은 성공적으로 감축하였다고 볼 수 있다. 이 후 2011년 2217.9만 톤을 배출하여 조금 증가하였으나 2012년 다시 배출량은 감소하였다.

이산화황은 주로 화북, 화중, 화동, 서남, 화서지역에서 많이 배출되고 있다. 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). 아래 그림 3과 같이 이산화황 배출원의 80%는 산업 부문이 차지하고 있다. 산업 부문 중 45%는 발전부문이 차지하며 철강, 광물, 화학이 주요 이산화황 배출 산업이다.



출처: 环境保护部(2006~2012). 环境统计年报

그림 3. 이산화황 배출원 및 주요 산업

3. 대기오염 방지 정책

3.1 총량 제어

총량 제어는 중앙정부에서 배출량의 효과적인 제어를 위해 배출 총량을 국가 단위에서 설정하여 관리하는 것으로 국민경제 및 사회발전 5개년 계획에 최초로 포함된 사항이다. “11.5 계획 기간”에 최초로 “국가 환경보호 11.5 계획”을 발행하였고, 이 계획은 환경보호의 목표, 임무, 투자 및 정책을 서술하여 각 계층의 인민정부 및 환경보호부문에서의 책임과 임무를 밝혔다(강택구, 2013). “국가 환경보호 11.5 계획”에서는 이산화황 배출량을 2010년까지 2005년 대비 10% 감축하여, 총 배출량 2,295만 톤을 목표로 수립하였다. “12.5 계획” 기간에는 “11.5 계획” 기간에 배출한 총량을 바탕으로 배출량 목표를 재수립하였다. “국가 환경보호 12.5 계획”에서는 이산화황 배출량을 2015년까지 2010년 대비 8% 감축한, 총 배출량 2,086.4만 톤을 목표로 수립하였다. “국가 환경보호 11.5 계획”과 더불어, 오염물질 배출을 감축하고 총량 제어를 실시하기 위해 “오염물 배출 총량제어 계획”, “에너지 절약 및 배출감축 11.5 계획” 등 세부 규정을 발표하였다. 특히 “12.5 계획 기간”에는 주요 산업별로 배출량을 할당하여 목표 달성을 구체화하였다.

표 2. 5개년 계획 기간 이산화황 감축 목표 및 배출 총량

구분	“11.5 계획 기간”	“12.5 계획 기간”
감축 목표	2010년 까지 2005년 대비 10% 감축	2015년 까지 2010년 대비 8% 감축
배출 총량 (만 톤)	2,295	화력발전 800
		철강산업 180
		그 외 산업 1,866

출처: 国务院(2007, 2011). 国家环境保护 “十一五” 规划, 国家环境保护 “十二五” 规划

Ⅲ. 연구논단

표 3. 5개년 계획 기간 이산화황 감축 목표 및 배출 총량

지역	2010년 목표 배출량	2010년 실제 배출량	11.5 목표 달성	2015년 목표 배출량	지역	2010년 목표 배출량	2010년 실제 배출량	11.5 목표 달성	2015년 목표 배출량
베이징 (北京)	15.2	11.5	○	9.0	후베이 (湖北)	66.1	63.3	○	63.7
톈진 (天津)	24	23.5	○	21.6	후난 (湖南)	83.6	80.1	○	65.1
허베이 (河北)	127.1	123.4	○	125.5	광둥 (广东)	110	105.1	○	71.5
산시 (山西)	130.4	124.9	○	127.6	광시 (广西)	92.2	90.4	○	52.7
네이멍구 (内蒙古)	140	139.4	○	134.4	하이난 (海南)	2.2	2.9	×	4.2
랴오닝 (辽宁)	105.3	102.2	○	104.7	중칭 (重庆)	73.7	71.9	○	56.6
지린 (吉林)	36.4	35.6	○	40.6	쓰촨 (四川)	114.4	113.1	○	84.4
헤이룽장 (黑龙江)	49.8	49	○	50.3	구이저우 (贵州)	115.4	114.9	○	106.2
상하이 (上海)	38	35.8	○	22	윤난 (云南)	50.1	50.1	○	67.6
장쑤 (江苏)	112.6	105	○	92.5	시짱 (西藏)	0.2	0.4	×	0.4
저장 (浙江)	73.1	67.8	○	59.3	산시 (陕西)	81.1	77.9	○	87.3
안후이 (安徽)	54.8	53.2	○	50.5	간쑤 (甘肃)	56.3	55.2	○	63.4
푸젠 (福建)	42.4	40.9	○	36.5	칭하이 (青海)	12.4	14.3	×	18.3
장시 (江西)	57	55.7	○	54.9	닝샤 (宁夏)	31.1	31.1	○	36.9
산둥 (山东)	160.2	153.8	○	160.1	신장 (新疆)	51.9	58.8	×	72.7
허난 (河南)	139.7	133.9	○	126.9	합계	2246.7	2185.1	○	2067.4

출처: 国务院(2007, 2011). 国家环境保护 “十一五” 规划, 国家环境保护 “十二五” 规划

총량 제어는 국가 전체의 배출량 목표를 수립한 후, 성·시 별 환경 용량, 배출량 데이터, 경제발전 수준, 감축 능력 및 오염물 처리 계획 등 환경 상황을 종합적으로 고려하고, 동·중·서부 지역의 차등 적용하여 전체 배출량을 지역 별로 할당하였다. 2015년 배출량 목표인 2,295만 톤 중 2,246.7만 톤을 31개

성·시로 할당하였다.⁴ “11.5 규획 기간” 동안 성·시 별 할당량과 배출량은 표 3 과 같다. 서부 대 개발 지역 및 경제 특구 지역인 하이난(海南), 시짱(西藏), 칭하이(青海), 신장(新疆)을 제외한 나머지 27개 성·시는 모두 할당량보다 적게 배출하였고, 전체 총 배출량 2,267.8만 톤을 배출하여 “11.5 규획 기간” 목표 를 달성하였다.

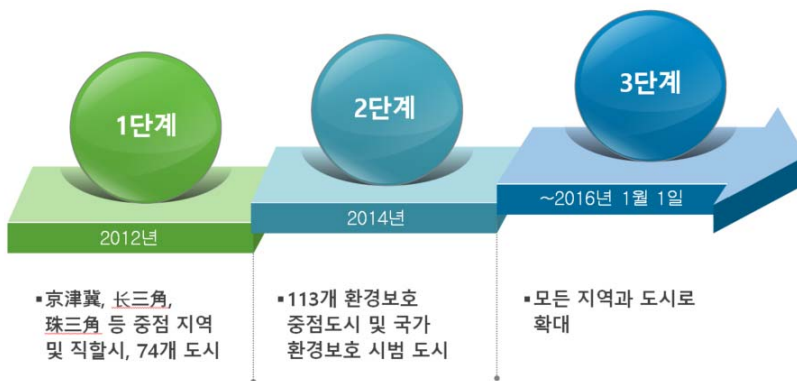
3.2 농도 관리

배출된 오염물질의 농도를 규제하기 위해 중국은 1982년 “대기환경질 기준”을 제정하였다. 표 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 대상 이고, 2013년 2단계로는 113개 환경보호 중점도시 및 국가 환경 모범도시에 해당이 된다. 2015년부터는 모든 지급이상 도시로 확대되어 전국 실행을 할 예정이다(环境保护部, 2012).

표 4. 대기환경질 기준 이산화황 농도

이산화황 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	대기환경질 기준 GB3095-1996			대기환경질 기준 GB3095-2012	
	1급	2급	3급	1급	2급
연평균	20	60	100	20	60
24시간 평균	50	150	250	50	150
1시간 평균	150	500	700	150	500

출처: 环境保护部(2012). 环境空气质量标准 (GB 3095-2012)



출처: 环境保护部(2012). 环境空气质量标准 (GB 3095-2012)

그림 4. 대기환경질 기준 시행 단계

4 목표량에서의 잉여 배출량 48만 톤은 이산화황 배출권 유상분배 및 시범 거래를 위한 예치 분이다.

Ⅲ. 연구논단

또 다른 농도 규제는 “12.5 계획 기간”부터 시행하고 있는 “중점지역 대기오염 방지 12.5 계획”이다. 오염이 심한 인접 도시를 한 개의 단위로 하여 총 13개 중점 지역을 대상으로 2015년까지 2010년 대비 이산화황 가스 연평균 농도를 10% 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 그림 5는 13개 중점지역을 나타낸 것이다. 이 지역은 중국 경제생산 중 71%를 차지하고 있으며 48%의 이산화황을 배출하고 있다. 표 5와 같이 중점지역의 2010년 이산화황 농도를 기준으로 이산화황 연평균 농도 감축 목표를 수립하여 지역별로 “12.5 계획 기간” 동안 감축 목표를 달성하도록 하고 있다(环境保护部, 2012).

표 5. 중점 지역의 2010년 이산화황 농도 및 감축 목표

지역		2010년 이산화황 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	농도 감축 목표(%)	지역		2010년 이산화황 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	농도 감축 목표(%)
징진지 (京津冀)	베이징 (北京)	32	10	창주탄 (长株潭)	후난 (湖南)	51	9
	텐진 (天津)	54	8	청유 (成渝)	중칭 (重庆)	48	6
	허베이 (河北)	45	11		쓰촨 (四川)	42	9
창산자오 (长三角)	상하이 (上海)	29	11	하이샤서안 (海峽西岸)	푸젠 (福建)	29	6
주산자오 (珠三角)	장쑤 (江苏)	36	12	산시중북부 (山西中北部)	산시 (山西)	44	10
	저장 (浙江)	30	11	산시관중 (陕西关中)	산시 (陕西)	37	7
	광둥 (广东)	26	12	간닝 (甘宁)	간쑤 (甘肃)	52	14
리아오닝 중부 (辽宁中部)	랴오닝 (辽宁)	46	11		닝샤 (宁夏)	39	10
산둥 (山东)	산둥 (山东)	52	14	신장우루무치 (新疆乌鲁木齐)	신장 (新疆)	43	9
우한및주변 (武汉及其周边)	후베이 (湖北)	28	7				

출처 : 环境保护部(2012). 关于印发《重点区域大气污染防治 “十二五” 规划》的通知



출처 : 环境保护部(2012). 关于印发《重点区域大气污染防治“十二五”规划》的通知

그림 5. 대기오염 방지 중점지역

4. 산업 정책

4.1 탈황 및 도태

경제성장을 위한 중국의 조방형 발전방식은 다량의 자원과 에너지를 소비하여 오염을 초래한 주요 원인중의 하나이다. 다량의 오염물을 배출하는 산업, 특히 철강, 발전, 석유화학 등의 산업이 성장함에 따라 이산화황을 처리하는 규제도 점차 강화되고 있다. “에너지 절약 및 배출감축 11.5 계획”에서는 “11.5 계획 기간”에 3.55억 kw 탈황 설비를 투자하여 590만 톤 이산화황 감축을 달성하는 목표를 수립하고 배기가스의 탈황시설 운영 모니터링을 강화하도록 하였다. “11.5 계획 기간”에는 실제로 5.78억 kwh의 탈황 설비를 설치하여 이산화황 감축에 적극 투자하였다. “에너지 절약 및 배출감축 12.5 계획”에서는 “12.5 계획 기간”에 9,323만 kw 탈황 설비를 투자하여 277만 톤 이산화황 감축 목표를 수립하였다. 특히 철강, 비철금속, 건축, 석화, 코크스 등 다배출 산업의 탈황 설비에 집중 투자하여 2015년까지 탈황 효율 95%를 달성하고자 한다(国务院, 2007).

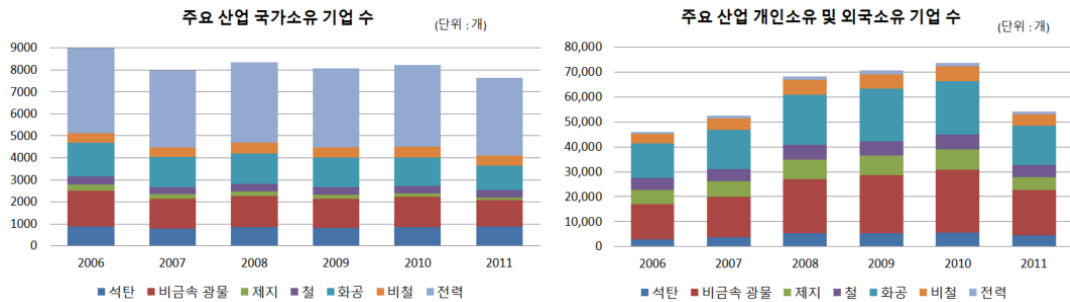
표 6. “11.5 기간” 및 “12.5 기간”의 탈황 설비 설치 목표

구분	탈황 설비 설치 목표	이산화황 감축 목표
“11.5 기간”	2.55억 kwh (신축 1.88억/ 기존 1.67억)	590만톤 감축
“12.5 기간”	9323만 kwh (신축 5056만/ 기존 4267만)	277만톤 감축

출처: 国务院 (2007, 2012). 节能减排 “十一五” 规划, 节能减排 “十二五” 规划

Ⅲ. 연구논단

또한 전체 이산화황 배출의 약 40%를 차지하고 있는 발전 부분에서 탈황시설을 운행하도록 하는 “석탄 발전소 이산화황 처리 11.5 계획”(国家发展和改革委员会, 2007)을 실시하였다. 주요 내용은 221개 주요 탈황시설 설치 및 개조 대상을 설정하여 “11.5 계획 기간” 동안 연도별 목표를 수립하였으며 탈황시설 설치 시 전력 가격을 0.165 위안/kwh 더 받을 수 있도록 규정하였다. 2007년에는 “탈황 석탄발전의 전력 가격 및 탈황시설 운영 관리방법”을 발표하여 탈황시설 설치 시 전력 가격을 0.15 위안/kwh를 추가 조정하였다.



출처: 중국 국가통계국 (2006~2011). 산업 별 국가 소유, 개인 소유 및 외국 소유 기업 수

그림 6. 도태 대상 주요 산업의 기업 수

낙후된 산업을 도태시켜 이산화황 배출을 감축시키는 정책은 1999년 “낙후된 생산 능력, 공정 및 제품의 도태 목록”을 발표하면서 처음 실시되었다(国家经贸委, 1999). 그 후 본격적으로 산업 부분에서는 2010년 “산업 부분 낙후된 생산 공장 설비 및 제품 도태 목록”을 발표하면서 시행되었다. “에너지 절약 및 배출감축 12.5 계획”에서는 “12.5 계획 기간” 동안 철, 비철, 화공, 전력, 석탄, 제지 등 생산능력이 낙후된 산업을 도태시킬 것을 강조하였다(工业和信息化部, 2010). 그림 6은 도태 대상인 주요 산업의 기업 수를 나타낸 것이다. 국가 소유 기업은 점차 감소하는 추세를 보이고 있으나 개인 소유 및 외국 소유 기업 수는 2010년까지 증가하다가 2011년에 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 상대적으로 정책을 이행하기 용이한 국가 소유 기업을 대상으로 국가에서 산업 도태 정책을 실시한 것으로 볼 수 있다. 하지만 본격적으로 산업의 도태가 실시되는 2010년 이후는 국가 소유와 개인 및 외국 소유 기업이 모두 감소한 것으로 보아 산업의 도태 정책은 강화되고 있는 것을 알 수 있다.

4.2 효율 향상 및 청결 생산

중국은 다량의 자원과 에너지를 소비하여 오염을 초래하고 있다. “에너지 절약 및 배출감축 11.5 계획”에서는 석탄의 청결 및 고효율 이용을 위해 석탄의 세척 가공을 추진하도록 하고 있다.⁵ “에너지 절약 및 배출감축 12.5 계획”에서는 더 구체화 하여 석탄 세척의 비중을 늘리고, 석탄 질을 제고하여 2015년 까

5 석탄 세척은 물리, 화학, 생물학적인 방법으로 석탄 중의 황과 회분을 제거하는 기술로, 석탄 세척 시 효율이 10% 이상 상승할 수 있으며 이산화황 배출을 낮출 수 있다.

지 원탄의 세척률을 65% 이상을 목표로 하고 있다. “석탄 산업 발전 12.5 계획”에서 역시 중·대형 석탄 광은 모두 석탄 세척장을 건설을 하도록 해 석탄의 세척 가공 확대를 제시하고 있다(国务院, 2007). 2011년 개정된 “화력발전소의 대기오염 배출 표준”에서는 황 함량이 높은 석탄을 사용하는 지역⁶의 신축 보일러의 이산화황 배출 기준을 강화하고 있다(环境保护部, 2011). 황 함량이 높은 석탄을 사용하는 지역 중 현재 운영 중인 보일러는 400 mg/m³의 기준이 적용되며, 신축 보일러에 대해서는 200 mg/m³의 기준이 적용된다. 이는 기존의 황 함량 여부와 상관없이 일괄 적용하던 기준과는 다르게 황 함량 여부에 따라 기준을 차등 적용하여 일반 지역에 대해서는 이산화황 배출 기준을 강화하고 있다는 것을 알 수 있다. 석탄을 사용하는 기업은 공정 개선, 황 함량 낮은 석탄 사용 등을 통해 이산화황 배출을 감축하도록 하고 있다.

표 7. 화력발전소의 대기오염 배출 표준

2011년 개정		2012년 개정		
신축 및 개조 시기	기준	구분	일반 지역	고황 지역
2003년 12월31일 전	400 (1996년 12월 31일 전 신축, 개조한 보일러 1200)	기존	200	400
2009년 12월31일 전	400 (일부 서부지역 800 ⁷)	신축	100	200
2010년 1월1일 이후	200			

출처: 环境保护部 (2011). 火电厂大气污染物排放标准

중국 석탄 가격은 중앙정부에 의해서 가격이 결정되었다가, 2002년부터는 시장에 의해 결정되는 가격 체계로 변화하였다(钢联资讯, 2013). 석탄의 가격은 점차 내려가고 있는 현 상황에 발전소는 강화되는 이산화황 배출 기준을 충족하기 위하여 석탄 선택에 있어서 더욱 효율이 좋고 이산화황 처리 비용이 저렴한 석탄을 구매하는 경향이 늘어나고 있다(中国电力报, 2014). 또한 “에너지 발전 12.5 계획”에서는 석탄 발전소의 대형화를 추진하여 2015년 까지 낙후된 석탄 발전 용량의 2000만 kwh를 도태하고, 화력발전소의 발전 효율을 323g 까지 낮추도록 하고 있다.

표 8. 연도별 화력발전소 발전 효율

년도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
효율 (g/kwh)	367	356	345	340	333	329	325

출처: 中国电力企业联合会(2006~2012). 电力统计基本数据一览表

6 황 함량이 다른 지역에 비해 높은 광시 좡족 자치구, 충칭시, 쓰촨성, 구이저우성 지역

7 산성비 및 이산화황 제어 지역에 해당하지 않는 서부 지역 중 황 함량이 적은 석탄 사용하는 보일러

Ⅲ. 연구논단

5. 지역 사례 : 베이징시와 톈진시 비교

5.1 베이징시와 톈진시의 현황

베이징시는 중국의 수도로 인구가 밀집되어 있으며 에너지 소비량이 많아 자체 배출량이 크고, 배출 강도 역시 매우 크다. 지리적으로는 세 면이 산으로 둘러싸여 있어 대기오염물질의 확산이 어려우며 강수량 역시 적어 최근 10년간 강수량 연 평균이 500 mm가 안된다. 또한 톈진 허베이성 등 주위 지역에 시멘트, 철강, 석화 등 고오염 산업이 밀집되어 있어 대기 환경이 매우 오염되어 있다.

톈진시는 중국 발전의 “제 3단계”⁸ 지역으로 경제발전예 따른 환경오염이 심각한 도시이다. 2차 산업의 비중이 50%를 차지하고, 중공업의 공업 부가가치가 80%를 초과한다. 석유, 석화, 화공, 철금속 등 4개 고오염 산업의 공업 부가가치가 약 40%에 달한다. 또한 에너지 소비원이 석탄을 위주로 1차 에너지원 비율의 59%를 차지한다. 도시 건설이 빠른 속도로 진행되고 이에 따라 자동차 보유량도 빠르게 증가하고 있지만 이에 비해 환경보호 감독 관리능력은 미비해 관리감독에 문제가 존재하고 있다(中国人民政治协商会议天津市委员会, 2014).

아래 표 9는 베이징시와 톈진시의 주요 지표를 비교한 것이다. 베이징시의 GDP는 높지만, 톈진시의 공업 부가가치는 베이징시의 약 두 배이다. 인구는 베이징시가 톈진시보다 많지만 공업 단지가 몰려있는 톈진시의 경우 석탄소비량은 베이징시에 비해 두 배가 넘는다. 따라서 이산화황 배출량도 베이징시에 비해 두 배가 넘으며, 베이징시는 생활 부문의 이산화황 배출이 40% 정도 차지하지만, 톈진시의 경우 대부분 배출원은 산업부문이 차지하고 있다.

표 9. 베이징시와 톈진시의 주요 지표

지표	베이징시	톈진시
GDP (억 위안)	17,897	12,893
공업 부가가치 (억 위안)	3,294	6,123
인구 (만 명)	2,069	1,413
석탄 소비량 (만 톤)	2270	5298
이산화황 배출량 /공업부문 배출량 (만 톤)	93,849 / 59,330	224,521 / 215,481

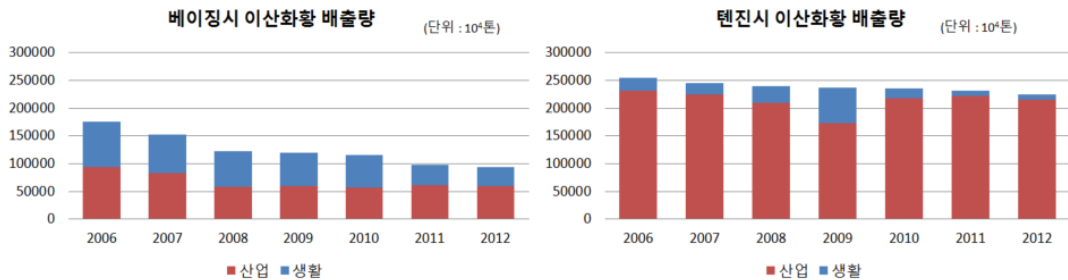
출처: 중국 국가통계국(2012). 지역별 지표 참고

베이징시와 톈진시의 이산화황 배출량을 비교하면 아래 그림 7과 같다. 베이징시의 경우 2006년 이후 꾸준히 이산화황 배출량이 감소하고 있으며 2006년 대비 2010년 감축 실적이 약 35%로 매우 효과적이

8 80년대, 선전 경제특구를 중심으로 경제발전의 도약을 한 것이 1단계, 90년대 상하이 푸둥 지역을 중심으로 경제 발전을 달성한 것이 2단계라고 부르며, 21세기 들어 톈진시의 빈하이 지역을 중심으로 중국 경제발전의 신 동력을 창출한 것을 3단계로 부른다.

며, 산업 및 생활 부문에서 감축 실적이 나타나고 있다. 반면 텐진시의 경우 이산화황 배출 감축이 나타나고 있으나 2010년 감축 실적이 2006년 대비 약 8%로 미비한 것으로 나타났다. 특히 텐진시의 경우 산업 부문의 이산화황 배출량이 전체 배출량의 90%를 넘게 차지하여 이산화황 배출 감축에 산업 부문이 매우 중요한 것으로 보였다.

베이징시의 산업부문 이산화황 배출량은 2006년부터 점차 감소하고 있으며, 2011년에 다소 증가하였으나 6억 톤을 상회하고 있다. 텐진시의 산업부문 이산화황 배출량의 경우 베이징시와 같이 2006년 이후 감소하는 경향이 있으나 2010년 다시 증가하고 있다. 전체 배출량은 감소하였으나 산업부문의 배출량은 다시 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.



출처: 중국 국가통계국(2006~2012), 이산화황 배출량

그림 7. 베이징시와 텐진시의 이산화황 배출현황

5.2 베이징시와 텐진시의 정책 이행

5.2.1 대기오염 방지 정책

베이징시는 11.5 계획 기간 중앙정부에서 시행하는 “11.5 기간 오염물 배출 총량제어 계획”에 따라 베이징시 자체적인 “11.5 기간 베이징시 주요 오염물 배출 총량 제어 계획”을 제정하였다. 2005년의 이산화황 배출 총량인 19.06만 톤에서 약 40% 감축을 목표로 총량 11.52만 톤을 목표로 설정하였다(北京市环境保护部, 2006). “12.5 기간 베이징시 주요 오염물 총량 감축 업무 방안”을 제정하여 2015년에 2010년 대비 13.4% 이상 감축한 9만 톤 배출을 목표로 설정하였다(北京市人民政府, 2011). 베이징시는 환경 용량, 감축 능력, 경제 발전 상황 등을 고려하여 구·현 별로 배출량을 할당하였다. 아래 표 10은 베이징시의 “11.5 계획 기간”에 구·현 별 배출량 대비 2010년 배출 할당량을 나타낸 것이다. 구·현 별로 배출량을 할당하여 이산화황 감축의 책임의식을 강화하고, 감축 실적을 평가 및 심사하여 결과를 공개하고 있다.

Ⅲ. 연구논단

표 10. “11.5 기간” 베이징시의 구·현 별 배출 할당량

구·현	배출량(톤)		증감비율	구·현	배출량(톤)		증감비율
	2005年	2010年			2005年	2010年	
东城区	1067	1000	-6.30%	昌平区	11755	10600	-9.80%
西城区	1779	1700	-4.40%	顺义区	9773	8800	-10%
崇文区	519	500	-3.70%	通州区	6546	5900	-9.90%
宣武区	1292	850	-34.20%	大兴区	6397	5750	-10.10%
朝阳区	19258	10000	-48.10%	平谷区	4620	4150	-10.20%
海淀区	9613	8200	-14.70%	怀柔区	3878	3500	-9.70%
丰台区	19544	12600	-35.50%	密云县	3365	3000	-10.80%
石景山	70909	20400	-71.20%	延庆县	5035	4500	-10.60%
门头沟	2137	1950	-8.80%	北京经济技术开发区	100	100	0
房山区	13035	11700	-10.20%	합계	190622	115200	-39.60%

출처: 北京市环境保护部(2006). “十一五”期间北京市主要污染物排放总量控制计划

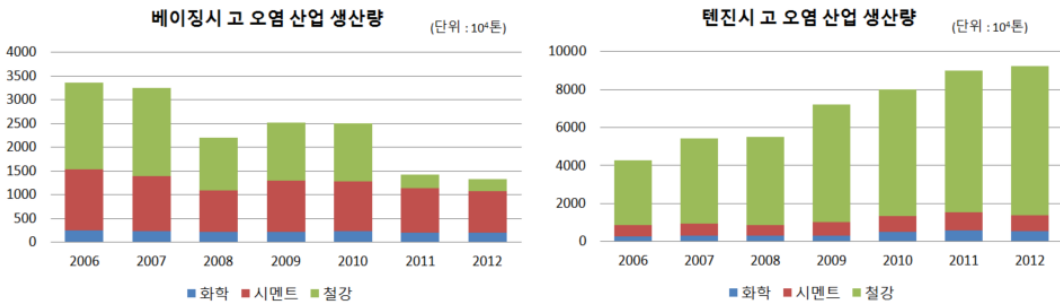
또한 베이징시는 1999년부터 대기오염의 심각성을 인지하고, 대기환경의 개선을 위해 “베이징시 대기 오염 제어를 위한 긴급조치에 대한 공고”를 발표하고, 1999년부터 2010년까지 총 16단계에 걸쳐 대기오염 개선을 위한 조치를 실시해왔다. 그 결과 산업 및 에너지 구조가 개선되었으며, 오염물 감축 수준도 많이 향상되었다고 평가받고 있다(北京市人民代表大会常务委员会, 2012). 실제로 “11.5 계획 기간”의 전국 주요 오염물 총량 감축 심사 결과 베이징시는 실제 감축률이 2005년 대비 39.7%를 달성하여 전국 1위를 차지하였다(环境保护部, 2011).

반면 텐진시는 “11.5 계획 기간”에는 이산화황 배출 총량 제어를 위한 시 자체적인 정책이 시행되지 않았다.⁹ “12.5 계획 기간”부터 본격적으로 “텐진시 12.5 기간 주요 오염물 총량 감축 업무 방안”을 제정하여 총량 제어를 위해 구·현 별로 배출 감축 계획을 작성하도록 하고 있다(天津市人民政府, 2011). 또한 “12.5 기간”동안의 이산화황 배출량은 2010년 배출량을 초과할 수 없으며 구·현의 경제 및 사회발전 상황에 따라 이산화황 배출량을 예측하여 연도별 감축 계획을 작성하도록 하고 있다. “12.5 계획 기간” 동안 열 공급 구조를 개선하고 기업에서 자체적으로 사용하는 소형 화력발전 설비를 도태 혹은 개선하여 석탄 소비량을 줄임으로 이산화황 배출량을 제어하고자 한다. 하지만 베이징시와 같이 구·현 별로 배출량을 할당하지 않아 베이징시에 비해서 지역 별 감축에 대한 목표의 책임의식이 강하지는 않다.

9 “텐진시 11.5 기간 주요 오염물 총량 감축을 위한 통계 편법”을 제정하여 배출량을 수집하고는 있지만 구·현 별로 배출 감축을 위한 체계적인 관리는 실시하고 있지 않았다.

5.2.2 산업 정책

베이징시에서는 2005년 이후 “에너지 고소비, 고오염, 물 고소비(3고)”산업의 도태를 추진해왔다. 주요 산업은 철강, 시멘트, 화학, 제지, 염색 등이 있으며, 산업별로 배출 기준과 같은 세부 지침을 만들어 기준을 충족하지 못하는 기업들은 이전하도록 하고 있다. 사업장을 이전하는 기업에게는 일정 기준을 충족할 경우 시에서 보조금을 지급하고 있다(北京市发展和改革委员会, 2007). 베이징시는 2007년과 2008년 총 79개의 “3고” 기업에게 이전 보조금 총 71,820만 위안을 지급하였다(北京能源发展研究基地, 2009). 아래 그림 8을 보면 베이징시의 고오염 산업의 생산량은 현저하게 감소한 것을 볼 수 있다. 반면 텐진시의 경우 2006년 이후 꾸준히 증가하고 있다.



출처: 중국 국가통계국(2006~2011), 산업별 생산량

그림 8. 고오염 산업 생산량

표 11. 베이징시와 텐진시의 공업기업 수

구분	베이징			텐진		
	국가소유 공업기업	개인소유 공업기업	외국소유 공업기업	국가소유 공업기업	개인소유 공업기업	외국소유 공업기업
2006	1,469	1,666	1,401	1,225	2,042	1,954
2007	1,104	1,958	1,451	1,310	2,098	2,018
2008	1,116	2,354	1,522	884	3,532	2,384
2009	1,058	2,354	1,397	974	3,756	2,448
2010	1,009	2,465	1,342	801	3,676	2,336
2011	781	1,046	959	557	2,006	1,645
2012	790	1,043	925	575	2,246	1,669

출처: 중국 국가통계국(2006~2011), 공업기업 수

표 11은 베이징시와 텐진시의 공업기업 수를 나타낸 것이다. 베이징시의 국가 소유 공업기업 수는 2006년 이후 꾸준히 감소하고 있다. 베이징시의 고오염 산업의 기업을 이전시키는데 사기업이나 외국 기업 보다는 정책 이행이 상대적으로 용이한 국가소유 공업기업이 가장 많은 영향을 받은 것을 알 수 있다.

Ⅲ. 연구논단

톈진시의 경우도 국가소유 공업기업의 수가 감소하긴 하였으나, 사기업과 외국 기업의 수는 오히려 증가하였다. 두 도시 모두 2011년에 급격히 기업 수가 감소하였는데 이는 “산업구조 조정 가이드 목록 2011년(国家发展改革委, 2011)”과 “중점지역 대기오염방지 12.5 계획”에 의해 낙후된 공장을 도태하고 산업 배치를 고루 분배하여 산업 구조를 고도화한 것으로 볼 수 있다. “12.5 계획 기간”에는 대기오염이 심한 중점 지역을 대상으로 “중점지역 대기오염방지 12.5 계획”을 발표하여 대기오염 물질의 농도 및 총량 감축 목표를 할당하고 대기오염 관리를 한층 강화하고 있다. 이산화황의 처리를 강조하며, 생산능력이 낙후된 산업의 도태를 강조하여 “12.5 계획 기간”의 이산화황 배출 감축 목표를 달성하고자 한다.

5.2.3 베이징시와 톈진시의 정책 비교

앞서 살펴본 바와 같이 베이징시와 톈진시의 정책 이행 내용은 차이가 있다. 중앙정부에서 실시하는 정책을 토대로 베이징시정부, 톈진시정부에서 시행방안을 제정하고 실제로 이행하는 시기, 범위, 대상 등에서 차이점을 발견할 수 있었다. 대기오염 방지 정책과 산업 정책을 비교하면 아래 표와 같다. 베이징시가 시기적으로 중앙정부의 정책을 빨리 시행하고 있으며, 2005년 이후 본격적으로 강화된 산업 도태 정책을 실시하고 있었는데 이것은 2008년의 올림픽의 영향이 있었을 것으로 판단된다.

표 12. 베이징시와 톈진시의 정책 비교

정책		베이징시	톈진시
대기 오염 방지 정책	총량 제어 정책	<ul style="list-style-type: none"> • “11.5 계획 기간”부터 베이징시 자체의 오염물 총량 감축 업무 방안을 제정 • 환경 용량, 감축 능력, 경제 발전 상황 등을 고려하여 구·현 별로 배출량을 할당 	<ul style="list-style-type: none"> • “12.5 기간”부터 본격적으로 “톈진시 12.5 기간 주요 오염물 총량 감축 업무 방안”을 제정 • 구·현 별로 배출 감축 계획을 작성 요구
	농도 관리 정책	총 16단계에 걸쳐 대기오염 개선을 위한 조치를 실시	-
산업 정책	탈황 및 도태 정책	2005년 이후 “에너지 고소비, 고오염, 물 고소비(3고)”산업의 도태를 추진	-
		2011년 이후 “산업구조 조정 가이드 목록(2011년)”과 “중점지역 대기오염방지 12.5 계획”에 의해 낙후된 공장을 도태하고 산업 배치를 고루 분배하여 산업 구조를 고도화	

6. 결론 및 시사점

중국의 경제성장에 따라 에너지 사용량도 늘어나고, 이에 석탄 사용량도 계속 증가하고 있다. 에너지 사용량의 70%는 석탄이 차지하고 있어 대기오염도 심각한 수준이다. 2006년 이후 석탄의 사용량은 계속 증가하고 있으나 이산화황의 배출은 감소하는 추세에 있다. 이산화황 배출원의 80%는 산업부문으로 발전, 철강, 광물, 화학 산업이 주요 배출 산업이다. 이산화황 배출 감축에 영향을 미치는 정책으로 크게 대기오염 정책과 산업 정책으로 나누어 검토하였다.

대기오염 정책으로는 총량 제어와 농도 관리가 있다. 경제개발 5개년 계획 기간에 따라 전국적인 이산화황 감축 목표를 설정하고, 성·시별 환경 용량 및 경제발전 상황 등에 따라서 배출량을 할당하였다. “11.5 기간”의 배출량 감축 성과는 31개 성·시 중 일부 경제특구 및 서부 대개발 지역을 제외한 27개 지역은 모두 달성하였고, 전국 배출량 감축 성과는 목표를 초과 감축하여 성공적으로 평가받고 있다. 또한 배출된 오염물질의 농도를 규제하고 있는데 1982년 처음으로 “대기환경질 기준”을 제정하여 세 차례의 개정을 통해 현재의 “대기환경질 기준 GB3095-2012”를 발표하였다. 3단계로 나누어 지역별로 점차 확대하여 적용될 예정이고, 중점지역을 대상으로 농도 감축을 관리하고 있다.

산업 정책으로는 탈황 및 도태, 효율 향상 및 청결 생산이 있다. 탈황 설비를 투자하여 이산화황 감축을 달성하도록 하고, 특히 발전 부분의 탈황 설비를 운행하도록 “석탄발전소 이산화황 처리 11.5 계획”을 실시하여 주요 석탄발전소에 탈황 설비를 설치하고 개조하도록 하고 있다. 그리고 이산화황 배출 주요 산업인 철강, 비철 금속, 화공, 전력 등의 산업을 대상으로 낙후된 산업을 도태시킬 것을 강조하고 있다. 낙후 대상인 주요 산업의 국가소유 기업 수는 점차 감소하고 있으며, 개인소유 및 외국소유 기업수도 2010년 이후 감소하고 있다. 이는 점차 낙후된 산업의 도태를 강화하고 있다는 것을 알 수 있다.

베이징시와 톈진시는 중국의 주요 도시로, 베이징시는 중국 수도이며, 톈진시는 주요 경제발전 도시이다. 두 도시 모두 이산화황 배출량은 감소하고 있으나 톈진시는 베이징시에 비해 감축 정도가 미비하며, 산업부문의 경우 2010년 다시 눈에 띄게 증가하였다. 베이징시는 “11.5 기간”의 전국 주요 오염물 총량 감축 심사 결과 실제 감축률이 2005년 대비 39.7%를 달성하여 전국 1위를 차지하였다. 이것은 2008년 올림픽이라는 지구촌 행사 및 중국의 수도라는 국제적인 이미지로 인해 베이징시에서 이산화황 감축업무에 중점을 두고 관리를 강화한 이유도 있겠으나 중앙정부의 시행 정책을 각 구·현 별로 체계적인 이산화황 감축을 실시했기 때문으로 볼 수도 있다. 중앙정부에서 할당된 베이징시의 배출량을 구·현에 할당하여 감축 책임을 강화하고 매년 감축 실적을 공개하고 있다. 또한 정부의 고오염 산업 도태 정책을 철저히 시행하여 고오염 산업의 생산량은 급격히 감소하였으며, 공업 기업의 수도 감소하였다. 이에 반해 톈진시의 경우 중국의 주요 경제발전 지역으로 대규모 공업단지가 자리잡고 있어 대량의 이산화황 배출이 불가피하다. 베이징과 비교해서 개인 소유의 기업과 외국 소유의 기업이 많고, 그에 따른 공업 부가가치도 베이징의 두 배이다. 공업 발전 도시인 톈진으로서는 중앙정부에서 시행하는 산업 도태 정책은 많은 어려움이 있을 것이다. 비록 톈진시는 현재 시행중인 총량 제어, 효율 향상 정책으로 이산화황 배출량은 감소하고 있다. 하지만 톈진시 역시 구·현 별 환경 용량, 경제 발전 상황 등을 고려하여 배출량을 할당하고, 톈

III. 연구논단

진시의 이산화황 배출 감축 목표를 구·현별로 체계적으로 이행한다면 보다 나은 감축 성과를 달성할 수 있을 것이다.

비록 베이징시의 이산화황 감축은 성과가 있었으나 대기 환경이 아직도 심각하다. 2014년 11월에 개최된 APEC 회의기간 임시 휴일을 선포하여 ‘APEC 블루’라는 신조어까지 생길 정도로 대기오염을 일시적으로 개선하였지만 이것은 궁극적인 해결책이 아니다. 이산화황 외에도 질소산화물, 미세먼지로 인한 대기오염은 베이징시에서 향후 해결해야 할 중요한 문제이다.

본 연구를 통해 “11.5 기간”과 “12.5 기간”에 이산화황의 효과적인 감축을 달성할 수 있었던 대기오염 정책과 산업정책을 검토하였다. 총량제어, 효율향상 정책을 토대로 “13.5 기간”에 질소산화물, 미세먼지 감축 정책에도 반영한다면 효과적인 대기오염 관리를 실시할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강택구 외. 2013. “한중 대기오염 저감관리 비교와 협력방안”. 경제·인문사회연구회 중국종합연구 협동연구총서 13-45-16
- 고재모. 2007. “중국의 환경오염 실태와 환경정책 연구”. 『동북아경제연구』 19(2): 81-111
- 리평페이, 심상형. 2004. “중국의 환경정책과 철강업의 대응”. 『China Weekly』 20: 1-12, 포스코경영연구소
- 이준호. 2011. “중국의 환경정책 규제레짐의 변화과정 분석”. 『한국정책과학학회보』 5(2): 229-249
- 조성재, 강택구 외. 2013. “주요 산업의 중국 내 동북아국가들의 경쟁구조 분석: 중국의 환경 및 노동문제와 업계의 대응”. 경제·인문사회연구회 협동연구총서 13-46-02
- 중국 국가통계국. 2006-2011. “산업 별 국가 소유, 개인 소유 및 외국 소유 기업 수, 산업 별 생산량, 공업기업 수”
- Schreifels, J.J. 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
- US Energy Information Administration, 2013. “International Energy Outlook 2013” :page.9-19
- Yuan, X. 2013. “Strategic Route Map of Sulphur Dioxide Reduction in China.” *Energy Policy*, 60: 844-851
- Zhang, K. 2008. “Review on Environmental Policies in China: Evolvement, Features, and Evaluation.” *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2(2): 129-141
- 中华人民共和国 中央人民政府. 2013. “李克强主持召开国务院常务会议 部署大气污染防治十条措施”
- 国务院. 2007, 2012. “节能减排“十一五”规划, 节能减排“十二五”规划”
- 国务院. 2007, 2011. “国家环境保护“十一五”规划, 国家环境保护“十二五”规划”
- 国务院. 2007. “煤炭工业发展“十一五”规划”
- 国家发展和改革委员会. 2007. “关于印发现有燃煤电厂二氧化硫治理“十一五”规划的通知”
- 国家发展改革委. 2011. “产业结构调整指导目录 2011”
- 环境保护部. 2009. “两控区酸雨和二氧化硫污染防治“十五”计划”

- 环境保护部. 2010. “环境统计年报”
- 环境保护部. 2012,2013. “环境状况公报”
- 环境保护部. 2012. “关于实施《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的通知”
- 环境保护部. 2012. “环境空气质量标准(GB 3095-2012)”
- 环境保护部. 2012. “关于印发《重点区域大气污染防治“十二五”规划》的通知”
- 环境保护部. 2011. “火电厂大气污染物排放标准”
- 环境保护部. 2011. ““十一五”全国主要污染物总量减排考核结果”
- 能源局. 2013. “能源统计年鉴”
- 国家经贸委. 1999. “淘汰落后生产能力 工艺和产品的目录”
- 工业和信息化部. 2010. “部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录”
- 北京市环境保护部. 2006. ““十一五”期间北京市主要污染物排放总量控制计划”
- 北京市人民政府. 2011. “北京市“十二五”时期主要污染物总量减排工作方案”
- 北京市发展和改革委员会. 2007. “《北京市关于加快退出高污染‘高耗能’高耗水工业企业的意见》的通知”
- 天津市人民政府. 2011. “天津市“十二五”主要污染物总量减排工作方案”
- 钢联资讯. 2013. “煤炭行业发展现状及趋势分析”
- 张庆丰. 2013. “迈向环境可持续的未来-中华人民共和国国家环境分析”
- 中国电力报. 2014. “环保加码 火电厂用煤策略渐变”
- 中国电力企业联合会. 2006~2012. “电力统计基本数据一览表”
- 中国人民政治协商会议天津市委员会. 2014. “美丽天津,从健康呼吸开始”
- 北京市人民代表大会常务委员会. 2012. “北京市人民代表大会城市建设环境保护委员会关于“进一步治理大气污染,提升首都空气质量”议案办理情况的意见和建议”
- 北京能源发展研究基地. 2009. “北京市工业促进局加快退出和淘汰“高污染、高耗能、高耗水”行业和企业的工作力度”

지하수 오염 기여도 평가 및 오염개선에 따른 사회적 편익 분석

김호림 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

Assessing the Economic Benefits and Costs of Groundwater Remediation from Fertilizer and Manure Pollution Using Multiple Regression Function

HoRim Kim | Ph.D. Candidate, Green School, Korea University

초록

지하수는 땅속의 지층이나 암석의 간극을 메우고 있는 물을 뜻하며, 전체 담수 중 30%를 차지하고 있는 양질의 수자원이다. 미국, 유럽연합 국가를 포함한 국외의 경우 지하수를 청정한 수자원으로 여기며, 지하수를 통한 수원확보를 위해 지속적으로 체계적인 지하수 관리에 힘을 쏟고 있다. 하지만 국내의 경우 대규모 가축 매몰, 과다한 농축산활동으로 인한 지하수 오염, 유해 폐기물의 무단매립 등으로 인해 한국 지역 전반의 지하수 오염이 이슈화되고 있지만, 지하수의 보존 및 관리에 대한 대중적인 공감대가 형성되지 않았으며, 지하수 관리에 대한 학문적인 이해가 부족하다. 특히, 지하수를 음용수원으로 활용하고 있는 농촌지역 지하수 관리의 중요성은 거듭 강조되어야 함에도 불구하고, 지하수를 사용하는 농민들 대부분이 깨끗한 수원확보의 중요성에 대한 인식이 거의 없다. 한국의 천부 지하수원은 인공 비료와 같은 오염원의 영향을 많이 받은 상태로 보고되어있다. 따라서 지하수의 적정 관리를 위해 인위적인 오염원으로 인한 지하수의 오염이 어떠한 영향을 끼치는지에 대해 비용 및 편익을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 기존의 저감기법과 같은 기술개발에 초점을 맞추지 않고, 지하수의 오염이 초래하는 질병발생률의 변화를 추정하도록 하였다. 아울러 지하수 오염을 가중시키는 대표적인 오염원인 인공비료 및 축산활동에서 생성된 오염이 주변 천부지하수에 어떠한 영향을 끼치는지 정량적으로 보고하고, 해당 잉여량의 비료가 주변 지하수 오염에 미치는 기여도를 평가하였다. 추산치의 상관관계와 다중회귀분석(multiple regression function)을 설정하여 지하수 오염의 영향을 추정한 결과, 로그단위로 1의 질소 농도의 증감에 따라 2014년 기준 10,000명의 질환자들이 감소하는 효과를 보였다.

1. 서론

지하수는 지표수 이상의 함양을 가지고 있는 양질의 수자원이다.¹ 미국, EU 국가를 포함한 다른 나라의 경우 지하수를 청정한 수자원으로 여기며, 지하수를 통한 수원확보를 위해 지속적으로 체계적인 지하수 관리에 힘을 쏟고 있다. 명시된 위 국가들은 음용수 보호에 관한 법 규정을 기반으로 비료, 유해물질이 지하수에 미칠 영향을 조사하고 이에 대한 철저한 규제가 이루어지고 있다. 그러나 국내의 경우 대규모 가축 매몰, 과다한 농축산활동으로 인한 지하수 오염, 유해 폐기물의 무단 매립 등으로 인해 한국 지역 전반의 지하수 오염이 이슈화되고 있지만 지하수의 보존 및 관리에 대한 대중적인 공감대가 형성되지 않았으며, 지하수 관리에 대한 학문적인 이해가 부족하다.

1 담수 중 약 67%는 빙하이며, 지하수는 30%, 그리고 지표수와 대기수분은 0.4%에 불과하다.

우리나라의 도시 지역의 경우 정수된 상수도를 이용하는 반면 농촌 지역 주민들은 대부분 지하수를 음용수원으로 활용한다. 농촌 지역 지하수 관리의 중요성이 거듭 강조 되어야 함에도 불구하고, 지하수를 사용하는 농민들 대부분이 깨끗한 수원 확보에 중요성에 대한 인식이 거의 없다. 농가지역에서 음용수로 사용되는 대부분의 지하수에서 인위적 오염으로 대표되는 질산성 질소의 농도가 먹는물 수질 기준을 초과하는 사례가 빈번하다.

농업활동에 종사하는 대부분의 농민들은 정부에서 제공하는 무료 인공 비료를 토양의 필요량 이상으로 뿌린다. 초과분의 비료는 대표적인 지하수 내 오염인 질산염, 인산염, 황산염 농도를 증가시킨다. 농림부(2001) 보고서에 따르면 한국 농촌지역의 질소 비료의 사용량을 224 kg/ha/년으로 보고하였으나, 영국의 128 kg/ha/년(Petry et al., 2002)과 미국의 27.5 kg/ha/년(Nolan, 2001)의 연간 시비량과는 큰 차이를 보인다. 식물 영양에 필요한 영양소를 제외한 잉여량의 비료는 땅 속에서 무기물의 형태로 잔류하다가 지역 전반의 지하수를 빠르고 광범위하게 오염시킨다. 상기 언급된 문제로 인해 우리나라 농·축산지역의 지하수는 자연수에 가까운 특징을 가진 물이 희소하며, 대체적으로 다양한 오염 기원에 영향을 받은 혼합수 수질의 특성을 보인다. 음용수로 사용되어야 할 지하수가 인위적 오염원에 영향을 받게 되면 인간 활동에 악영향을 미치는 것은 당연하다. 이미 많은 선행 연구에 의해 한국 천부 지하수의 질소 오염 수준이 매우 높은 것으로 보고되었다(Chae et al., 2004, 2013; Choi et al., 2007, 2014; Joo et al., 2009; Kim et al., 2014; Koh et al., 2010). 따라서 지하수의 적정 관리를 위해서는 인위적인 오염원(e.g. 퇴비나 비료)으로 인한 지하수의 오염이 어떠한 영향을 끼치는 지에 대해 비용 및 편익을 분석할 필요가 있다.

지하수의 중요성에도 불구하고 지하수 오염의 경제적 편익을 분석한 연구는 현재까지 미비하다. 안은영 외(2005, 2011)는 지하수 자원에 저감기술을 아우르는 연구개발의 따라서 경제 효과 분석을 실시한 바 있다. 유승훈, 이주석(2010)의 논문은 지하수 분야에 오염방지기술 개발에 어떤 개선점이 있으며, 이에 대한 편익분석을 실시한 바 있다. 지하수를 벗어나 수자원 측면에서 이를 보고한 사례를 보면, 광승준(1993, 1994)은 지불카드를 활용한 조건부가치평가법을 적용하여 소비자 지불의사액을 추정한 연구를 시작으로 김봉구, 조용성, 광재은(2001)의 논문에서는 팔당호 수질 개선에 대한 소비자 지불의사액을 조건부가치평가법으로 평가하였다. 박두호와 류문현(2008)은 용수의 목적에 따라 3가지 용수로 구분한 후 이에 대한 수자원 공급의 사회적 편익을 정성적으로 서술한 바 있다. 여규동 외(2009)의 연구 역시 지불의사를 이용하여 상수도의 원수 수질 개선에 따른 편익 분석을 수행하였다.

연구사례를 보면 알 수 있듯 수자원의 편익 분석은 대부분 상수도의 수처리에 대한 연구가 집중적으로 수행되었으며, 지하수의 경우에도 저감기법과 같은 기술 개발에 초점을 맞춘 연구가 대부분이다. 상수도는 한 점에서 다른 지역으로 전달하는 방식이라 처리에 대한 편익 분석이 명료하지만 지하수는 국지적인 오염에 영향을 받기 때문에 오염 영향에 대한 피해량과 이를 처리할 경우 생기는 편익을 분석하는 것이 보다 정확하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구와 같이 기술 개발에 초점을 맞추지 않고 지하수의 오염이 초래하는 질병 발생률의 변화를 추정하도록 하였다. 아울러 지하수 오염을 가중시키는

Ⅲ. 연구논단

대표적인 오염원인 인공 비료 및 축산활동에서 생성된 오염이 주변의 천부 지하수를 어떠한 영향을 끼치는지 정량적으로 보고하고, 해당 잉여량의 비료가 주변 지하수 오염에 기여도를 평가하도록 하겠다. 최종적으로는 추산치의 상관관계와 다중회귀분석(multiple regression function) 모형을 설정하여 오염 부하량으로 인한 지하수 피해 함수를 추정하도록 하겠다.

2. 환경피해액 가치 추정을 위한 접근 방법

2.1 오염가치 추정 구조

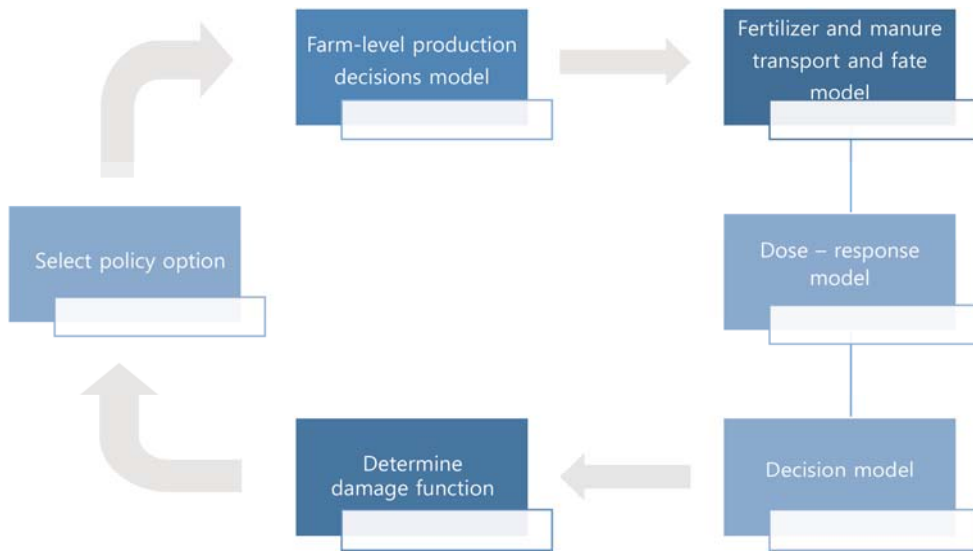
지하수의 가치 환산법은 물리적 연계모형과 형태적 연계모형으로 나눌 수 있다. 물리적 연계모형은 뒤에서 다시 언급하겠다. 형태적 연계모형은 조건부 가치평가법 (Contingent Valuation Method: CVM), 헤도닉가격기법(Hedonic Price Technique)이 대표적인 모델이다. 이들은 시장 내 개인 가치(효용)를 조사하여 재화의 가치를 정량적으로 표현하는 기법이다. 수자원에 대한 국내가치 평가 연구는 대부분 형태적 연계모형인 CVM에 초점을 두고 있다.

Lave and Seskin(1970)의 논문을 기반으로 한 손실함수 접근법(Dose-response function or damage function approach)의 경우, 지하수 내에서 이동성이 좋은 질산성 질소가 인체에 미치는 위험성(암을 비롯한 사망률에 근거)뿐만 아니라 심미적 피해 등에 미치는 영향을 분석하는데 이용될 수 있다. 손실함수 접근법의 경우 조건부평가법에 비해 몇몇 문제를 보인다. 조건부평가법은 정신적 피해와 같은 측면을 반영하는 데 비해 손실함수 접근법은 보건적 측면만을 집중한다는 단점이 있다. 그러나 CVM은 큰 비용을 수반하며 오염원별 효과 추정이 안된다는 문제가 있다.

지하수의 오염 정도는 각각의 인위적 오염원인 비료나 퇴비의 종류별로 다르므로 농업활동에 대한 지하수 피해를 예측하기 위해서는 각 성분을 고려해야 한다. 우리나라의 경우 아직까지 인위적 오염원으로 인한 지하수 피해를 경제학적 관점에서 연구한 사례가 없어 Huang and Uri(1990)와 Rajagopa and Tobin(1989)의 논문을 기반으로 오염피해액 추정 기법을 모사하였다. 오염추정모델의 틀은 크게 2가지 구조인

- 문턱값(threshold value)을 기준으로 배경수와 오염량을 추정
- 피해함수모형을 통한 비용편의 추정

으로 나눌 수 있다. 그림 1은 Huang and Uri(1990)와 Rajagopa and Tobin(1989)의 프레임워크를 변형하여 요약한 결과이다.



출처 : Huang and Uri(1990)

그림 1. 오염가치추정 모델

2.2 지하수 오염평가 모델

2.2.1 혼합모형 (Finite normal (Gaussian) mixture model)

통계추론은 표본의 특성을 이용하여 모집단을 추정하는 것이다. 통계추론 중 가장 대표적인 방법인 정규분포(normal distribution)의 경우, 평균과 분산을 기반으로 한 종모양의 분포를 통계치로 가정한다. 일반적인 통계추론은 한 개의 분포만을 추정하기 때문에 추정된 통계표본은 오류를 내포할 가능성이 있다. 예를 들어 모집단이 두 개 이상의 혼합 분포를 가지고 있다면 일반 통계추론으로 추정된 통계분포는 적절하지 않은 결과를 제시한다. 종합해보자면, 일반적 통계추론 방법인 일표본 Kolmogorov-Smirnov 검정 혹은 누적확률분포도를 이용한 문턱값 도출법의 경우 변수들의 분포가 이론적인 모형과 적합하지 않아 배경농도를 잘못 추산한다.

반면 혼합모형의 경우 다양한 확률분포의 조합으로 구성된 모집단을 추정하는 방법으로, 특히 인위적인 오염원에 영향을 받고 있는 지하수들과 축산지역에 오염되지 않은 지하수 간의 배경농도를 구분하는데 효과적이다. 위 방법은 모집단을 대표하는 최적의 확률분포 개수와 이때 사용된 모델을 제시하여, 이 온도들의 농도분포와 문턱값을 계산할 수 있다. 따라서 본 연구와 같이 축산단지 지하수 수질에 지배하는 다양한 오염 기원이 존재하는 경우 혼합모형을 적용하는 것이 바람직하다.

배경농도 추산을 위한 혼합모형 적용 방법은 다음과 같다.

- ① 기초 자료 분석을 통한 정규성 검정을 수행한다.
- ② 혼합된 통계분포를 추산하는 데 영향을 미치는 이상치(Outlier)를 제거한다.

III. 연구논단

(본 연구에서는 Box plot 상에서 이상치로 구분되는 시료를 제외한다.)

③ 자료의 신뢰구간 및 배경수를 설정한다.

혼합모형을 적용하기 위해 본 연구에서는 R package (Version 3.1.1)에서 제공하는 Mclust 방법²을 적용하여 축산지역 하위 및 상위분포를 구분할 수 있는 배경수치 값을 결정하였다.

2.2.2 사전선택법 (Preselection model)

사전선택법은 오염으로 대표되는 변수를 기반으로 다른 변수들의 배경농도를 같이 산출하는 방법이다. 본 연구는 인위적 오염을 지시하는 변수인 질산성 질소를 사전선택법 항목으로 이용하여 연구 지역의 배경농도를 추산하였다.

2.3 사회적 가치 편익 분석모형

비료와 축산오염물질로 인해 지하수가 얼마나 오염되는지를 오염추정모델로 정량화한 후, 오염된 지하수와 인체위해효과(질환 및 사망) 간의 상관관계를 회귀분석한다.

$$R = F(Q, S, W) \dots \dots \dots (1)$$

식 1은 지하수 오염과 인체위해질환과의 반응함수이다. R은 지하수오염에 따른 위해한 질환을 겪는 환자 수, Q는 오염물질의 농도, S는 소득, 인구나 같은 경제적 변수와 기온 등의 자연조건을 하나의 변수로 묶은 것을 말하며, W는 추가 오염변수들을 정의한다. S, W를 일정하다고 가정하고, R을 Q로 편미분하면 반응도를 도출할 수 있으며 이를 식 2-1, 2-2에 단순 (비)선형모형으로 가정한다.

$$R = \beta Q + \gamma S + \mu W + \varepsilon \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\log R = \beta \log Q + \gamma S + \mu W + \varepsilon \dots \dots \dots (2-2)$$

식 2에서 추정된 계수 $\beta (= \partial R / \partial Q)$ 는 오염물질의 단위변화에 따른 질환과의 반응도를 계산할 수 있다. 즉, 지하수 오염과 질환에 따른 비용간의 탄력도를 추정하였다. 추정된 β 계수에 1인당 비용 지출액을 곱하여 총 비용을 산정하도록 하겠다.

분석에 이용된 변수들 중 인체위해질환(암, 피부질환)은 통계청(2014)에서 2014 고령자 통계 내 「사망원인통계」를 사용하였으며, 추가적으로 국민건강보험공단의 지역별 건강보험 질환자수 및 진료비용을 이용하였다.³ 지역별 노인 인구는 통계청의 「시도별 장래인구추계(2014)」를 참조하였으며, 건강보험 상 진료비용은 건강보험심사평가원에서 제공하는 「2008-2013년 진료비통계지표」를 이용하였다. 지하수 오염 농도 및 연평균 기온 자료는 환경지구화학 연구실에서 진행 중인 “가축축산단지의 정밀조사 결과” 연구 자료의 전국 2,000개 표본 자료를 사용하였다. 해당 자료는 한국 농축산 지역의 횡단면자료 (cross-section data)를 활용하였다.

2 참조 : <http://cran.r-project.org/web/packages/mclust/mclust.pdf>

3 여기서 전체 사망원인 통계가 아닌 65세 이상의 고령자의 정보를 사용한 이유는 농촌지역 지하수 음용하는 대부분의 주민들이 노인분들이 주여서이다.

3.1 축산부하량의 오염기여율 및 배경농도 평가

3.1.1 수질분석결과

본 장에서는 전국지역의 농축산지역의 2,000개 시료를 조사하여 한국 지하수의 오염 정도를 파악하였다. 다음의 표 1은 모집단을 대표할 수 있는 2,000개의 표본을 기반으로 축산단지 내에서 조성된 지하수 수질에 대해 빈도분석을 수행한 결과이다. 분석항목은 17개 이화학자료이다. 자료의 성질 파악 및 배경농도 추정을 위해 각 분석항목이 정규성을 따르는지를 검토하였다. 정규성 검정을 수행하기 위해 K-S test를 적용하였고 신뢰구간 95%(p-value > 0.05)를 기준으로 하였다. 정규성 검정결과, 모든 항목에서 p값이 0.05 이하로 정규성을 만족하지 않는다. pH를 제외한 변환하지 않은 13개 측정 항목을 로그 변환한 후 정규성을 추가 검정하였다. 그 결과 Mg과 Alkalinity만이 p-value 0.11로 정규성을 만족하였고, 대부분의 항목에서는 축산단지 지하수 수질이 정규성을 따르지 않았다.

표 1. 축산단지 지하수 수질 분포

구 분	Background (<1.5mg/L NO ₃ -N)			p-value	p-value after log transformed
	10th	50th	90th		
pH	5.05	5.72	6.54	0.01	-
NH ₄ -N (mg/L)	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
Cl (mg/L)	6.30	13.16	28.38	0.00	0.00
SO ₄ (mg/L)	0.71	1.44	4.51	0.00	0.00
Na (mg/L)	8.80	20.85	46.00	0.00	0.02
Ca (mg/L)	1.80	4.90	11.50	0.00	0.04
K (mg/L)	3.00	15.00	44.00	0.00	0.00
Mg (mg/L)	2.00	9.00	25.90	0.00	0.11
Alk (mg/L)	0.48	1.05	2.24	0.00	0.11
PO ₄ -P (mg/L)	0.03	0.03	0.12	0.00	0.00
TN (mg/L)	2.59	6.58	16.72	0.00	0.00
TOC (mg/L)	0.02	0.30	0.80	0.00	0.00
NO ₃ -N (mg/L)	0.80	4.50	16.00	0.00	0.00

주) K-S test 유의확률은 95% 신뢰구간에서 p-value 0.05 이상일 때 정규성을 만족

III. 연구논단

3.1.2 오염부하량과 지하수 오염의 상관관계

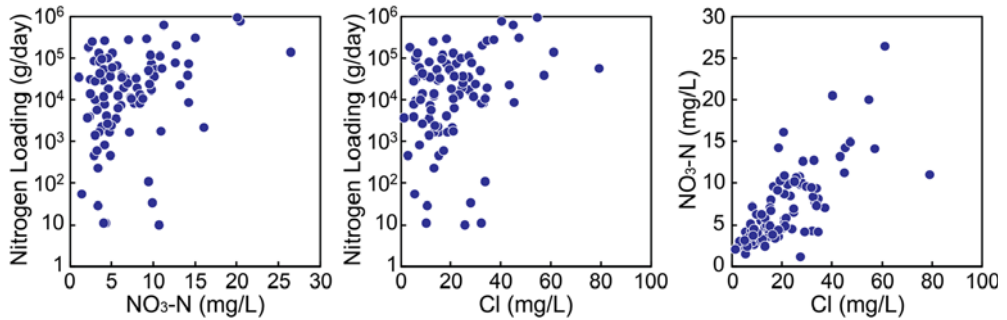


그림 2. 축산단지 지역의 축산부하량과 염소, 질산성 질소간의 관계성을 보여주는 산포도

그림 2를 보면 각 지역의 축산 질소 부하량과 염소, 질소 부하량과 질산성 질소, 질산성 질소와 염소 간의 관계를 비교한 결과 어느 정도 관계성이 보이고 있으나($\text{NO}_3\text{-N}$ & Loading : $R = 0.47$, Cl & Loading : $R = 0.40$), 부하량 대비 농도 값이 크지 않은 관정이 다수 관측되었으며 이는 실제 축사에서 발생하는 분뇨 등을 이송처리하거나 지역의 토양 특성 차이로 인한 투수성 차이 및 조사 관정이 축산단지의 수질을 제대로 반영하지 못하는 등의 이유 때문으로 판단된다. 질산성 질소와 염소와의 관계성을 보여주는 그림에서는($\text{NO}_3\text{-N}$ & Cl : $R = 0.73$) 염소의 농도가 증가할수록 질산성 질소의 농도가 함께 증가하는 선형적인 경향을 보이는 것으로 보아 축산단지 지역의 관리 상태가 지하수의 수질에 영향을 주고 있음을 추측할 수 있다. 결론적으로 축산 부하량이 높은 지역일수록 오염인자로 구분되는 질산성 질소나 염소이온의 증가를 유발할 공산이 크다. 단, 오염 부하량이 높아도 지역적 경우의 특이성에 따라서 오염이 적게 관측되는 시료도 발견되었다.

3.1.3 혼합 모형 및 사전선택법을 이용한 배경수질 도출

혼합모형 결과는 축산 지역의 표본들이 두 개의 통계 분포를 갖고 있음을 지시했다. 질산성 질소의 혼합모형 분석결과는 그림 3과 같다. 다음의 결과를 분석하기 전에, 이상치(outlier)가 또 다른 군집(component)으로 구분되는 것을 방지하기 위해 사전에 이상치를 제거하였다($n=88$). 따라서 계산에 참여한 총 1,912개의 시료를 바탕으로 분석이 수행되었다. 그림 3에서 오염군집으로 구분된 통계분포의 경우 질산성 질소의 신뢰구간 범위가(10~90%)가 3.2 ~ 18.6 mg/L로 정의되었고, 축산지역의 영향을 받지 않은 지하수의 범위는 최소 0.5에서 최대 2.3 mg/L이다. 본 연구의 혼합모형 결과는 배경수가 축산활동에서 발생한 오염물질과 서로 혼합하는 양상을 보인다. 따라서 배경수와 오염수를 적정 구분할 수 있는 문턱값을 제시하고 그 결과가 유효한지를 검증할 필요가 있다.

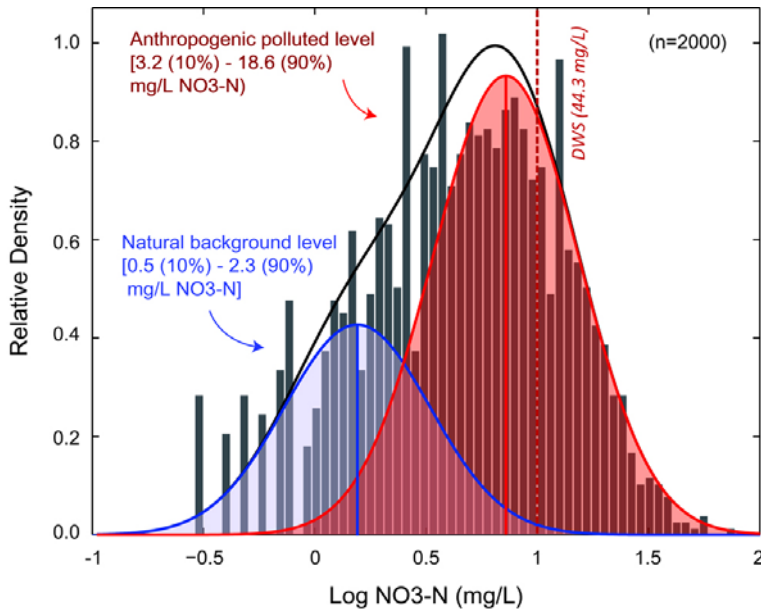


그림 3. 질산염 농도의 배경농도와 오염군집 결과에 대한 신뢰구간 도시

3.1.4 배경농도의 유효성 검증

본 절에서는 혼합모형 및 사전 선택법을 활용한 질산성 질소의 하위 분포와 상위 분포의 신뢰구간 중 적정 배경수와 오염군집을 명확히 구분할 수 있는 배경농도를 제시하고자 한다. 적정 배경농도를 파악하기 위해 축산오염과 관계성을 갖는 총 질소 오염 부하량을 검증 도구로 사용하였다.

그림 4는 비모수 검정법을 이용하여 문턱값에 따른 총 질소 부하량 밀집도($g/km^2/d$) 차이를 비교한 결과이다. 문턱값 기준은 각각 배경수의 90th 신뢰구간($2.3 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$), 오염군집의 10th 신뢰구간($3.2 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$)을 설정하였으며, 비교를 위해 먹는 물 수질기준($10 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$)을 문턱값으로 추가하였다. 비모수 통계 결과 문턱값 기준별로 각각 p-value 0.1, 0.006, 0을 나타내었다. 이는 배경수의 90th 신뢰구간인 $2.3 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ 으로는 배경수와 오염수를 명확히 구분하지 못했지만, 오염군집의 10th 신뢰구간인 $3.2 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ 로 문턱값을 설정한 경우 배경농도와 축산의 영향을 받은 물을 효과적으로 분류하고 있음을 지시한다. 따라서 축산단지 지하수에 배경수질은 하위 10% 구간인 문턱값($3.2 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$)이 최적의 배경농도임을 알 수 있다. 문턱값의 비교를 통해 오염농도 집단의 하위 신뢰구간 (10%)인 3.2 mg/L 를 넘는 시료들은 축산분뇨의 오염부하를 지시하는 것으로 파악된다. 또한 이 결과로 도출된 배경농도의 문턱값 및 분포가 축산단지에서 발생하는 분뇨 및 축산 침출수에 영향을 받은 지하수 오염과 관계가 없음을 지시한다. 본 연구에서 제안한 문턱값은 실제 축산단지에서 발생하는 오염부하를 구분하는 경계로 볼 수 있다.

III. 연구논단

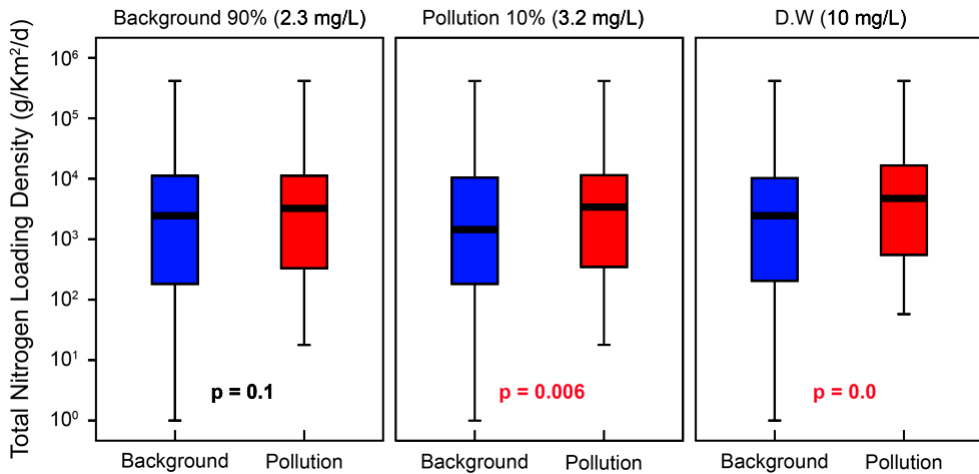


그림 4. 문턱값에 따른 오염 부하량의 차이

3.2 추정모형 설정 및 결과

본 연구에서는 다중회귀 함수(multiple regression function)를 통해 지하수 오염과 인체 질환과의 관계를 추정하였다.

$$R = \alpha + \beta Q_i + \gamma S_i + \mu W_i + \varepsilon_i \dots\dots\dots (3)$$

R = 암 및 피부질환의 환자수, Q = 질산성 질소 부하량,

S = 소득, 인구 및 기온 습도의 조건정보, W = 13개 항목의 농도

지역별로 시료 개수의 차이가 있으나 표본의 수가 크므로 지역에 따른 표준화를 수행하지 않고 2,000개 시료의 자료를 중복하여 계산을 수행하였다. 시료는 권역별로 보았을 때 각각 강원 400개, 서울은 농어촌 지역이 극소이므로 경기도에 편입시켜 경기도에 400개, 경남과 경북 합이 400개, 광주 전남 전북의 합이 400개, 충남 충북 400개의 조사가 수행되었다. 제주도의 경우는 연구지역에서 제외되었다. 시와 리로 다시 구분할 수 있으나 조사 특성상 권역별 자료를 토대로 연구를 진행하였다.

표 2. 추정에 이용된 변수

변수	변수 정의
Chem.	수화학 변수 (13개)
NO ₃ -N	질산성 질소
Temp	측정 당시 온도
L	총오염부하밀집량
Older	65세 이상 고령자 수 (지역별)

Older 변수를 제외한 나머지 변수는 각각의 시료별 구배가 다르며 고령자 수는 지역별로 일괄 적용하였다. 경제적 변수에는 소득 대신 인구 정보를 토대로 가치 추정 분석을 수행하였으며 자연 변수는 측정 당시의 온도를 기준으로 수행되었다. 자료의 크기 차이를 최소화하기 위해 모두 log로 변환하였고 pH는 제외하였다(log 수치이기 때문).

표 3. 회귀모형 추정결과

Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
Backward	(Constant)	-0.86	0.28		-3.10	0.00
	pH	-0.03	0.01	-0.04	-2.48	0.01
	Temp	0.42	0.18	0.03	2.27	0.02
	NH ₄ N	-0.06	0.02	-0.04	-2.50	0.01
	Cl	0.37	0.03	0.30	11.72	0.00
	Na	-0.11	0.04	-0.05	-2.39	0.02
	Ca	0.52	0.05	0.27	10.72	0.00
	K	0.06	0.03	0.04	2.40	0.02
	Alk	-0.69	0.04	-0.36	-16.14	0.00
	TN	0.51	0.03	0.35	19.24	0.00
	TOC	-0.07	0.01	-0.08	-4.65	0.00
	age	-0.07	0.04	-0.03	-1.88	0.06
R ²		0.78				

위 표 3은 사회경제적 변수들과 자연조건변수를 포함하여 질병들의 추정결과를 나타낸 것이다. 다중회귀분석 중 Backward 모델을 적용하였으며 여기서 유의성이 떨어지는 변수로 PO₄-P, Mg, SO₄, 부하량이 제거되었다. 또한 나이 변수의 경우 통계적 유의성은 90% 기준으로 유의한 것으로 드러난다(p = 0.06). Cl, TN 등 주변 오염원들은 오염과 통계적으로 유의한 양의 부호를 나타내었다. 반면 오염원과 상관성이 좋아야하는 NH₄N과 TOC의 경우 오염과 음의 부호를 보이고 있다. 지역에 TOC의 함량이 높은 경우 질산성 질소를 환원시키는 작용(탈질화)이 일어나 질산성 질소의 농도가 낮아지고 비교적 환원상태의 암모늄 상의 농도가 높아질 수 있는데, 다음의 회귀모형 추정결과가 이와 일치한다.

다른 조건이 일정한 경우 log N의 농도 변화에 따라 암 사망자(50,453명/10만명 당)의 0.51이 증감한다. 따라서 log N 농도가 1 감소한 경우(예를 들어 100 ppm → 10 ppm), 약 10만 명 당 260명의 환자를 감소시키는 효과에 해당한다. 이 결과를 전국적으로 확대하여 적용해보면 연구지역의 노인인구(제주도 부산 대구등의 인구를 제외한) 중 질환을 겪는 195 만 명의 환자를 기준으로 약 만 명의 질환자수가 감소하는 효과를 보인다. 고령자 수의 경우 음의 관계를 보이는데, 고령자 수가 많은 지역의 경우 대도시 지역일 경향이 높고 이는 농촌지역 오염과 반대 상관성을 보일 수 있다. 흥미롭게도 온도 변수의 경우 높은 상관성을 보이고 있으며, 그 이유에 대한 근거는 알 수 없다.

III. 연구논단

4. 결론

지하수 오염의 변화와 질병 및 사망자수에 대한 결과를 토대로 추정된 통계적 가치를 통해 지하수 오염의 경제적 피해를 추산할 수 있었다. 위 결과는 로그 단위로 1의 질소 농도의 증감에 따라 2014년 기준 만 명의 질환자들이 감소하는 효과를 보인다. 신영철, 조승현(2003)과 조용성(2003)에 따르면 질병 발생률의 감소에 따른 지불의사액(WTP)은 질병가능성 감소의 크기가 1이 될 때까지 합한 금액으로 정의한다. 만약 WTP를 계산할 수 있다면, 2014년 기준 대비 질환자수와 2013년 기준 건강보험 상 진료비인 3,054 천원을 곱하면 총 생명가치를 추정할 수 있다. 다만 본 연구에서의 맹점은 연구지역 자체가 농·축산 지역에 한정된 결과인데 반해 통계청 결과는 65세 고령자를 타겟으로 선택하였기 때문에 표본의 차이가 발생한다는 점이다. 추가적으로 모든 암이 지하수 오염으로부터 기인하는 것은 아니라는 문제점이 있다.

참고문헌

건강보험심사평가원. 『2008~2013년 진료비통계지표』

곽승준. 1993. “수질개선의 편익추정: 조건부가치추정방법과 반모수 추정법의 적용”. 『자원경제학회지』, 3(1): 183-198

곽승준. 1994. “조건부가치추정법을 통한 수질개선에 관한 편익추정: 서울지역 수돗물 개선의 비용-편익분석 중심으로”. 『국토연구』, 21: 23-40

국민건강보험공단. 『한국표준질병사인분류』

김봉구, 조용성, 곽재은. 2001. “팔당호 수질개선에 대한 소비자 지불의사액 추정”. 『자원·환경경제연구』 10(3): 433-460

박두호 류문현. 2008 “수자원공급의 사회적 편익”, 『2008 한국수자원학회 발표논문집』: 570-574

신영철, 조승현. 2003. “미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 측정: 환경적 피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치”, 『자원·환경경제연구』 12(1): 49-75

안은영. 2005. “지하수자원기술의 경제적 파급효과분석 사례연구-대도시지역(부산, 울산, 주) 지하수오염저감 기술연구사업을 중심으로”. 『한국지하수토양환경학회지』 10(1): 18-25

안은영. 2011. “지하수자원 관련 연구개발의 경제 산업효과 분석”. 『저널 물정책·경제』 18: 77-94

유승훈, 이주석. 2010. “지하수오염 개선에 대한 지불의사액 추정”. 『한국수자원학회논문집』 43(9): 835-842

여규동, 이충성, 이상원, 심명필. 2009. “지불의사를 이용한 상수도 원수수질개선 편익 산정”. 『대한토목학회논문집B』 29(5): 419-427

조용성. 2003. “대기오염개선의 사회적 편익 추정: 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로”. 『환경정책』 11(1): 29-53

통계청. 2012. 『시도별 장래인구추계』, 『시도별 장래가구추계』

통계청. 2014. 『2014 고령자 통계』

Chae, G.T., Kim, K., Yun, S.T., Kim, K.H., Kim, S.O., Choi, B.Y., Kim, H.S., and Rhee, C.W., 2004. “Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility.” *Chemosphere* 55: 369-378

Choi, W.J., Han, G.H., Lee, S.M., Lee, G.T., Yoon, K.S., Choi, S.M., and Ro, H.M., 2007. “Impact of land-use types on nitrate

concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in unconfined groundwater in rural areas of Korea.” *Agric. Ecosyst. Environ.* 120: 259-268

Kim, K.H., Yun, S.T., Kim, H.K., and Kim, J.W., 2015, “Determination of natural backgrounds and thresholds of nitrate in South Korean groundwater using model-based statistical approaches.” *Journal of Geochemical Exploration*, 148: 196-205

Koh, D.C., Mayer, B., Lee, K.S., and Ko, K.S., 2010. “Land-use controls on sources and fate of nitrate in shallow groundwater of an agricultural area revealed by multiple environmental tracers.” *J. Contam. Hydrol.* 118: 62-78

MOAF (Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea), 2001. “Agricultural and Forestry Statistical Yearbook 1000-51023-26-01”

Petry, J., Soulsby, C., Malcolm, I.A., and Youngson, A.F., 2002. “Hydrological controls on nutrient concentrations and fluxes in agricultural catchments.” *Sci. Total Environ.* 294: 95-110

Nolan, B.T. 2001. “Relating nitrogen sources and aquifer susceptibility to nitrate in shallow ground water of the United States.” *Ground Water*, 39(2): 290-299

W-Y Huang, and Uri, N.D. 1990. “An analytical framework for assessing the benefits and costs of policies related to protecting groundwater quality.” *Environment and Planning A*, 22: 1469-1486

Rajagopa, R. and Tobin, G. 1989. “Expert opinion and groundwater quality protection: The case of nitrate in drinking water.” *Groundwater* 27(6): 835-847

Lave and Seskin, 1970 “Air Pollution and Human Health.” *Science* 169(3947)

화력발전소 온배수 열에너지 활용의 타당성에 관한 사례분석: 남제주화력 시범단지를 중심으로

남 태 섭 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

The Feasibility Analysis of Thermal Power Plant Waste Hot Water

Tea-Sub Nam | M.S. Candidate, Green School, Korea University

초록

정부는 기후변화대응과 에너지 이용효율 향상을 위해 화력발전 온배수열 활용을 6대 에너지 신사업 모델로 선정한 바 있다. 이에 정부는 충남 당진화력발전소 주변지역에 온배수를 활용한 복합영농시설 시범지구를 조성하는 등 향후 17년까지 온배수 37만톤을 농업부문에 활용한다는 계획이다. 본 연구는 우리나라에서 처음으로 화력발전 온배수열을 시설원예의 난방열로 활용하고 있는 남제주화력 시범단지에 대한 사례연구를 통하여 시사점을 도출하고자 한다. 기술적 요인, 도시기반 요인, 제도적 요인을 기반으로 사업의 경제적 타당성을 분석하였다. 이러한 분석결과는 화력발전 온배수열 활용을 위한 정책결정에 유용한 정보로 활용될 수 있다.

1. 서론

화력발전소는 40%내외의 열효율을 나타내므로 60%가 폐열로 방출되고 있는 미활용 에너지이다. 20%는 배기 및 복사열로 소실되고 나머지 40%는 온배수의 형태로 열에너지가 해양으로 방출되고 있다. 현재 우리나라 발전소 온배수의 규모는 연간 2.4억 기가칼로리(Gcal)로 약 320억톤에 달하지만, 대부분은 바다에 버려지고 있으며 활용률은 0.48%인 약 118만 Gcal에 그치고 있다(산업부 보도자료, 2014.08.20). 발전 온배수는 바다에 도달하기 전 열의 회수가 이루어지지 않으면 주변 수온 상승으로 인해 동물 플랑크톤의 감소, 해조류의 생장 저해, 저서생물의 종 감소, 생물상의 변화 등 해양생태계에 피해를 입히는 것으로 알려져 있다(이인희, 2012) 따라서 발전 온배수를 또 다른 재생에너지원으로 인식하고, 발전 온배수의 열을 회수하여 농·수산업 부문의 에너지원으로 이용할 필요가 있다. 에너지 비용의 상승으로 경영에 압박을 받고 있는 농·수산업 부문에 발전 온배수를 활용한다면, 새로운 에너지원의 확보가 가능하게 되어 농·수산업 부문의 소득 증대에 기여할 수 있다. 발전회사의 입장에서는 폐열을 재활용하므로 종합효율을 향상할 수 있고, 무엇보다도 간접적인 온실가스 저감효과를 가져옴으로 지구온난화 방지에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 우리나라에서 처음으로 발전 온배수를 시설원예의 난방열로 활용한 남제주화력 인근

시범단지의 사례를 조사하여 시사점을 도출하는 데 있다. 즉, 발전 온배수를 시설원에 에너지원으로 활용하고 있는 남제주화력의 사례를 경제적 타당성이라는 관점에서 분석하고자 한다. 본 연구는 발전온배수 활용사업의 보급을 활성화하는 데 정책적으로 기여한다. 발전 온배수가 가진 열에너지를 활용해 농가의 난방열원으로 재활용하는 것은 에너지 절감뿐만 아니라 농가소득 증대에도 이바지할 수 있는 에너지순환형 모델이 될 수 있다. 남제주화력의 활용사례 연구를 통하여 발전온배수 활용사업의 가능성을 보여주고자 한다.

2. 발전 온배수의 개념 및 현황

발전 온배수는 대표적인 미활용 에너지(unused energy)이다. 미활용에너지는 일상생활에서 이용할 수 있을 만큼의 경제성을 아직까지는 확보하지 못한 에너지원을 가리킨다. 바꿔 말하면 활용가치를 지니고 있음에도 불구하고 경제적·기술적·제도적 제약으로 인해 이용되지 못한 채 자연계로 배출되는 에너지로 정의될 수 있다(진상현, 2013).

표 1을 보면 미활용 에너지는 온도차 에너지와 도시배열로 크게 구분할 수 있다. 해수, 하천수 및 하수처리수는 온도차 에너지이고 지하철 폐열, 변전소 폐열 및 발전소 온배수는 도시배열이다. 발전소 온배수는 미활용 에너지 중에서도 도시배열이며 저온배열로 분류된다.

표 1. 미활용에너지의 종류

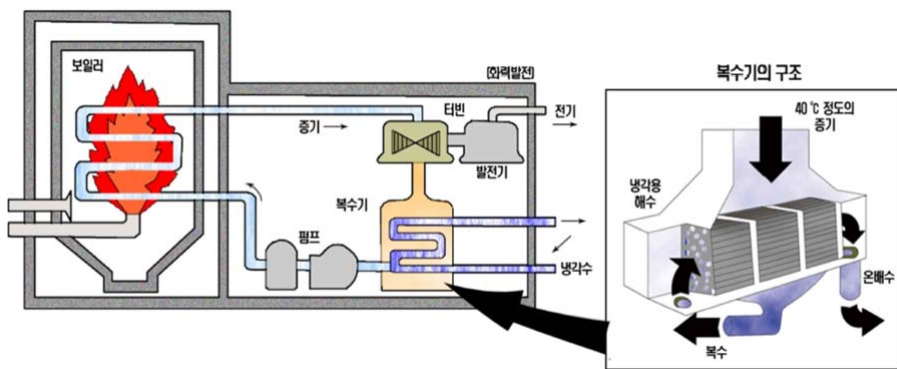
미활용 에너지구분		에너지원	온도	안정성	이용가능성
온도차 에너지		해수	여름은 대기온도보다 낮고, 겨울은 대기온도보다 높음	언제나 이용가능	대규모시스템
		하천수(호수)			거의 언제나 이용가능
		하수처리수		중소규모시스템 수요지와 근접성 양호	
도시 배열	저온 배열	지하철폐열	연간 대기온도보다 높음	거의 언제나 이용 가능하지만 계절·시간에 따라 변동	소규모시스템
		변전소폐열			수요지와 원거리
		발전소 온배수			
	고온 배열	폐기물 소각열 산업체 폐열	100°C초과		수요지와 근접성 양호

출처: 에너지기술평가원(2011)

석탄 화력발전소는 40% 내외의 열효율을 나타내므로 60%가 배열로 방출되고 있는 미활용 에너지이다. 이중 20%는 굴뚝(배기열)과 복사열로 소멸되고, 40%가 해수 냉각수로 전이되어 온배수의 형태로 해양으로 유출되는 발전 온배수이다. 발전소 온배수(thermal effluents)는 발전 과정에서 냉각수로 사용하

III. 연구논단

기 위하여 취수한 해수가 열전기로 인하여 수온이 상승된 상태로 해양으로 방출되는 배출수를 일컫는다. 화력발전소의 증기사이클은 증기를 발생시키는 보일러, 보일러에서 발생된 증기가 팽창하면서 일을 하는 터빈, 팽창된 증기를 응축시키는 복수기로 구성되어 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 복수기(condenser)에서 증기를 응축시키기 위해 해수를 냉각수로 사용한다. 이 해수는 복수기 전열관을 통과하면서 증기를 냉각·응축시키며 취수 시의 자연해수보다 연평균 약 7℃ 상승되어 바다로 배출된다. 이때 방출하는 열량이 발전소 미활용 에너지의 대부분을 차지한다. 500 MW 석탄화력 설계기준으로 입열량의 약 52.2%가 복수기에서 방출된다¹.



출처: 이인희(2012)

그림 1. 발전온배수 배출 경로

2010년 현재 우리나라에서는 1일 평균 1억 3천만 톤의 발전 온배수가 배출되고 있다. 우리나라에서 운영되고 있는 석탄 화력발전소는 관류냉각방식을 채택하고 있어서 발전소 복수기 내 냉각수로 이용되고 배출되는 발전 온배수의 규모는 연간 2.4억 기가칼로리(Gcal)로 약 320억 톤에 달한다(산업통상자원부, 2014). 이렇게 방출된 열량은 석탄량으로 치면 4천만 톤 가량이며, 금액으로는 약 3조 9천억 원에 해당된다(정중환, 2012). 그러나 적당한 열수요처를 찾지 못하고 대부분은 바다에 버려지고 있으며, 활용률은 0.48%인 118만 Gcal에 그치고 있다.

3. 발전온배수의 타당성 분석틀

정부는 대형 공공 투자사업의 필요성을 사전에 미리 판단하기 위한 예비타당성 제도를 1999년부터 도입해서 운영하고 있다. 이를 총괄하는 한국개발연구원은 공공 투자사업의 필요성을 경제성 분석, 정책적 분석, 종합평가라는 3단계로 구분해서 평가하고 있다(최석준, 간형식, 2008). 그렇지만 비계량적인 정책분석과 계량적인 경제성 분석을 통합하는 작업에 대한 근본적인 비판이 학술적 차원에서 제기되고 있는 상황이다(권태형, 2008). 이에 본 연구에서는 사례연구라는 현실적 한계로 인해 정성적인 방식으로, 즉

1 당진화력 1-4호기 설계기준

문헌을 이용한 서지분석적 연구방식으로 경제적 타당성이라는 관점에서 발전 온배수 활용사례를 분석하고자 한다.

미활용 에너지의 경우 사업의 타당성을 분석하는 기준을 경제성이라고 했을 때, 경제적 타당성을 뒷받침하는 하위 요소들이 존재할 수 있다. 즉, ‘기술적 요인’, ‘도시기반 요인’, ‘제도적 요인’을 경제적 타당성의 하위 3요소로 제시하고 있다(진상현, 2013). 이에 근거하여 보면, 발전소의 온배수를 열에너지원으로 활용하는 사업이 경제적으로 타당성을 갖기 위해서는 무엇보다도 30℃ 정도의 저온 열원을 재활용할 수 있는 기술적 타당성을 지니고 있어야 한다. 한편으로는 기반시설이라는 측면에서 온배수를 활용하기에 적합한 열수요처 및 인프라의 구축 여부가 경제적 타당성을 확보하는 데 중요하다. 또한 해당 지자체나 정부의 제도적 지원이 경제적 타당성을 확보하는 데 있어서 중요한 하위요소이다.

해외의 경우 발전온배수를 활용한 사업이 활발히 진행되고 있다. 일본과 프랑스가 앞서 활용도를 높여가고 있는데, 일본의 경우 농업 분야에서 5곳에 활용하고 있고 프랑스는 9곳 이상에서 사업을 하고 있다. 대부분이 온실 난방열원으로 활용하고 있다. 반면, 우리나라는 남제주 화력발전소의 온배수를 활용한 시설원예단지 사업이 유일하다. 따라서 남제주 화력을 분석사례로 선정하였으며, 해당 영농법인, 농어촌공사의 보고서나 기관 홈페이지 등을 통해서 공개된 문서자료를 활용하여 경제적 타당성의 하위 3요소라는 분석틀에 맞춰서 발전 온배수의 열에너지원으로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

4. 남제주화력 원예농업 시범단지 사례 분석

4.1 사업개요

사업의 추진 주체는 제주특별자치도 농업기술원 서부센터이며, 현재 이 곳의 관리는 영농 조합(행복나눔 영농조합법인)에서 하고 있다. 제주도 차원의 공모는 없었으며 지역 유지와 협의하여 진행하였다. 제주특별자치도 서귀포시 안덕면 화순리 703번지 외 3필지에 위치하고 있으며, (주)한국남부발전 남제주화력발전소(200 MW)로부터 여름 32 ~ 34℃, 겨울 25 ~ 28℃의 발전 온배수를 공급받고 있다. 현재 발전소 측이 공급하는 온배수는 발전소에서 최종 배출 직전의 온배수이며, 총 온배수 배출량의 0.1% 정도이다. 발전소 내 저류조에서 모터펌프로 물을 끌어 올려서 공급하며, 배관길이는 하우스까지 150 m 정도이다.

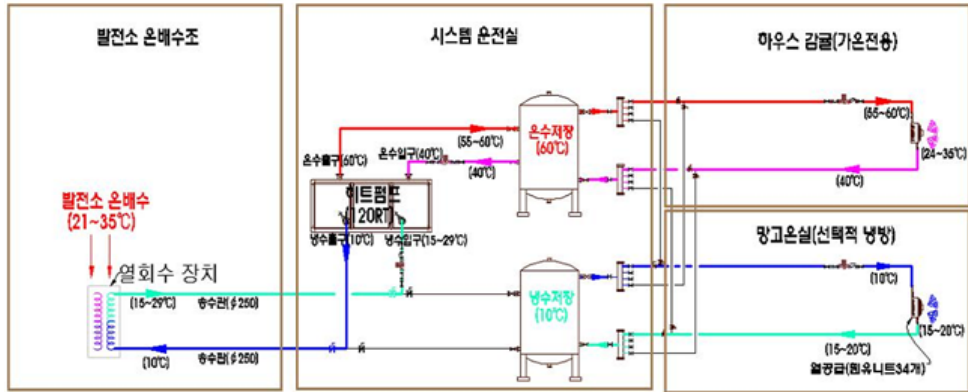
하우스에서는 애플망고와 감귤을 재배하고 있다. 초기 투자비는 8억원(국비 3억원, 지방비 3억원, 농가 2억원)이 소요되었다. 기존 경유난방 대비 연간 83%의 난방비 절감 효과(연간 3.7억원)를 기대할 수 있다(산업통상자원부, 2014).

4.2 기술적 요인

화력발전소 냉각수인 바닷물 온배수조(21 ~ 27℃)에 열회수장치를 설치하고 열회수된 물(15 ~ 27℃)을 송·배수관을 통하여 히트펌프에 연결하고 히트펌프에서 물 온도를 55 ~ 60℃로 상승시켜 축열조에

III. 연구논단

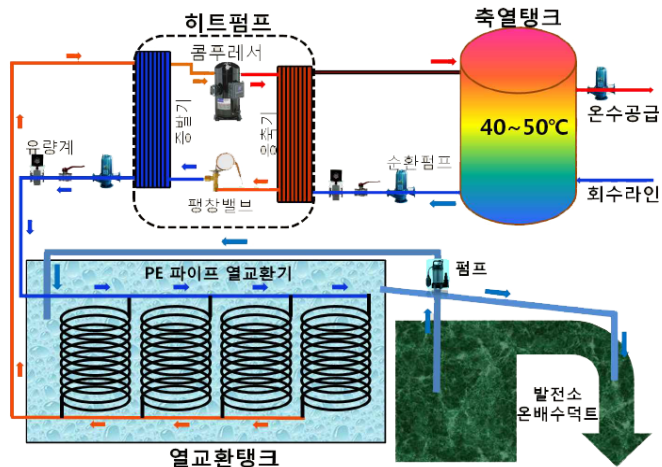
저장한 후, 필요할 때 저장된 물을 Fan unit을 통하여 하우스 공기 난방에 활용한다. 활용된 물은 다시 열회수장치, 히트펌프를 거쳐 하우스를 순환하는 시스템으로 이루어져 있다(그림 2).



출처: 산업부(2014)

그림 2. 난방열 활용 프로세스 개략도

히트펌프는 일본수입제품이며(일본의 경우 호텔에서 냉·난방기로도 사용하고 있음) 시설 내구성은 10년 정도를 예상하고 있고, 시스템 1개당 4천만 원 정도 예산이 소요되었다. 발전 온배수의 부식성과 온도 특성을 고려하여 가변형 폐열회수장치 설계기술을 적용하였고, PE파이프를 Roll 형태로 제작함으로써 내부식성을 향상시키고 제작비를 크게 줄였다. 시설은 비닐 온실이며 농어촌공사에서 시공 및 설계를 담당하였다(그림 3).



출처 : 국립농업과학원(2014)

그림 3. 히트펌프 난방시스템

발전 온배수 활용 시설원예의 경우 작물의 적정성이 중요하다. 평범한 작물은 효율이 없으며, 재배 비용의 80%가 난방비인 망고가 효율성이 가장 높은 것으로 나타났다. 실제로도 현재 하우스 감귤(3,050㎡)과 망고(2,215㎡)를 재배하고 있다. 발전 온배수를 활용한 시설원예는 기존 경유난방 대비 난방에너지 비용의 87% 절감효과가 있는 것으로 파악되고 있다. 망고 및 하우스귤 생산을 위한 연료 사용비용을 2,000평 24℃ 기준으로 분석하면, 유류 사용 시 약 1억 4천 4백만 원이 소요되나, 현재의 온배수활용 난방시스템 활용 시 약 2천만 원이 소요된다(표 2).

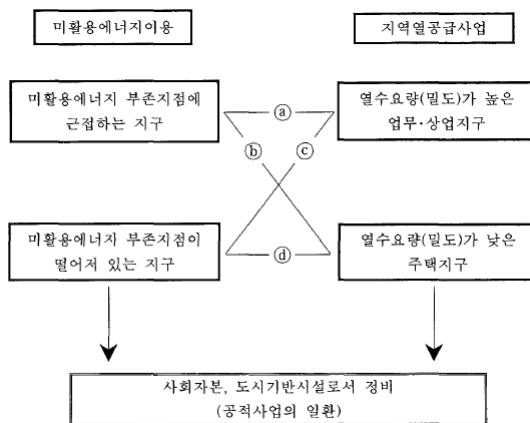
표 2. 망고 및 하우스귤 생산 시 연료비 비교

구분	유류사용(경유)	온배수활용(전기) ²
면적(평)	2000	2000
사용량	120,000ℓ	500,000kw
단가(원)	1200	40
금액(천원)	144,000	20,000

출처: 제주 행복나눔영농법인(2014) 재구성

4.3 도시기반 요인

도시기반 요인 가운데 가장 중요한 것은 열수요처와의 지리적 거리이다. 발전소 온배수 배출지점과 수요지점과의 거리가 먼 경우 수송을 위한 배관이 길어지고, 이는 초기투자비를 증가시키는 요인이 되기 때문이다. 발전 온배수를 포함하여 미활용 에너지의 경우, 부존지점에 근접하고 열수요량(밀도)이 많은 지구(㉠)에서 시장경제성이 가장 좋다. 반면, 부존지점에서 떨어져 있고 열수요량(밀도)이 적은 지구(㉡)에서 가장 경제성이 나빠짐을 알 수 있다(그림 4).



출처 : 산업통상자원부(2007)

그림 4. 미활용에너지 도입의 난이도

2 온배수 이용 난방시스템을 위한 전력사용

Ⅲ. 연구논단

남제주화력 시범단지의 경우 미활용 에너지 부존지점인 발전소 온배수 배출구와 열수요처인 시설원에 단지가 매우 인접하여 있다. 남제주화력에서 시설원예단지까지의 온배수관의 길이가 약 150 m이다. 온배수관의 길이가 짧아 초기 투자비용이 적게 투입되고, 운영 시 열손실이 적게 나타난다.

4.4 제도적 요인

제주특별자치도는 2010년 7월 서귀포시 안덕면 화순리에 ‘발전소 온배수 이용 시설원예 시범단지’를 준공하였다. 발전소에서 바다로 버려지는 온배수를 활용하자는 제안 및 구상(2009년)과 함께 1차 사업을 2010년에 시작하였다. 1차 사업은 국고 보조 없이 순수 도비만으로 투자되었다. 사업비 7억 5천만원 중 6억 1천만원이 도비이고, 나머지는 조합 자부담(시설입지 토지현물투자)이었다. 2차 사업은 23억 정도가 소요되었으며, 국비 지원금 14억 5천만원³, 도비 4억원, 나머지는 조합 자부담이다. 즉, 지금까지 국고 및 지방비 지원이 80%이고, 자부담이 20%였다. 온배수활용 인프라 구축을 위한 초기 투자비 부담을 정부와 지자체의 지원으로 극복할 수 있었다. 중앙정부에서는 농림수산식품부, 제주특별자치도, 한국에너지기술연구원, 농촌진흥청 및 (주)한국남부발전 남제주화력이 기초 투자비용을 부담하여 사업주체의 실무담 비율을 낮추어준 것이 특징이다.

표 3. 남제주화력 인근 시설원예 시범단지 진행 과정

일시	내용
08년 2월	제주 미활용 에너지 자원조사 실시(한국 에너지 기술 연구원)
08년 7월	마을 공청회 실시(온배수 활용의 건)
09년 5월	온배수의 활용가치 관련 제주 농업기술원과 공감대 형성
09년 6월	농림수산식품부, 농촌진흥청 에너지 환경공학과 현장 실사
09년 6월	지역구 도의원 및 서귀포 시장에게 협조 건의
09년 6월	화력 발전소 온배수 활용 시설 원예 단지 조성을 위한 도TF팀 구성
09년 12월	본 사업 관련 예산안 통과
10년 7월	온배수활용 시설 원예단지 준공(1,500평)
11년 12월	온배수활용 시설 원예단지 증설(총 4,500평)

출처: 제주 행복나눔영농법인(2014) 재구성

해외의 경우도 마찬가지다. 발전 온배수 농업분야 활용이 활발한 유럽의 경우, 온배수 활용을 위한 인프라 설치비는 정부, 지역행정당국, 발전소에서 많은 부분을 부담한다. 프랑스 로젠 열대식물원의 경우, 원자력 발전소에서 공급되는 23 ~ 32℃ 온수를 난방열원으로 사용하는데, 온배수 관의 길이는 2km이다. 이들 투자비용은 정부, 지역 행정당국 및 프랑스 전기공사가 대부분을 부담한다(이인희, 2012).

3 농식품부 ‘에너지 효율화 사업’으로 지원되었다.

4.5 종합 분석

4장에서는 발전 온배수를 시설원예에 활용하고 있는 남제주화력 시범단지를 기술적 요인, 도시기반 요인, 제도적 요인으로 구분하여 타당성을 검토해 보았다. 검토 결과 경제적 타당성을 결정짓는 첫 번째 요소인 기술적 요인은 우리나라도 이미 확보하고 있는 것으로 판단된다. 왜냐하면 히트펌프⁴를 활용하여 기존 열풍난방 대비 80%의 가온비용을 절감하고, 지열난방 대비 35%수준으로 구축이 가능하기 때문이다 (국립농업과학원, 2014).

다음으로 도시기반 요인적 관점에서는 지방정부 차원에서 관심을 가지고 주도적으로 구축해 나갈 필요가 있다. 특별히, 발전소 인근 지역에 열수요처를 개발할 필요가 있다. 인근에 도시지역이 있으면 열수요처 발굴이 쉽지만, 우리나라의 석탄화력발전소는 대부분 해안가에 위치하고 있어 인근 5 km 반경 내에 도시지역이 없는 경우가 많다. 따라서 발전소 인근 유휴부지를 시설원예단지로 개발하여 온배수의 열원을 활용할 수 있도록 해야 한다.

또한 제도적 요인도 발전 온배수 활용사업에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었다. 남제주화력 시범단지의 경우도 중앙정부와 지자체가 80%의 초기 투자비를 부담함으로써 시범단지 구축이 가능했다.

5. 결론

본 연구에서 분석한 바와 같이 발전온배수를 시설원예 난방열로 활용하는 사업은 기술적 요인을 갖추고 있기 때문에 사업의 경제적 타당성을 높이기 위해서는 중앙정부의 제도적 지원과 더불어 발전소 인근 지역 인프라를 최대한 활용하려는 지방정부의 노력이 중요할 것으로 판단된다.

발전온배수 활용사업은 에너지비용을 절감하고 고부가가치 작물생산에 따른 발전소 인근지역 농가의 새로운 소득 창출을 가능하게 한다. 또한 발전소에서 버려지는 폐열을 재활용함으로써 발전소의 종합효율이 향상되고, 기존 유류난방을 대체하므로 간접적인 온실가스 저감효과를 가져온다. 따라서 본 연구에서 분석한 내용이 발전 온배수 활용사업에 대한 정책적 패러다임의 변화를 가져올 수 있는 기초가 될 수 있기를 바란다. 끝으로 본 연구는 경제적 타당성의 하위요소인 기술·도시기반·제도적 측면에서 분석하였을 뿐이지 이들을 체계적으로 경제성분석하지는 못했다. 또한 발전 온배수 활용에 따른 비용-편익분석을 포함해 경제적 타당성에 대한 정량적 분석은 향후 연구과제로 진행되어야 할 것이다.

4 히트펌프는 열의 회수, 저장, 변환, 수송 등을 활용한 냉난방 시스템이며, 온실난방에 활용할 경우 히트펌프를 가동하고 축열탱크에 온수를 저장한 후 저장된 온수를 난방코일에 순환시킴으로써 온실내부 온도를 일정하게 유지 할 수 있다. 효율이 높고 환경문제가 적게 발생하는 장점이 있다.

Ⅲ. 연구논단

참고문헌

- 국립농업과학원. 2014. 『화력발전소 미활용 열원(온배수)을 이용한 농업시설 냉난방』
- 권태형. 2008. “공공사업 타당성평가에서 다기준분석의 의의와 한계”. 『한국공공관리학보』 22(3): 31-51
- 농촌진흥청. 2014. “화력발전소 미활용 열원을 이용한 농업시설 냉난방”
- 산업통상자원부. 2007. 『미활용에너지 자원조사』
- 산업통상자원부. 2014. 『‘버려지는 발전소 온배수’ 활용방안논의 보도자료』
- 에너지관리공단. 2014. 『발전소 온배수 활용촉진 방안 세미나 자료』
- 에너지기술평가원. 2011. 『온실가스 감축기술 전략 로드맵2011』
- 이인희. 2012. “충남 화력발전소 온배수 배출의 실태와 활용방안”. 충남발전연구원
- 정중환. 2012. “화력발전소 냉각수 열에너지의 시설원에 난방활용 타당성 분석”. 고려대학교 생명환경과학대학원 석사학위논문
- 제주 행복나눔영농조합법인. 2014. 『행복나눔영농조합법인 사업계획서』
- 진상현, 한준. 2009. “신재생에너지의 개념 및 정책적 타당성에 관한 연구”. 『한국정책학회보』 18(1): 187-209
- 진상현, 홍은정. 2013. “도시지역 미활용 에너지의 타당성에 관한 사례 분석: 기술, 제도, 인프라를 중심으로”. 『한국생태환경건축학회논문집』 13(1): 17-28
- 최석준, 간형식. 2008. “연구개발분야 예비타당성 제도의 개선방향”. 『기술혁신학회지』 11(2): 287-313

집단에너지사업의 배출권 할당에 대한 문제점과 개선방안

양 원 창 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

Issues and Recommendations on Allocation of CO₂ Emission Rights of Community Energy Industry in Korea

Wonchang Yang | Ph.D. Candidate, Green School, Korea University

초록

최근 배출권 거래제 시행을 위한 산업별, 업체별 배출권 할당이 추진되었다. 이와 관련하여 집단에너지업계에서는 집단 에너지의 온실가스 감축 기여도 미반영, 집단에너지 축소 우려, 집단에너지 특성 미반영 등을 문제점으로 지적하고 있다. 집단에너지 업계의 주장을 검토한 결과 집단에너지 업계의 주장이 일면 타당성이 있는 것으로 분석되었다. 첫째, 집단에너지사업은 에너지 효율이 높고 온실가스 감축에 기여해오고 있으며 외국의 경우에도 집단에너지사업에 대해서는 조정계수를 차별화하고 있는 점이 인정되고 있었다. 둘째, 집단에너지는 연료를 사용하여 전기와 열을 생산하기 때문에 온실가스를 직접 배출하고 있어 배출권 거래 대상에 포함된 반면 도시가스 업체는 도시가스를 판매만 하고 온실가스 배출은 개별 아파트에서 하기 때문에 배출권 거래 대상에서 제외되었다. 이에 따라 지역난방은 열요금 인상 등으로 경쟁력이 약화되는 반면, 상대적으로 온실가스 배출량이 큰 도시가스 개별난방이 확대되어 오히려 온실가스 배출을 촉진하는 모순된 결과가 초래될 수 있다. 셋째, 발전사와 집단에너지 모두 최대용량으로 발전시설 설비를 설치하고 있었으나, 발전사의 발전설비는 상업운전과 함께 최대용량을 출력하고 용량이 부족한 경우 신증설을 하는 반면, 집단에너지의 발전설비는 건설경기, 임주율에 설비 가동률이 증가(5~10년)하고 최대 이용률에 도달할 때까지 추가 설치가 없다는 차이가 있었다. 발전사의 발전설비는 기존에 최대용량으로 설치된 발전설비가 부족할 때 신증설이 있는 것이고 집단에너지의 발전설비는 이용률에 따라 설비가동이 증가하기 때문에 이 부분은 신증설과 동일하게 해석하는 것이 논리적으로 타당한 것으로 인정된다. 이상의 논의를 바탕으로 집단에너지의 경우 다음과 같은 개선이 이루어질 필요가 있다. 즉 열생산부문 인센티브 부여 또는 배출권 거래제에서 제외하는 방안, 발전·에너지 업종과 분리 또는 별도 할당계수를 부여하는 방안, 신증설에 집단에너지 설비이용률을 반영하는 방안 등을 통해 집단에너지가 온실가스 감축과 국가 에너지 이용 효율 제고에 기여하고 있는 공적을 인정하는 것이 필요하다.

1. 서론

한국은 2009년에 온실가스를 2020년 BAU 대비 30% 감축하겠다는 목표를 발표하였다. 2010년에는 「저탄소녹색성장법」을 시행하였고, 2012년에는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」을 제정하였다. 정부는 온실가스 감축을 비용효과적으로 달성하기 위해 2014년 1월에 배출권 거래제 기본계획을 확정하고 12월에 할당결정심의위원회를 열어 525개 사를 대상으로 업체별 무상배출권 할당량을 확정하였다.

집단에너지 열병합발전에 대한 무상할당량은 48.8백만 톤으로 발전·에너지 업종에 무상할당된 735백

Ⅲ. 연구논단

만 톤의 6.6% 수준이다. 당초 집단에너지가 신청한 물량은 발전·에너지 업종의 7.1% 수준인 72.1백만 톤이었으나, 금번 배출권 할당이 과거 배출량과 신증설량 기준으로 할당되어 신증설 물량이 큰 석탄발전소에만 추가 할당됨에 따라 집단에너지 열병합발전의 할당량 비중이 감소한 것이다. 그 결과 집단에너지 23개 사는 2013년도 매출액인 92,267억원의 3.0%에 해당하는 2,448억원에 달하는 배출권 구매비용을 추가 부담해야 할 상황에 놓이게 되었다.¹ 이에 대해 집단에너지업, 소각열 등을 이용하여 지역난방과 기업에 열을 공급함으로써 발전만 할 경우나 난방만 할 경우보다 에너지효율이 월등히 높고 에너지 소비가 줄어든 만큼 온실가스 배출도 감소하게 되는데 금번 배출권 할당의 경우 이러한 집단에너지의 기여도가 제대로 반영되지 않았다는 주장이다.

이하에서는 집단에너지사업자들과의 간담회, 인터뷰 등을 통해 제기된 주장들에 대해 타당성을 검토해 보고 개선방안을 강구해보고자 한다.

2. 배출권 거래제 운영 현황



출처: 환경부(2015)

그림 1. 배출권 거래제 운영 프로세스

표 1. 배출권 총수량 및 부문·업종별 할당량

1 집단에너지업계 자체 추정 자료

(단위: KAU(Korean Allowance Unit))

부문	업종	이행연도			계획기간 총량		
		'15년	'16년	'17년			
배출권	총수량	558,667,013	547,712,757	536,758,501			
	예비분				97,612,175		
일반 산업	전환	발전·에너지	239,491,076	234,795,172	230,099,269	704,385,517	
	산업	광업	광업	241,178	236,449	231,720	709,347
			음식료품	2,480,221	2,431,589	2,382,957	7,294,767
		섬유	섬유	4,551,824	4,462,572	4,373,321	13,387,717
			목재	372,063	364,768	357,473	1,094,304
		제지	제지	7,400,173	7,255,071	7,109,970	21,765,214
			정유	19,530,390	19,147,441	18,764,493	57,442,324
		석유화학	석유화학	46,758,465	45,841,632	44,924,800	137,524,897
			유리·요업	6,144,459	6,023,980	5,903,500	18,071,939
		시멘트	시멘트	42,762,356	41,923,879	41,085,401	125,771,636
			철강	공정 외	101,257,153	99,271,718	97,286,284
		F가스공정		747,876	733,211	718,547	2,199,634
		비철금속	비철금속	6,754,737	6,622,292	6,489,846	19,866,875
			기계	1,417,300	1,389,510	1,361,719	4,168,529
		반도체	공정 외	8,084,306	7,925,790	7,767,274	23,777,370
			F가스공정	2,170,023	2,127,474	2,084,924	6,382,421
		디스플레이	공정 외	6,424,944	6,298,965	6,172,986	18,896,895
			F가스공정	2,400,338	2,353,273	2,306,207	7,059,818
		전기전자	전기전자	2,665,451	2,613,187	2,560,923	7,839,561
			자동차	4,200,978	4,118,605	4,036,233	12,355,816
	조선	조선	2,619,814	2,568,445	2,517,076	7,705,335	
		공공·폐기물	수도	729,822	715,512	701,201	2,146,535
	폐기물		8,749,738	8,578,174	8,406,611	25,734,523	
	건물	건물	3,536,598	3,467,253	3,397,908	10,401,759	
		통신	2,722,264	2,668,886	2,615,508	8,006,658	
	수송	항공	1,265,327	1,240,517	1,215,706	3,721,550	

출처: 환경부(2015)

배출권 거래제는 할당 대상 업체별로 배출권을 할당하고 그 범위 내에서 온실가스를 배출하도록 하되 여분·부족분에 대해 타 업체와의 거래를 허용하는 제도로, 각 기업은 자신의 온실가스 감축비용에 따라 자율적으로 직접 감축활동을 하거나 시장에서 배출권 매입이 가능하다. 배출권 거래제의 운영 프로세스(그림 1)를 보면, 2014년 1월에 국가 감축목표를 설정하였고 6월에 온실가스 감축 로드맵에서 제시된 온

I. 권도칼럼

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집논단

V. 국내외 정책·기술동향

VI. 그린스쿨 주요활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단

실가스 배출목표량과 업종별 감축목표를 반영하여 배출권 발행 총량과 업종별 할당량 계획을 수립하였다. 7월에는 최근 3년간 온실가스 배출량 평균 125,000 CO₂ 톤 이상인 업체 또는 25,000 CO₂ 톤 이상인 사업장을 할당 대상업체로 선정하였다. 그리고 11월에는 업체별 배출권을 할당하였다. 배출권 거래제 운영 프로세스는 그림 1과 같다. 정부는 1차계획 기간인 2015년부터 2017년까지 1,643,138,271톤을 5개 부문 23개 업종에 대해 할당하였다. 배출권 총 수량과 부문, 업종별 할당량은 표 1과 같다.

3. 집단에너지사업 현황

집단에너지란 1개소 이상의 집중된 에너지 생산시설에서 생산된 에너지(열 또는 열과 전기)를 주거, 상업지역 또는 산업단지 내의 다수 사용자에게 일괄적으로 공급·판매하는 사업으로, 다수의 사용자는 개별적으로 에너지 생산시설을 설치하지 않아도 된다는 특징이 있다. 집단에너지 사업은 지역냉난방 사업과 산업단지 집단에너지 사업으로 구분된다. 지역냉난방 사업은 일정지역 내에 있는 주택, 상가 등 각종 건물을 대상으로 난방용, 냉방용 열 또는 전기를 공급하는 사업을 말하고, 산업단지 집단에너지 사업은 산업단지 입주업체를 대상으로 공정용 열 또는 열과 전기를 공급하는 사업을 말한다. 집단에너지 사업은 에너지 이용효율 향상에 의한 대규모 에너지 절감과 온실가스 감축에 기여하고 집단에너지 공급으로 주거 및 산업부문의 편의를 제공하며 분산형 전원확보로 국가 전력수급 다양화에 기여하고 있다.

2014년 말 기준으로 지역난방은 2,436천 호에 보급되어 약 12.7%의 보급률을 보이고 있고, 산업단지 집단에너지는 37개 사업장이 운영되고 있다. 제4차 집단에너지 공급계획에 의하면 지역난방은 2018년까지 2013년 대비 49.9% 증가한 총 약 346만 호로 확대하고 지역난방은 2018년까지 2013년 대비 113% 증가한 총 1,151 USRT²를 공급하며 산업단지 집단에너지는 2014년 대비 6개 증가한 43개 사업장에 집단 에너지를 공급할 계획이다. 이를 통해 지역난방은 2014-2018년간 23,075천 톤의 온실가스 배출을 절감할 것으로 예상되고, 에너지 사용절감량도 총 9,806천 TOE로 추정되고 있다. 산업단지 부문의 온실가스 배출 절감량은 총 42,080천 톤으로 추정되고 에너지사용 절감량은 총 10,635천 TOE로 추정되고 있다.

2 1 USRT는 3,024 kcal/h를 의미한다.

표 2. 지역난방 공급 계획

(단위: 천호)

구 분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	
총 주택수 (천호)	18,969	19,217	19,547	19,875	20,197	20,516	
지역난방 보급	세대수(증가)	86	130	177	318	275	261
	세대수(누계)	2,306	2,436	2,613	2,931	3,205	3,458
	보급률	12.2%	12.7%	13.4%	14.7%	15.9%	16.9%

출처: 산업통상자원부(2014)

표 3. 지역냉방 공급 계획

(단위: USRT, 호)

연도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
건물	냉동기 용량	540,357	604,749	755,576	857,910	1,003,577	1,145,963
	개소	810	974	1,117	1,264	1,421	1,527
공동주택	세대수(증가)		-	-	-	1,000	1,000
	세대수(누계)	735	735	735	735	1,735	2,735
	냉동기 용량	416	416	416	416	2,616	4,716
냉동기 용량 합계	540,773	605,165	755,992	858,326	1,006,193	1,150,679	

출처: 산업통상자원부(2014)

표 4. 산업단지 집단에너지 공급 계획

(단위: 개)

연 도	2014	2015	2016	2017	2018
사업장수(증가)	3	1	2	2	1
사업장수(누계)	37	38	40	42	43

출처: 산업통상자원부(2014)

4. 집단에너지에서 제기한 문제점 검토

집단에너지 사업자들은 금번 배출권 할당과정에서 집단에너지의 온실가스 감축 기여도 미반영, 집단에너지 축소 우려, 집단에너지 특성 미반영 등을 문제점으로 지적하고 있다.

4.1 집단에너지의 온실가스 감축 기여도 미반영

집단에너지는 청정연료인 천연가스를 사용하고 에너지 효율과 온실가스 감축효과가 커서 전세계적으로

Ⅲ. 연구논단

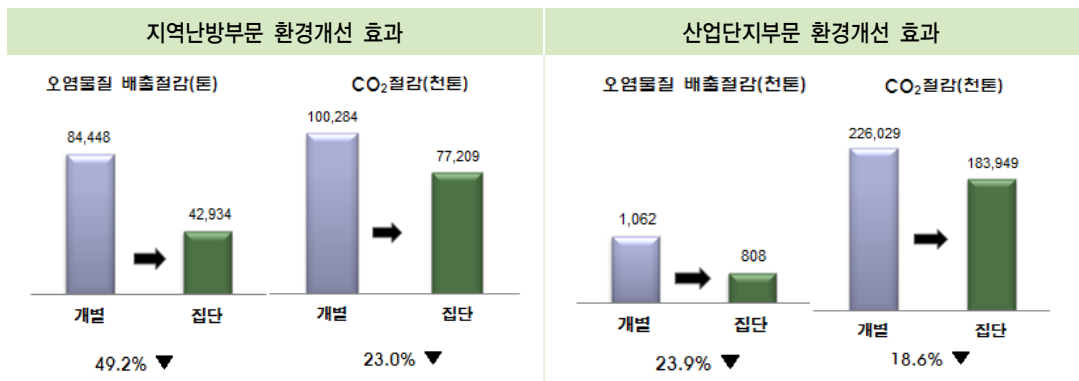
권장하고 있다고 한다. EU의 각 국가는 고효율 열병합발전(CHP)에 대해 온실가스 할당 인센티브를 부여하여 전력산업과 구분하거나 별도의 할당계수를 적용하고 있다고 한다. 열병합발전을 통한 에너지효율은 일반 발전의 49.9%와 비교할 경우 80.7%로 높은 상황이다. 일반 발전의 경우 연료에너지 100%가 투입되면 49.9%의 전력이 생산되고 50.1%의 에너지 손실이 발생하는 반면, 열병합발전의 경우에는 42.1%의 전력과 38.6%의 열을 에너지로 이용할 수 있기 때문에 에너지 효율이 높은 에너지 이용 방법이라고 하겠다.



출처: 산업통상자원부(2014)

그림 2. 일반발전과 열병합발전의 에너지 효율 비교

제4차 집단에너지 공급 기본계획에 의하면 에너지 공급방식에 있어 개별 공급방식보다 지역난방은 23%, 산업단지는 18.6%의 온실가스(CO₂)를 절감할 수 있다고 한다. SO_x, NO_x, 미세먼지 등 오염물질도 개별 공급방식보다 지역난방은 49.2%, 산업단지는 23.9%를 절감할 수 있는 것으로 나타나고 있다. 에너지경제연구원(2012)의 연구에서도 집단에너지 연평균 온실가스 감축량은 13백만 톤으로 2011년 기준 국가온실가스 배출량의 약 2.0% 수준이라고 하였다.



출처: 산업통상자원부(2014)

그림 3. 집단에너지사업의 환경개선 효과

또한 EU의 각 국가는 고효율 CHP에 대해 온실가스 할당 인센티브를 부여하여 전력사업과 구분하거나 별도의 할당계수를 적용하고 있는 것으로 확인되었다. 독일은 고효율 CHP에 0.9875의 조정계수를 적용하여 Non-CHP의 0.85보다 높은 상황이다. 이탈리아와 그리스도 CHP에 1.0의 조정계수를 적용하고 있었다.

표 5. EU의 CHP 조정계수 차별화

• 독 일	: CHP 0.9875,	Non-CHP 0.85
• 이탈리아	: CHP 1.0,	Non-CHP 0.74
• 그리스	: CHP 1.0,	Non-CHP 0.92

따라서 집단에너지 사업은 에너지 효율이 높고 온실가스 감축에 기여해오고 있으며 외국의 경우에도 집단에너지 사업에 대해서는 조정계수를 차별화하고 있는 점이 인정되므로 집단에너지 사업자들의 주장은 타당성이 있다고 하겠다.

2.2 집단에너지 축소 우려

금번 배출권 할당과정에서 동일하게 가스 등의 탄소연료를 사용함에도 불구하고 도시가스는 배출권 거래 대상에서 제외되고 집단에너지만 포함되어 온실가스 감축정책과 모순되는 결과가 초래될 수 있다고 한다. 집단에너지는 연료를 사용하여 전기와 열을 생산하기 때문에 온실가스를 직접 배출하므로 배출권 거래 대상에 포함되고 도시가스업체는 도시가스를 판매만 하고 온실가스 배출은 개별 아파트에서 하기 때문에 배출권 거래 대상에서 제외되었는데, 이에 따라 지역난방은 열요금 인상 등으로 경쟁력이 약화되는 반면, 상대적으로 온실가스 배출량이 큰 도시가스 개별난방이 확대되어 오히려 온실가스 배출을 촉진하는 모순된 결과가 초래될 수 있다고 한다.

집단에너지 사업 부문별 재무현황을 살펴보면 2013년 지역난방 35개 사업자의 연간매출은 5조 899억 원 수준으로 전기 매출이 3조 2,034억원을 차지하고 열 매출이 1조 8,865억원을 차지하고 있다. 35개 지역난방 사업자 중 22개 사업자가 적자(당기손실 1,313억원)를 보이고 있고, 소규모인 구역형 사업자는 496억원의 당기손실을 기록하고 있다. 따라서 온실가스 배출권 거래가 시행될 경우 지역난방 사업자에게 상당한 부담으로 작용할 것으로 예측된다. 배출권 거래에 의한 부담은 열요금 인상 등으로 연결될 수 밖에 없는 현실을 고려할 때 열요금 인상이 충분하지 않을 경우 적자 누적으로 인해 사업성을 상실할 가능성이 있고, 열요금 인상이 충분할 경우에도 경쟁상대인 도시가스 개별난방과 요금격차가 줄어들게 되어 도시가스 개별난방이 확대될 수 있는 여건이 조성될 가능성도 배제하기 힘들다고 하겠다.³

3 다만, 이러한 효과가 얼마나 되는지 아직 분석되지 않아 정확한 영향을 평가하기는 어려운 상황이다.

Ⅲ. 연구논단

표 6. 2013년도 사업자별 당기손익 현황

(단위: 억원)

구 분		매출	영업 이익	당기 손익	구 분		매출	영업 이익	당기 손익	
공공 (4)	지역난방공사	26,578	2,134	1,154	산단 (4)	대전열병합	1,209	31	13	
	인천종합에너지	2,176	151	3		전북에너지	396	79	62	
	서울특별시	1,909	△188	△184		무림파워텍	704	10	19	
	부산광역시	267	△84	△71		DS파워(대성코젠)	462	△29	△28	
에너지 기업 (16)	GS파워	10,837	1,174	844	구역 전기 (10)	부산정관	278	△18	△108	
	인천공항에너지	988	79	20		에버랜드	75	△10	△12	
	안산시개발	574	106	66		짐코	37	△8	△8	
	미래엔인천	454	39	1		TPP(경기CES)	132	△31	△92	
	한국CES	23	6	4		LH공사	568	△149	△120	
	포스메이트	55	9	7		충남도시가스	167	△45	△40	
	청라에너지	444	58	△111		삼천리	300	△58	△55	
	휴세스	120	△35	△82		중부도시가스	128	△15	△17	
	수완에너지	1,115	5	△114		대성에너지(대구)	114	△12	△18	
	코원에너지	80	△53	△74		대성산업(신도림)	97	△12	△26	
	별내에너지	572	△12	△75						
	대구그린파워	3	△37	△0.5						
	롯데건설	12	0	0						
	대륜에너지	8	△29	△49						
	평택(에)서비스	15	△20	△19						
	위례(에)서비스	2	△13	△10						
					총 계	50,899	3,023	880		
					흑자(13)	44,006	3,818	2,193		
					적자(22)	6,893	△795	△1,314		

* '12년보다 당기손실이 악화된 사업자 10개사 : 당기손익란 노란색 표시

* 집단에너지업체의 재무제표를 토대로 작성

2.3 집단에너지 특성 미반영

금번 배출권 할당은 과거 배출량과 신증설량 기준으로 배출권이 할당되어 발전·에너지 업종에서 신증설 물량이 큰 석탄화력발전소에 추가할당이 집중되고 집단에너지는 신증설 물량이 적어 추가할당을 받지 못해 당초 인정량 대비 할당량이 72.8%에서 66.0%로 감소하였는데, 이는 집단에너지의 특성을 무시한 결과라고 주장하고 있다. 즉, 집단에너지 열병합발전은 초기에 열병합발전 설비를 완비하고 공급지역 내 건설경기와 입주율에 따라 점증적으로 가동률이 증가하는데 이는 신증설과 동일한 특성을 갖는 것이라고 한다. 그런데 금번 배출권 할당 시 신증설에 집단에너지 특성이 반영되지 않아 입주율 증가에 따라 늘어나는 배출량을 열병합발전사가 전액 부담해야 할 상황에 놓이게 되었다고 한다. 그리고 배출권 할당도 집단에너지에 귀속되어야 할 분량이 석탄화력발전으로 이전되었다고 주장한다.

발전사와 집단에너지의 발전시설 설비 설치를 비교해 보면 발전사와 집단에너지 모두 최대용량으로 발전설비를 설치하고 있었다. 발전사의 발전설비는 상업운전과 함께 최대용량을 출력하고 용량이 부족한 경우 신증설을 하는 반면, 집단에너지의 발전설비는 건설경기, 입주율에 설비 가동률이 증가(5~10년)하고 최대 이용률에 도달할 때까지 추가 설치가 없다는 차이가 있었다.

표 7. 발전사와 집단에너지의 발전설비 비교

구 분	발전사	집단에너지
설 치	최대용량 설치	최대용량 설치
운 영	상업운전시 최대용량 출력	건설경기, 입주율에 따라 설비 가동률 증가(5-10년)
신·증설	용량 부족시 설치	최대 이용률 도달시까지 추가설치 無

그러나 발전사의 발전설비는 기존에 최대용량으로 설치된 발전설비가 부족할 때 신증설이 있는 것이고 집단에너지의 발전설비는 이용률에 따라 설비가동이 증가하기 때문에 이 부분은 신증설과 동일하게 해석하는 것이 논리적으로 타당한 것으로 인정된다. 따라서 집단에너지사업자들의 주장이 논리적으로 타당성이 있다고 하겠다.

5. 개선방안

5.1 열생산 부문 인센티브 부여 또는 배출권 거래제에서 제외

앞서 분석한 바와 같이 집단에너지 사업은 열과 전기를 동시에 생산하고 있어 에너지이용 효율이 높고 온실가스 감축에 기여하는 바가 크다. 따라서 발전배열·폐열을 활용함으로써 화석연료 수입을 대체하는 양에 대해서는 기회비용 측면에서 인센티브를 부여할 필요가 있다. 한편, 온실가스 감축성과가 큰 집단에너지 사업은 금번 온실가스 할당에 포함된 반면, 온실가스 배출이 상대적으로 많은 도시가스 개별난방의 경우에는 제외된 것은 온실가스 감축과 관련하여 문제가 있는 것이 사실이다. 따라서 도시가스 개별난방이 온실가스 할당에서 제외되었다면 최소한 도시가스를 이용하는 집단에너지 사업도 금번 온실가스 할당에서 제외되는 것이 타당하다고 하겠다.

5.2 발전·에너지 업종과 분리 또는 별도 할당계수 부여

금번 온실가스 배출 할당에서 집단에너지 사업은 발전·에너지 업종에 포함되어 온실가스 감축 기여도가 크어도 불구하고 그 기여도가 제대로 평가받지 못해 상대적으로 불이익을 본 것이 사실이다. 즉 기준년도 배출비율에 따르면 집단에너지는 55백만 톤(7.1%)이었으나 1차 계획기간 무상배출 할당량은 47백만 톤(6.6%)으로 감소되었다. 따라서 집단에너지 사업에 대한 인센티브 부여가 필요한데, 이에 대한 한

Ⅲ. 연구논단

방안으로 집단에너지 사업을 발전·에너지 업종과 분리하고 별도의 할당계수를 부여하는 것이 필요하다. 조정계수 수준은 현행 발전·에너지 업종 조정계수인 0.728 보다 높아야 할 것이다. 참고로 이탈리아와 그리스는 조정계수로 1.0을 부여하고 있다.

5.3 신증설에 집단에너지 설비이용률 반영

또한 집단에너지의 경우 설비이용률이 입주율 증가 등에 따라 증가되고 있으며 이는 신증설과 같은 효과를 가지는 것이므로 무상배출량 추가할당 기준으로 신증설물량을 인정하는 것과 동일한 논리로 열병합발전의 설비 이용률도 포함되는 것이 합리적이라고 하겠다. 즉 집단에너지 열병합발전 설비 이용률을 반영하여 입주율 증가에 따른 배출량을 추가 할당할 필요가 있다.

6. 결론

집단에너지사업은 발전배열, 소각열 등 폐열을 이용함으로써 에너지이용 효율을 높이고 온실가스 감축에도 크게 기여하고 있다. 그럼에도 불구하고 금번 온실가스 배출량 할당 과정에서는 집단에너지 사업의 기여도가 충분히 반영되지 못한 것이 사실이다. 이에 따라 집단에너지 사업자들의 반발이 상당하다. 배출권 거래제의 본래 취지가 온실가스 감축에 있는 것이라면 온실가스 감축에 기여하는 기술과 사업에 대해서는 상당한 인센티브를 부여하여 그러한 기술과 사업을 유도하는 것이 중요한 정책수단이 될 수 있다. 금번 온실가스 배출량 할당에 대해 1개월 간의 이의신청을 받고 있고, 3년 뒤에는 2차 온실가스 배출량 할당이 있을 예정이라고 한다. 따라서 온실가스 배출권 할당의 과정에서 집단에너지 사업의 특성과 역할이 충분히 반영된 제도 시행이 필요하다고 하겠다. 다만, 집단에너지 사업에 인센티브를 부여하기 위해서는 관련된 통계나 분석이 선행되어야 할 것이다. 따라서 앞으로 집단에너지 사업의 기여분을 산출하는 연구가 필요하다고 본다. 다만, 집단에너지 사업자 중 중소기업자는 기여분 산출에 필요한 자료와 정보를 제공하는 데 한계가 있으므로 이에 대한 연구의 한계는 인정할 필요가 있겠다.

참고문헌

- 산업통상자원부. 2014. “제4차 집단에너지 공급 기본계획”
- 에너지관리공단. 2014. “2014 집단에너지사업 편람”
- 산업통상자원부. 2014. “산업통상자원백서”
- 기획재정부. 2014. “배출권거래제 기본계획”
- 환경부. 2015. “배출권할당량 확정 보도자료”
- 기타 산업통상자원부 내부자료 및 집단에너지사업자 인터뷰 내용

중동 산유국의 신재생에너지 도입에 대한 요인 분석

이 정 은 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

Factor Analysis for Renewable Energy Introduction in the Middle East

Jeong Eun Lee | M.S. Candidate, Green School, Korea University

초록

전세계적으로 신재생에너지 발전에 관한 투자가 진행되고 있으며 이는 기존 화석연료 수출이 국가 재정의 큰 비중을 차지하는 중동 산유국에도 마찬가지로 경향을 보이고 있다. 대표적인 예로 UAE의 그린경제정책으로 마스다르 시티를 친환경녹색도시로, 쿠웨이트의 카비르 시티를 친환경 녹색기술을 적용한 도시로 탈바꿈하는 정책이 시행되고 있다. 중동은 지리적으로 기후 인자가 풍부하여 태양광에너지 발전에 큰 효과를 볼 수 있다고 예측되나, 환경적으로 기후변화에 취약한 국가군으로 분류되기도 한다. 또한 세계 에너지 수요에 맞춰 원유 수출로 벌어들인 오일 머니를 신재생에너지 발전에 투자하여 포스트 오일 시대를 준비하고자 한다. 본 연구에서는 원유 수출이 국가 경쟁력인 중동 산유국에서 원유에 대체되는 에너지원인 신재생에너지 도입에 왜 투자하는지, 그리고 국가별로 소극적 또는 적극적인 태도를 보이고 있는데 왜 그러한 차이를 보이는지를 알아보하고자 한다.

1. 서론

2009년, UAE(United Arab Emirates)의 10 MW(Megawatt) 태양광 프로젝트(겔프 만) 시행을 시작으로 MENA(Middle East and North Africa) 지역의 신재생에너지 발전에 대한 관심이 증가하였다. 중동의 OPEC(Organization of the Petroleum Exporting Countries, 석유수출국기구) 국가들은 화석연료 소비 보조금을 세계 평균 이상으로 제공하여¹ 가솔린, 디젤의 가격이 세계에서 제일 낮으며 석유관련 제품의 가격 또한 국제 시장 평균 가격보다 낮은 편이다(IEA, 2013: 506). 전 세계에서 가장 많은 원유를 생산하는 지역으로서 원유 소비를 촉진하기 위해 막대한 보조금을 부과하지만 중동 국가들의 정부에서는 점차적으로 우려를 나타내고 있다. 이란에서는 2010년 보조금 개혁으로 가정과 산업 분야의 보조금을 점차적으로 줄여나갈 것을 선언하였으며, 사우디아라비아에서는 에너지 효율성 향상 및 에너지원 다양화-천연가스, 신재생에너지 발전 등-에 노력을 다하고 있는 상황이다. UAE에서는 그린경제정책의 일환으로 마스다르시를 탄소 중립적 녹색 도시로, 쿠웨이트에서는 친환경 녹색 기술을 바탕으로 카비르시를 구축하고 있다(이경희, 2009: 137).

¹ 적게는 500 \$/capita, 많게는 1500 \$/capita 이상

III. 연구논단

전 세계적으로 신재생에너지에 대한 투자는 증가하고 있으며 MENA 지역에서도 동일한 현상을 보이고 있다. MENA 지역의 경우 상대적으로 투자액은 적으나 연간 투자액 증가율은 급상승하고 있다(표 1).

표 1. 세계 신재생에너지 투자 현황

(Unit : billion \$, %)

	2004	2006	2008	2010	2012	'11-'12 Growth	'04-'12 CAGR
United States	5.7	28.2	36.2	34.6	36	-34%	26%
Brazil	0.5	4.2	12.5	7.9	5.4	-37%	34%
AMER(excl. US & Brazil)	1.4	3.4	5.6	11.5	9.5	14%	27%
Europe	16.6	38.4	72.9	101.3	79.9	29%	19%
MENA	0.6	1.2	2.7	5.0	11.5	228%	46%
China	2.6	10.2	25	40	66.6	22%	50%
India	2.4	5.5	5.2	8.7	6.5	-50%	13%
ASOC(excl. China & India)	6.7	8.9	11.5	18.1	29	22%	20%
Total	39.6	100	171.7	227.2	244.4	-12%	26%

출처: UNEP(2013), p.16

현 상황에 대한 원인으로는 늘어가는 인구와 전기 수요의 급격한 증가, 그리고 제한된 자원을 대체하기 위한 새로운 투자 등의 에너지 안보 및 경제적 이유 등 다양하다(Al-Saleh et al., 2008; Alnaser, 2011; Reiche, 2010; Mason and Mor, 2008). 신재생에너지 기술의 발전으로 발전 비용이 상당히 감소됨에 따라² 보조금을 더한 화석연료 발전보다 경제적인 면에서 매력적으로 느끼게 되었다. 게다가 대규모의 신재생에너지 발전의 경우 상당한 고용 기회를 제공하여 늘어나는 인구에 대한 사회적 안정성(stability)을 제공할 수 있다. 뿐만 아니라 화석연료와는 다르게 신재생에너지원은 이산화탄소 및 다른 온실가스를 방출하지 않기 때문에 기후변화에 취약한 MENA 지역에 이점을 제공할 수 있다(IFC, 2001: 3). 즉, 신재생에너지는 에너지 부문의 온실가스 배출을 줄여줄 뿐 아니라, 에너지 접근성 확대, 에너지안보 강화, 보건/교육/성평등 개선 촉진³, 일자리 창출, 화석연료보조금에 대한 의존도를 낮추는 등 부수적인 이득을 제공함으로써 사회, 정치, 경제적 성장의 중요한 동력이 될 수 있다(REN 21, 2013: 93).

본 연구는 OPEC 회원국을 대상으로 그들이 원유 가격을 조절함으로써 신기술로 인한 대체에너지의 상용화 및 공급 시점을 최대한 늦추려고 함에도 불구하고 왜 신재생에너지 발전에 투자하는지, 그리고 이러한 요인이 신재생에너지 발전에 대해 어떻게, 얼마만큼 작용하는지를 알아보고자 한다.

2 불룸버그에 따르면 (New Energy Finance) utility 규모의 태양광 발전 설치비용이 2010년 이후로 40% 이상 하락하였고 풍력 터빈의 가격 또한 감소하였다.

3 신재생에너지에 대한 보조금을 잘 고안하면 보건향상, 고용기회, 에너지접근성과 같은 안보 같은 장기적인 경제, 환경상의 편익으로 이어질 수 있다.

2. 선행연구 검토

MENA 지역의 신재생에너지 발전 원인에 관한 연구는 국내에서는 아직 수행된 바 없으나 국외에서는 몇 연구가 OPEC 회원국에서의 신재생에너지원 투자를 촉진하는 요인에 대해 수행한 바 있다. Romano and Scandurra(2013)는 OPEC 회원국에서의 신재생에너지원 투자를 촉진하는 요인-환경적, 사회경제적-을 1980년부터 2009년까지 자료를 바탕으로 패널분석을 시행하였다.⁴ 신재생에너지 발전량 비중을 기준으로 OPEC 국가를 세 그룹으로 분류하여 분석한 결과, 신재생에너지원 투자와 양의 상관관계를 갖는 변수는 CO₂ 배출량과 GDP, 에너지 집약도 이었으며 음의 상관관계를 갖는 변수는 전기 소비량과 원유 공급량이었다고 상대적으로 가장 크게 영향을 미치는 요인은 GDP와 CO₂ 배출량이었다.

Aslani et al.(2012)은 이란의 사례를 바탕으로 민간 분야의 신재생에너지 투자를 촉진하기 위한 가장 효과적인 수단이 무엇인지 정성적, 정량적 분석을 통하여 살펴보았다. 기술적, 경영·정부정책 및 환경적 지수 데이터를 바탕으로 신재생에너지 발전에 관한 투자 요인으로 비중이 제일 높은 것은 정부 정책과 소비 시장의 구축 및 기술의 효율성이라고 보았다. Reiche(2010)는 GCC 국가들의 에너지 정책을 바탕으로 생태적 근대화의 가능성과 한계점을 분석하였다. 생태적 전환을 통해 post-oil 시대를 준비할 뿐 아니라 기후변화 취약성이 높은 국가군으로 분류되어 기후변화를 완화시키기 위한 이유도 있다. 또한 국제사회에서의 최악의 환경오염국의 이미지로부터 벗어나기 위한 전략을 취하고자 하였다. 이를 종합하여 GCC 국가에서의 기후 보호 정책의 추진력을 교토의정서 비준부터 정부의 목표, CDM 사업 등록 및 환경 NGO 활동의 자유까지 분야별로 나누어서 분석하였다. Mason and Mor(2008)는 MENA의 걸프 만 지역에서 신재생에너지에 관심을 보이며 원유 생산으로 재정적 여분을 환원하는 측면에서 경제적 수입원의 다양화를 추구한다고 하였다. 또한 중동 내 비산유국(Morocco, Tunisia, Israel 등)의 경우, 원유와 가스의 높은 가격에 대응하는 기회의 창으로 에너지 안보에 대응하는 정치적인 의미, 새로운 에너지원에 대한 투자와 UN 기후변화 레짐-특히 CDM 관련-으로 신재생에너지원을 개발하려는 움직임을 보이고 있다고 하였다. Al-Saleh et al.(2008)은 전 세계적으로 탄화수소 베이스의 경제구조에서 지속가능한 에너지 형태로 전환하고 있으며 주요 원유 생산국도 마찬가지로의 경향을 보이고 있다고 언급하였다. 전반적으로 이런 노력은 환경적, 에너지 안보, 경제적인 이유로 나타나는데-에너지 안보의 지속화 및 더 건강한 미래 세대를 위한 역할을 위해- 중동의 석유 생산국 중 사우디아라비아의 사례를 바탕으로 Delphi 기술을 바탕으로 에너지 시나리오 분석하였다.⁵

국내 연구의 경우, 이경희(2009)는 중동의 경제를 지배하는 석유 산업이 세계 경제위기가 지속될수록 오일머니가 줄어들어 경제적으로 부정적 영향이 발생하기 때문에 포스트오일 시대를 준비해야 하며 기후변화에 따른 저탄소 사회 구축을 요구하는 시민 사회의 압력으로 대체에너지 개발을 추진하여 그린에너지에 투자하는 현상을 보인다고 하였다. 그러나 구체적으로 신재생에너지 발전원 중 어떤 것에 투자하고 있

4 본 연구에서 환경적 요인으로 사용한 변수로는 에너지 소비에서의 CO₂/capita를, 사회경제적 변수로는 GDP/capita를 이용하였고 이 외에 에너지 집약도, 전기 소비량 및 원유 공급량을 변수로 사용하였다.

5 화석연료의 이용가능성(low-high)과 환경 보호 행동(low-high) 및 신재생에너지의 positive/negative perception 등 총 8개의 시나리오에 따라 적합한 신재생에너지 발전원과 온실가스 배출 감소 및 원유 소비량 감소 등의 결과를 시뮬레이션함

III. 연구논단

는지 보다는 녹색도시를 비롯한 전체적인 녹색기술에 초점을 둔 한계를 지니고 있다. 또한 김연주 외(2010)는 기후변화 취약성 및 환경 관련 지수⁶의 방법론을 정리하였으며, 기후변화 관련 지수를 통해 우리나라의 취약 부문을 파악, 지수 분석 결과를 바탕으로 기후변화 적응역량 제고방안을 도출하였다. 위 연구를 바탕으로 환경 관련 지수를 어떻게 활용할 수 있을지 참고하였다.

본 연구에서는 신재생에너지 도입에 관한 요인 분석 도출을 위해 위 연구들을 바탕으로 투자 요인으로서 환경적, 경제적, 사회적 지수를 이용하고자 하였다.

3. 연구 설계

3.1 분석대상

MENA 지역의 국가⁷ 중에서 OPEC 회원국인 알제리, 이란, 이라크, 쿠웨이트, 리비아, 카타르, 사우디아라비아, 아랍 에미리트를 대상으로 분석하였다.⁸

3.2 분석범위

3.2.1 내부 정책

정책의 경우 대표적으로 발전차액지원제도(Feed in tariff: FIT), 의무할당제도(Renewables Portfolio Standard: RPS) 등의 규제정책과 재정적 인센티브를 제공하는 보조금 및 세금상의 우대(투자 및 생산, 판매, 에너지세, 탄소세, VAT 등에서의 세금 감면 등)와 공공경쟁입찰제도 등 다양하게 시행되고 있다. 신재생에너지 관련 정책의 시행 정도에 따라 국가를 두 그룹으로 나눌 수 있다.⁹ 신재생에너지 관련 정책의 경우 타 지역의 국가에 비해 적극적인 양상을 보이지 않고 있으나 최근 기후변화와 관련된 국제정치적인 면이 부각되어 효과적인 신재생에너지 정책 형성의 필요성이 대두되고 있다(AI-Amir et al., 2013).

6 기후변화 취약성-탄력성 지표(Vulnerability-Resilience Indicator: VRI, 2006), 환경취약성지수(Environmental Vulnerability Index: EVI), 환경지속성지수(Environmental Sustainability Index: ESI, 2005), 환경성과지수(Environmental Performance Index:EPI, 2010)

7 20개 국 - 알제리, 바레인, 이집트, 요르단, 이란, 이라크, 이스라엘, 쿠웨이트, 레바논, 리비아, 모로코, 오만, 팔레스타인, 카타르, 사우디아라비아, 시리아, 튀니지, 터키, 아랍 에미리트, 예멘

8 상기 국가들은 NOEC(Net Oil Export Countries)라고도 불린다.

9 정성적 데이터를 정량적으로 기준을 두기 모호하여 본 논문에서는 분석 지표로 사용하지 않는다.

표 2. MENA OPEC 국가의 신재생에너지 관련 정책

국가	FIT	RPS	세금공제	에너지생산 지불금	R&D투자, 대출, 보조금	공공경쟁 입찰제도
Algeria	0		0			0
Iran	0	0	0	0	0	0
Iraq						
Kuwait					0	0
Libya			0			
Qatar					0	
Saudi Arabia	△(검토중)				0	0
UAE ¹⁰	△(검토중)	0	0	0	0	0

출처: REN 21(2013), p.17

3.2.2 설치 현황

2013년 4월 기준, MENA 지역에서 총 7.5 GW의 106개 프로젝트가 진행 중이다(REN 21, 2013: 6). 프로젝트와 관련하여 사업 수, R&D 투자액, 사업 보조금, 예산 편성, FUND 등 다양한 지표가 존재하나, 본 연구에서는 2013년 기준 신재생에너지 발전 현황을 중심으로 비교하였다. 각 나라의 GDP 및 인구수로 인해 신재생에너지 발전 용량에 영향을 미칠 수 있어 같은 기준으로 비교하기 위해 일인당 신재생에너지 설치 용량(MW/population) 및 전력 발전에서의 신재생에너지 발전량(%)을 기준으로 비교하였다.¹¹

3.2.3 발전 목표

신재생에너지의 목표치는 여러 가지 형태를 띠는데 이 중에서 가장 일반적인 형태는 전력 생산에서의 재생에너지가 차지하는 비중을 늘리는 것이다. 그 외에도 1차 에너지와 최종에너지, 열 공급, 수송연료 내 재생에너지의 비중이나 특정 재생에너지 기술의 설비용량, 또는 운전용량 등을 목표치로 잡기도 한다. 목표치는 특정 목표연도를 설정하는 것이 일반적이지만, 몇 년의 목표기간을 설정하거나 아예 목표연도를 명시하는 경우도 있다(REN 21, 2013: 94). MENA 지역의 경우 신재생에너지 발전량이 2013년 기준 0.62 TW(Terawatt)로 다른 발전원과 비교했을 때 상대적으로 아주 작은 값을 보일 뿐더러, 각 국가별로 미래 발전량에 관한 정확한 데이터 수집이 어렵기 때문에 발전 목표는 분석대상에서 제외하고자 한다.

10 UAE의 경우 신재생에너지 관련 정책은 모두 주/지방 수준으로 시행되고 있다.(Abu Dhabi, Dubai)

11 전력에서의 신재생에너지 발전량의 경우 정확한 수치를 나타낸 보고서가 부재하여 기존 설치량을 기준으로 예상 발전량을 계산하였다. (계산 추정 과정은 appendix 참조)

Ⅲ. 연구논단

표 3. MENA OPEC 국가의 신재생에너지 발전 목표(2020년까지)

(Unit : MW)

국가	share of electricity	Solar PV	CSP	Wind	Geothermal waste	Total
Algeria	15%	946	1500	270		2601
Iraq (~'16년)	2%	240	80	80		400
Kuwait (~'30년)	15%	3500	1100	3100		7700
Libya	20%	344	125	600		1069
Qatar	2%	1800				1800
Saudi Arabia (~'22년)		6000	11350		6500	23850
UAE ¹²	7%	1500				1500

출처: REN 21(2013), p.18; REN21(2014), pp.122-128

3.3 요인(factors)

일반적으로 MENA 지역의 자연·지리적 조건 상 신재생에너지에 대한 투자의 잠재력은 매우 크며 앞으로 더욱 증가할 가능성이 있는 것으로 평가되고 있다. 그러나 중동지역에 있어서 신재생에너지 개발과 투자는 단순히 에너지 기술적인 차원을 넘어 사회적, 경제적, 정치적 의미를 내포하므로, 이 지역에서의 신재생에너지 미래를 전망하기 위하여 다차원적 고려가 필요하다(조홍식 외, 2011: 27). Aslani et al.(2012)은 화석연료가 풍부한 중동에서 신재생에너지 발전에 투자하는 것은 비합리적으로 보일 수 있으나, 에너지 소비율, 전기 수요량의 급증 및 탄소 배출량의 증가로 인해 신재생에너지 발전이 필요하다고 언급하였다. 게다가 지방 도시의 실업률이 높아 신재생에너지 발전의 투자는 지역의 고용률을 증가시킬 수 있을 것이라고 보았다. 앞서 언급하였던 선행연구를 바탕으로 설명변수를 환경적, 경제적, 사회적 지수로 분류하여 분석하고자 한다.

3.3.1 환경적 지수

화석연료 연소에서 방출되는 온실가스는 인류의 새로운 위협으로 등장하고 있다. 대기 중 온실가스인 인한 기후변화로 인해 이상기후 현상 등의 환경적인 영향 뿐 아니라 사회경제적으로도 부정적인 영향을 끼친다. IPCC 5차 보고서(2013)에 따르면 지구 평균온도가 산업화 이전 대비 2℃ 이상 상승하는 것을 억제하기 위해서 2100년까지 430~480 ppm 농도를 유지해야 하는 RCP(대표농도경로, Representative Concentration Pathway) 2.6 시나리오가 요구되며, 이를 위해서는 에너지 효율성을 높이고 신재생에너지 지원 등의 청정 에너지원로의 전환이 필수적임을 알 수 있다(Mason and Mor, 2008: 178). 이와 같이 기후변화에 관한 국제적인 압력으로 인한 탄소배출 감소 목적으로 신재생에너지 발전 정책이 진행되는

¹² UAE의 경우 신재생에너지 관련 정책은 모두 주지방 수준으로 시행되고 있다.(Abu Dhabi, Dubai)

지(조홍식 외, 2011; Al-Amir and Abu-Hijleh, 2013) 환경적 영향을 고려한 지수를 통해 알아보고자 한다.¹³

1) 기후 리스크 지수(Global Climate Risk Index: CRI)

1993년부터 2012년까지 Death Toll, Deaths per 100,000 inhabitants, Losses in million US\$ PPP, Losses per GDP in %를 바탕으로 국가들이 태풍, 홍수 및 혹서 등 극한의 기상 이변에 따라 얼마나 영향을 받는 지 그 정도를 분석한 지수이다(Germanwatch, 2014: 19-27).

2) 환경성과지수(Environmental Performance Index: EPI)

환경성과지수는 환경적 이슈에 관해 국가가 얼마나 우선순위를 두고 잘 수행하는 지에 관해 측정된 지수로 크게 두 영역 - 환경 보건과 생태계 지속력-과 20개의 지표로 이루어져 있다(Yale Center for Environmental Law and Policy, 2014).¹⁴

3) ND-GAIN(Notre Dame Global Adaptation Index)¹⁵

취약성은 생태계, 식량, 건강, 인간의 거주, 인프라, 수자원 등 삶을 유지하는 여섯 부분의 취약성을 측정하며 기후 변화에 따른 부정적인 영향에 적응하는 능력과 노출, 민감도를 측정한다.

4) 지속가능경쟁력지수 중 천연자원의 유용성

지속가능경쟁력지수는 부와 환경, 사회통합의 지속성을 갖추기 위한 필수적인 측면을 바탕으로 한 경쟁력 모델로 천연자원의 유용성과 자원 집약도 및 효율성, 지속가능한 혁신, 사회 통합 등 네 영역으로 이루어져 있다. 천연자원의 경우 농경 자원, 생물다양성, 수자원, 오염 등이 지표로 사용되었다(SolAbility, 2013).

5) 지속가능경쟁력지수 중 자원 효율성

자원 집약도 및 효율성 분야는 에너지 효율성, 원자재 집약도, 온실가스 집약도, 폐기물 집약도 및 수자원 효율성으로 이루어져 있다.

3.3.2 경제적 지수

인구 성장으로 인한 담수화 수요 증가 및 산업화로 인한 경제 성장에 따라 MENA 지역에서의 에너지 수요가 급격히 증가하고 있으며 이는 국내의 사용하지 않은 에너지원, 즉 신재생에너지원에 투자로 이어진다(Squire Sanders, 2013; REN 21, 2013). 이경희(2009)에 따르면 세계 에너지 수요에 맞춰 MENA에서는 지역적으로 풍부한 자원을 보유하여 경제적 수단으로서 원유 수출로 벌어들인 오일머니를

13 기후변화성과지수, 기후변화 취약성 지수를 고려하였으나 연속형 자료가 아닌 1-5까지의 척도를 나타내는 범주형 데이터로 본 연구에서는 제외하기로 한다.

14 건강 영향, 대기질, 수질관련 위생, 수자원, 농업, 임업, 어업, 생물다양성 및 기후와 에너지 등 총 9개의 중분류로 되어있으며 20개의 지표에 대한 설명은 생략하기로 한다.

15 ND-GAIN은 기후변화에 따른 취약성과 회복을 위한 준비가 되어 있는 상태가 어느 정도 인지를 나타낸다.

Ⅲ. 연구논단

신재생에너지 발전에 투자함을 알 수 있다. 석유산업에서의 경제적 의존도가 높을 경우 국제유가 변동 및 원유 생산량에 따라 국가경제 전반에 걸쳐 상당한 영향을 주기 때문에 산업의 다각화 차원에서의 경제적으로 접근할 수 있다(조홍식 외, 2011; Al-Amir and Abu-Hijleh, 2013). 최근에는 셰일가스 및 오일의 개발로 인해 국제유가가 하락하는 추세를 보이며 이런 상황이 지속될 경우 석유수출국에는 막대한 재정수입 하락의 타격을 받을 수 있다. 또 지나친 유류보조금으로 인해 국가 재정에 큰 부담으로 작용할 수 있는데 사우디아라비아의 경우 국제 유가와 국내 유가 간의 가격 격차 및 국내 유류 소비량 증가로 인해 연간 80억 달러 상당의 유류보조금을 지급하였다. 즉 장기적으로 보았을 때 에너지원을 다양화하여 신사업 창출의 경제적인 이익을 위해 신재생에너지원을 개발하는지 알아보려고 한다.

- 1) 원유 수출량
- 2) 원유 생산량 대비 수출량 비중(%)
- 3) 전체 산업체계에서의 에너지 산업 비중(%)
- 4) 총 수출 대비 원유 수출 비중(%)
- 5) 재정수입 중 원유 수출로 인한 수입 비중(%) : 재정수입 중 원유 수출로 인한 수입 비중이 높음은 국가의 경제가 원유 수출에 의존함을 의미한다.
- 6) 지속가능경쟁력지수 중 지속가능 혁신 및 경제 : 지속가능 혁신 및 경제 분야는 교육, R&D, 경제, 경영 환경, 인프라 등이 지표로 사용되었다.

3.3.3 사회적 지수

사회적 개방성이 증가됨에 따라 정책에서의 대안이 되는 환경 및 에너지 안보 구상의 가능성이 높아지며 이러한 개념은 지역적인 환경 집단에 의해 더욱 촉진된다. 게다가 국제적 및 시민 사회 협력은 에너지와 환경 안보를 획득하는 데 필수적이라는 메시지를 강화한다(Mason and Mor, 2008: 17; Müller-Kraenner, 2008). 즉, 정치적으로는 정당에서의 녹색당의 존재, 행정상의 책임, 국제적 의무 및 시민 사회의 인식 등이 신재생에너지 발전에 영향을 끼치는 요인으로 작용할 수 있다(Al-Amir and Abu-Hijleh, 2013). 게다가 신재생에너지에 대한 투자는 사회경제적으로 지역 내의 일자리 창출, 인프라 창출로 이어져 고용률을 증가시킬 수 있다는 기대감과 지역발전 균형 등 긍정적인 결과를 초래할 수 있다(Al-Amir and Abu-Hijleh, 2013; Squire Sanders, 2013). 즉, 국제적으로는 국가 이미지 제고의 기회와 국제적 압력으로 인한 정치적 의지로, 국내적으로는 지도자의 정치 성향 변화와 NGO 등 시민 사회의 힘이 신재생에너지 발전에 영향을 끼치는지 보고자 한다.

- 1) ND-GAIN - Readiness : 준비 정도는 사회적 적응 정책의 이행 및 흡수 속도와 효율성에 영향을 미치는 경제, 정부 및 사회적 부분으로 이루어져 있다.
- 2) ND-GAIN - Vulnerability : 환경적 요인에서 다루었던 취약성과는 다른 지표인 노출, 민감도, 적응 능력으로 이루어져 있다.

- 3) 지속가능경쟁력지수 중 사회통합 : 사회통합 분야는 건강, 평등, 범죄, 자유, 나이 구조 등의 지표로 이루어져 있다.
- 4) Unemployment

4. 분석 결과

신재생에너지 발전 정책에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 국가별, 지수별 자료를 활용하여 부문별 지수를 바탕으로 SPSS 프로그램을 이용해 산점도 및 상관분석으로 상관관계를 파악하였으며 회귀 분석을 실시하였다.

4.1 산점도

4.1.1 환경적 요인

환경적 요인의 지수를 바탕으로 산점도 그래프를 그려본 결과, 1인당 신재생에너지 설치량과 전력에서의 신재생에너지 비중에서 상관성이 있다고 보이는 분포도는 ND-GAIN 값과 지속가능경쟁력지수에서의 천연자원의 경우로 관찰되었다(그림 1). ND-GAIN의 경우 음(-)의 관계를 보여 지수 값이 높을수록 신재생에너지에 대한 투자는 적은 것으로 보이며, 지속가능경쟁력지수의 천연자원 분야의 경우 양(+)의 관계를 보이지만 ND-GAIN 보다는 상관성이 적게 나타났다. 그러나 산점도의 경우 주관적인 해석이 들어갈 수 있어 일차적으로 상관성을 보이지만 확인하였다.

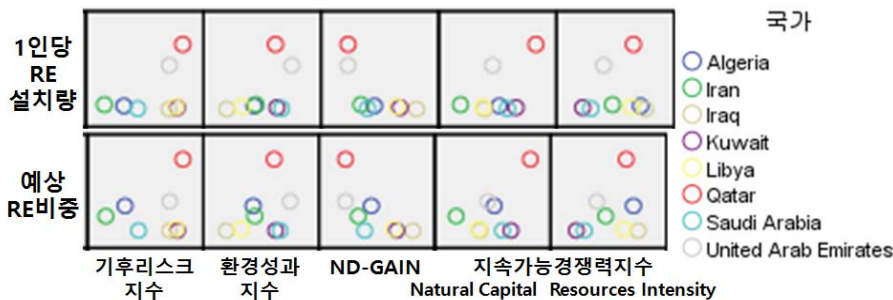


그림 1. 환경적 지수와 신재생에너지 발전과의 산점도

Ⅲ. 연구논단

4.1.2 경제적 요인

경제적 요인의 산점도 결과 어느 변수에서도 상관성을 갖지 않았다(그림 2).

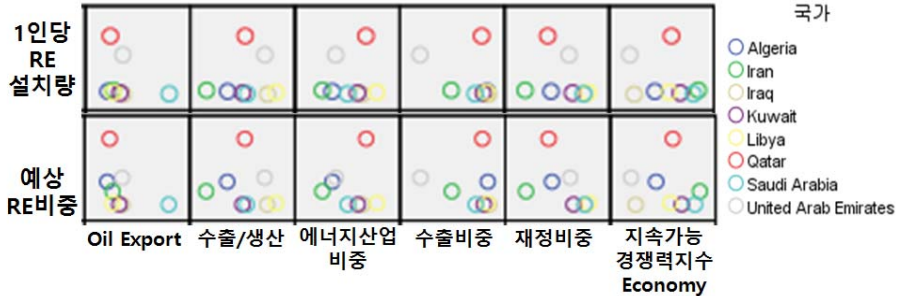


그림 2. 경제적 지수와 신재생에너지 발전과의 산점도

4.1.3 사회적 요인

ND-GAIN의 사회적 지수 중 취약성 지표와 실업률은 신재생에너지 발전량과 음(-)의 상관관계를 보였고, 지속가능경쟁력지수의 사회 통합부분은 양(+)의 상관관계를 나타내었다. 앞서 말했듯이 산점도 그래프의 경우 자의적인 해석이 나타날 수 있어 단순히 상관성을 보이는지만 확인하고자 하였다.

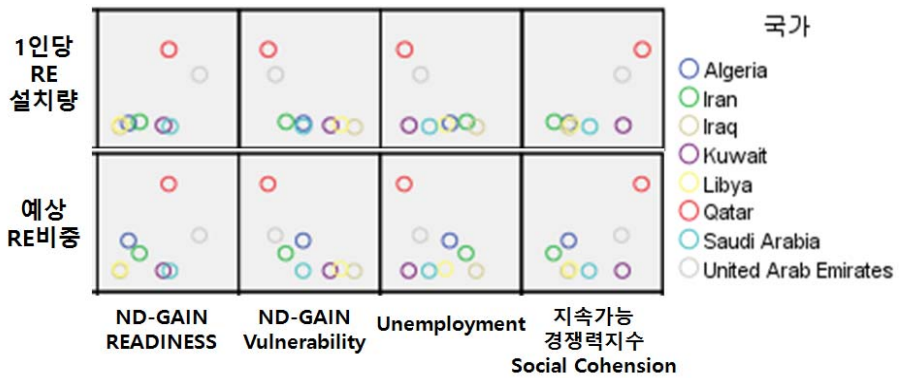


그림 3. 사회적 지수와 신재생에너지 발전과의 산점도

4.2 상관분석(자세한 상관분석 결과는 appendix를 참조)

환경적, 경제적, 사회적 요인의 지수와 신재생에너지 발전 투자와의 상관분석 결과, 환경적 요인에서는 ND-GAIN이, 사회적 요인에서는 ND-GAIN의 취약성 지표와 지속가능경쟁력지수의 사회통합 지표가 유의미함을 보였다(표 4). 이는 산점도에서 나타난 그래프의 형태와 유사하였으며, 설명변수의 세 분야에서는 사회적 지수가 가장 크게 상관정도가 있음을 보였다. 환경적 지수에서의 ND-GAIN의 상관계수가

음(-)의 값을 나타냄은 환경적 취약성이 클수록(ND-GAIN 값이 클수록) 신재생에너지 발전이 상대적으로 적게 이루어짐을 나타내며 사회적 취약성의 경우에서도 마찬가지임을 보인다. 반면 지속가능경쟁력지수의 사회통합 부분에서는 양(+)의 상관관계가 나타났는데 이를 통해 취약성이 낮은 국가-환경적, 사회적으로 인프라가 비교적 잘 구축된 국가-에서 신재생에너지 발전이 상대적으로 적극적으로 진행됨을 알 수 있다.

표 4. 지수별 신재생에너지 발전 투자와의 상관분석 결과

분야	지수	Pearson 상관계수	유의확률(양쪽)
환경적	ND-GAIN	-.710	0.049
사회적	ND-GAIN: Vulnerability	-.762	0.028
	지속가능경쟁력지수 - social cohesion	.756	0.03

5. 결론

MENA 지역 국가들의 전력 수요가 2005년에서 2009년 동안 연간 3.15%씩 증가하여 세계 평균보다 높은 수치를 보이고 있음에 따라 기존 화석연료에 의존한 발전에 한계를 느껴 산유국에서도 신재생에너지 개발 프로젝트가 진행되고 있다(Alnaser, 2011). 산유국의 신재생에너지 발전 원인으로 장기적인 화석 연료의 고갈과 온실가스 배출량 감축 및 선진국에서의 spillover 영향 등과 관련이 있다는 연구가 수행되어 왔으나 각 요인별 지수와 연관하여 설명한 연구는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 MENA 지역 OPEC 회원국을 대상의 신재생에너지 발전 현황을 바탕으로 환경적, 경제적, 사회적 요인들이 어떻게, 얼마나 영향을 끼치는지 각 요인별 지수를 통해 알아보고자 하였다.

분석 결과 신재생에너지 발전에 가장 크게 영향을 끼치는 것은 사회적 요인이었으며, 그 중에서도 가장 관계가 있는 지표로는 ND-GAIN의 취약성 지표로 나타났다. 취약성 지표는 삶을 유지하는 데 필요한 식, 음, 건강, 생태계, 서식지 및 인프라를 고려하여, 기후변화의 부정적인 영향에 적응하기 위한 수용능력과 국가의 노출 및 민감도로 구성되어 있기 때문에 분석 결과에 따르면 기후변화에 취약한 국가보다는 안정된 국가에서 신재생에너지 발전이 적극적으로 이루어진다는 것을 의미한다. 사회적 취약성이 낮을수록, 즉 사회적 인프라가 잘 구축되어 있을수록 신재생에너지 발전을 진행한다는 분석 결과에 따라 중동 산유국에서 신재생에너지 발전에 투자하는 원인이 필수적이기보다는 선택적인 옵션으로 작용함을 알 수 있다.

그러나 본 연구의 경우 각 요인별 설명변수에 비해 비교하고자 하는 대상국의 수가 적어(N = 8) 상관분석 시 유의성을 갖지 않은 변수가 대부분으로 error가 발생하였다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 설명변수를 각 category 별로 그룹화 한 후에 종속변수와의 연관성을 파악하는 방법이 있으며¹⁶ 또한

III. 연구논단

비교 국가 간의 신재생에너지 발전량 차이가 크지 않기 때문에 발전 현황에 따라 국가를 그룹화 한 후에 비교하는 방법을 사용할 수 있을 것이다. 향후 본 연구에 이어 유사한 설명변수 - 환경적, 경제적, 사회적 지수-를 바탕으로 MENA 지역 내 산유국과 비산유국¹⁷간의 신재생에너지 발전 차이에 따른 원인 분석 및 MENA 지역 외 산유국과의 비교(미국, 러시아, 중국, 노르웨이 등 MENA 지역 국가보다 에너지 집약도가 낮고 에너지원 다양성이 높은 국가)에 관한 연구도 수행되기를 바란다.

참고문헌

- 김연주 외 3인. 2010. 『기후변화 취약성 지수분석을 통한 국가적응역량 제고방안 모색』. KEI 정책보고서 2010-14
- 이경희. 2009. “글로벌 경제위기하에서 중동의 에너지 산업 변화.” 『국제금융위험관리』 10(2): 127-149
- 조홍식 외 7인. 2011. 『한국과 중국·북아프리카의 신재생에너지 분야 협력방안 연구』. 대외경제정책연구원
- Al-Amir, J. and B. Abu-Hijleh. 2013. “Strategies and policies from promoting the use of renewable energy resource in the UAE.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26: 660-667
- Alnaser, W.E. and N.W. Alnaser. 2011. “The status of renewable energy in the GCC countries.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 3074-3098
- Al-Saleh, Y., P. Upham and K. Malik. 2008. “Renewable Energy Scenarios for the Kingdom of Saudi Arabia.” *Tyndall Centre for Climate Change Research*, Working Paper 125
- Aslani, A., M. Naaranoja and B. Zakeri. 2012. “The prime criteria for private sector participation in renewable energy investment in the Middle East (case study: Iran).” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 1977-1987
- Babiker, M.H. and M.A. Fehaid. 2011. “Climate change policy in the MENA region: prospects, challenges, and the implication of market instruments.” *Economic Research Forum*, Working paper No. 588
- IEA. 2013. *World Energy Outlook 2013*
- IFC. 2001. *IFC Knowledge series in MENA*, issue 5
- Mason, M. and A. Mor. 2008. *Renewable Energy in the Middle East*. London, UK: Springer
- Reiche, D. 2010. “Energy Policies of Gulf Cooperation Council (GCC) countries — possibilities and limitations of ecological modernization in rentier states.” *Energy Policy*, 38: 2395-2403
- REN 21. 2013. *MENA Renewables Status Report*.
- REN 21. 2014. *Renewables Global Status Report*.
- Romano, A.A. and G. Scandurra. 2013. “Investments in renewable energy sources in OPEC members: a dynamic panel approach.” *Munich Personal RePEc Archive Paper No. 50870*(23): 1-11.
- Squire Sanders. 2013. *The Future for Renewable Energy in the MENA Region*

16 예를 들어 환경적 요인, 경제적 요인, 사회적 요인의 대표 지수가 모두 높은 그룹, 환경적 요인, 경제적 요인, 사회적 요인의 대표 지수가 모두 낮은 그룹 등
17 모로코, 이집트, 알제리의 경우 신재생에너지 발전 적극적으로 진행

Appendix I. 종속변수

국가	1인당 RE 설치량 (MW/million people)	예상 RE 비중(%)	설치량
Algeria	1.094	0.189%	60
Iran	1.470	0.111%	112.3
Iraq	0.107	0.001%	3.5
Kuwait	0.554	0.003%	1.8
Libya	0.779	0.014%	4.8
Qatar	20.098	0.540%	41.2
Saudi Arabia	0.247	0.002%	7
United Arab Emirates	13.626	0.222%	125.5

※ 예상 발전량 추정식 = 설치 현황 × 신재생에너지 발전원 별 평균 capacity factor(%) × 24hours × 365day

※ 신재생에너지 설치 현황(MW)

국가	Total	Solar PV	CSP	Wind	Biomass& waste	Hydro
Algeria	288	25	25	10		228
Iran	9612.3	4.3	17	91		9500
Iraq	1867.5	3.5				1864
Kuwait	1.8	1.8				
Libya	4.8	4.8				
Qatar	41.2	1.2			40	
Saudi Arabia	7	7				
United Arab Emirates	125.5	22.5	100		3	

REN 21(2013), MENA status report, p.11, REN21(2014), Global status report, p.75

※ Capacity factor(%) : (REN 21, 2014, p.64)

Renewable energy	Average	U.S.
Solar PV	10-25	22.5
CSP	20-40	24.4
Wind	25-40	36
Biomass	50-90	80
Hydro	30-60	44.2

※ 총 전력 발전량(GWh, 2012)

Algeria	Iran	Iraq	Kuwait	Libya	Qatar	Saudi Arabia	UAE
46280	210350	488310	53760	29580	32620	247900	93670

IEA(2014), Key World Energy Statistics

Ⅲ. 연구논단

Appendix II. 설명변수(지수별 지표 값)

1. 환경적 요인

국가	기후리스크지수	환경성과지수	ND-GAIN	지속가능경쟁력 (natural)	지속가능경쟁력 (resource)
Algeria	89.83	50.08	0.349	35.4	38.3
Iran	61.33	51.08	0.323	26	26.3
Iraq	155.8	33.39	0.431	31.8	40.3
Kuwait	167.5	63.94	0.399	39.5	13.6
Libya	165.5	42.75	0.393	31.5	34.3
Qatar	175.5	63.03	0.298	44.3	35.2
Saudi Arabia	109.8	66.66	0.336	37.4	17.1
United Arab Emirates	156	72.91	0.298	33.8	22.5

2. 경제적 요인

국가	Oil 수출량	Oil 수출 /생산(%)	에너지산업 비중	수출비중	재정비중	지속가능경쟁력 -경제
Algeria	36,986	54.76%	34.7	98.47%	65.17%	36.1
Iran	66,679	40.45%	27.9	64.18%	44.00%	45
Iraq	119,828	81.89%	55	99.68%	92.53%	31.9
Kuwait	102,985	65.16%	52	94.67%	82.81%	41.3
Libya	65,541	87.82%	65	98.07%	95.71%	39
Qatar	50,392	66.75%	57.7	93.19%	62.47%	39.5
Saudi Arabia	371,346	67.93%	45.1	86.89%	91.77%	44
United Arab Emirates	118,460	80.19%	37	34.38%	79.99%	31

3. 사회적 요인

국가	ND-GAIN (readiness)	ND-GAIN (vulnerability)	실업률	지속가능경쟁력 -social
Algeria	0.35	0.34967	9.8	37.9
Iran	0.405	0.32167	13.1	33.3
Iraq	0.306	0.43233	15.1	37.7
Kuwait	0.526	0.39367	1.5	54.2
Libya	0.308	0.41	8.9	38.4
Qatar	0.553	0.293	0.6	60
Saudi Arabia	0.559	0.34967	5.6	44.1
United Arab Emirates	0.708	0.30467	3.8	53.9

Appendix III. 상관분석 결과

상관계수	1인당RE 설치량			예상RE비중		
	Pearson 상관계수	유의확률 (양쪽)	N	Pearson 상관계수	유의확률 (양쪽)	N
기후리스크지수	.427	.292	8	.183	.664	8
환경성과지수	.516	.190	8	.361	.380	8
NDGAIN	-.699	.054	8	-.710*	.049	8
지속가능경쟁력 natural	.531	.176	8	.529	.178	8
지속가능경쟁력 resource	.105	.804	8	.303	.466	8
Oil 수출량	-.250	.550	8	-.399	.327	8
Oil 수출/생산	.116	.784	8	-.167	.693	8
에너지산업비중	.090	.832	8	-.024	.956	8
수출비중	-.382	.350	8	-.164	.698	8
재정비중	-.290	.486	8	-.531	.175	8
지속가능경쟁력경제	-.257	.538	8	-.120	.777	8
NDGAIN readiness	.618	.102	8	.381	.351	8
NDGAIN vulnerability	-.727*	.041	8	-.762*	.028	8
실업률	-.605	.112	8	-.473	.236	8
지속가능경쟁력 social	.756*	.030	8	.581	.131	8

** . 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의

* . 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의

소양강 수력발전소 연간발전량 재산정 조사 연구

임 선택 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

The Re-calculation Study on Annual-Generation of the Soyang-River Hydropower-Plant

Suntaik Lim | M.S. Candidate, Green School, Korea University

초록

최근 기후변화로 인해 댐 방류량의 연도별 변동폭이 확대되고 있다. 우리나라는 기본적 물관리 여건이 불리한 상황에서 최근 강수량의 편차가 더욱 커지고 있다. 과거 5-10년 주기의 가뭄이 '90년 이후 2-3년 주기로 자주 발생하고 있으며 연 강수량의 편차(최소 787 mm, 최대 2,204 mm)도 증대되고 있는 실정이다. 또한 발전소 설계 시의 유입량과 실제 운영 유입량의 차이로 인해 연간발전량과 기준발전량의 차이가 발생하고 있다. 소양강 수력의 경우 예년 평균 발전량은 409 GWh이나 기준발전량은 353 GWh이다. 발전소의 기준발전량은 연간발전사업계획을 수립하는 기초자료이므로 신뢰성 있는 계획을 수립하기 위해서는 기후변화를 고려한 기준발전량 재산정이 필요하다.

1. 발전량과 저수지 운영 기법

다목적댐은 용수 공급, 발전, 홍수 조절의 목적으로 방류량을 결정하는데 각 목적의 방류는 여러 입력 자료와 조건을 필요로 한다. 복잡한 입력 자료와 조건 아래서 다목적댐의 방류량을 결정하기 위하여 컴퓨터 프로그램을 사용한다. 저수지 운영 기법은 보통 모의(simulation) 기법과 최적화(optimization) 기법으로 분류된다. 모의 기법은 저수지군의 복잡한 구조와 구성 요소를 다룰 수 있고 저수지군의 시간에 따라 변화하는 특성을 실제에 가깝게 나타낼 수 있다. 그러나 이로부터 최적의 대안이 찾아진다고 보장할 수는 없다. 모의 기법의 저수지 운영에서는 주어진 운영 규칙(operation rules)과 유입량 계열로 방류량을 구하고, 이에 따라 발전량이 산정된다. 최적화 기법은 저수지 체계를 최적화의 수학적 틀에 맞추어 표현하기 위하여 모의 기법보다 훨씬 많은 가정과 간략화를 도입한다. 최적화 기법에서는 주어진 제약조건(constraints) 아래서 용수공급량과 발전 등의 편익을 최대화하도록 방류량을 구하고, 이에 따라 발전량이 산정된다.

1.1 연간발전량 재산정 흐름

연간발전량을 재산정하기 위해서는 댐 운영환경 분석, 발전설비 제원 조사, 발전 사용 수량 분석을 하고 저수지 모의운영 프로그램(HEC-ReSim)을 사용한다. 즉, 발전소 준공 이후 댐 유입량, 강수량 등을 분석하여 댐의 수위 변화 및 운영 조건을 분석하고, 발전설비의 제원 및 설비 노후도를 조사하여 발전설

비의 효율 및 출력 변화를 분석한다. 발전 사용 수량의 변동 현황을 조사하여 계절별, 연도별 특성을 분석한 후 저수지 모의운영 프로그램(HEC-ResSim)에 적용하여 연간발전량을 산정한다.

2. 소양강수력 연간발전량 재산정

2.1 연간발전량 현황

소양강 다목적댐은 발전 및 용수 공급 목적으로 건설되었다. 댐계획 및 건설 시('67~'73년) 강수량, 유입량, 방류량 등의 자료를 현재 댐 운영 실적자료와 비교해 보면 많은 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다. 강수량은 댐 설계시 1,093.7 mm로 계획하였으나, 준공이후 실적은 1,224.7 mm이고, 댐 유입량은 설계시 666.9 m³/s로 계획하였으나, 준공 이후 운영실적은 838.5 m³/s이다. 이러한 댐 운영환경은 수력발전소의 운영 실적에도 많은 영향을 주게 된다. 수력발전소의 연간발전량은 댐 건설 계획 시 발전 사용 수량에 의해서 결정되므로, 준공 이후 발전소의 운영환경 변화는 연간발전량의 변화를 수반하게 된다. 연간발전량은 353백만 kWh이나 준공 이후 37년 간('74~'10년) 실적 발전량은 표 1에서 보는 바와 같이 457백만 kWh로 연간발전량 대비 129% 수준이고, 준공 이후 10년 간('01~'10년) 연간발전량은 353백만 kWh이나 실적 발전량은 502백만 kWh로 연간발전량 대비 약 142% 수준이다.

표 1. 소양강 수력발전소 연간발전량 및 실적 발전량

(단위: 백만kWh, %)

구분	5년평균	10년평균	15년평균	20년평균	37년평균
연간발전량	353	353	353	353	353
실적발전량	502	508	502	485	457
대 비	142.2	143.9	142.2	137.4	129.4
기간	'06~'10	'01~'10	'96~'10	'91~'10	'74~'10

출처: 1) 건설부, 산업기지개발공사(1974). "소양강다목적댐 공사지"
2) K-Water(2011). "2010년 발전사업통계"

2.2 댐 운영환경 분석

2.2.1 강수량 실적 분석

소양강댐 설계 시의 강수량은 1,093.7 mm이나, 약 37년 간('74~'10년)의 연평균 강수량은 최소 775.1 mm ~ 최대 2,017.7 mm로 변동성이 매우 크며 준공 이후 실적(1,224.7 mm)은 설계 대비 약 112% 수준으로 분석되었다. 최근 10년('01~'10년) 동안 강수량은 1,335 mm로 준공 초기('81~'90년) 10년 간 평균 1,096 mm에 비해 약 18%(239 mm) 증가하였다. 2010년까지 5년 간의 평균 강수량은 지속적으로 증가하는 추세를 보였으며, 1990년대 중반 이후 1,300 mm 이상을 나타내고 있다.

Ⅲ. 연구논단

표 2. 소양강댐 강수량 분석

(단위: mm, %)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
설계시	20.4	21.1	32.7	68.7	86.7	110.4	313.5	233.6	107.6	36.9	38.7	23.4	1,093.7
실 적	17.9	23.7	39.8	72.2	94.1	127.1	307.6	291.2	147.1	43.8	39.8	20.4	1,224.7
대 비	87.5	112.1	121.7	105.1	108.6	115.1	98.1	124.6	136.7	118.8	102.9	87.1	112.0

출처: 1) 건설부, 산업기지개발공사(1974), "소양강다목적댐 공사지"
 2) K-Water(2010), "댐운영 실무편람"; 댐통합정보시스템

2.2.2 유입량 실적 분석

소양강댐 설계 시의 유입량은 667 m³/s으로 준공 이후 실적(839 m³/s)에 비하여 약 126% 수준이다. 연도별 유입량 분석 결과, 6~7년 주기로 홍수 및 가뭄이 심해짐을 알 수 있다. 건설 초기('74~'83, 10년)와 최근 유입량('01~'10, 10년)을 비교·분석한 결과, 이수기는 건설 초기에, 홍수기는 최근의 유입량이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 설계 시 산정되었던 유입량보다 실적유입량이 높음을 알 수 있다.

표 3. 소양강댐 유입량 분석

(단위: m³/s, %)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
설계시	12.3	13.5	15.8	36.2	37.2	48.4	230.6	157.8	65.2	19.2	17.8	13.7	666.9
실 적	6.2	9.1	28.9	63.6	59.2	54.2	210.5	211.9	133.7	29.7	20.8	10.7	838.5
대 비	50.4	67.1	183.0	175.7	159.1	112.0	91.3	134.3	205.1	154.5	116.9	78.4	125.7

출처: 1) 건설부, 산업기지개발공사(1974), "소양강다목적댐 공사지"
 2) K-Water(2010), "댐운영 실무편람"; 댐통합정보시스템

2.2.3 방류량 실적 분석

댐에서의 방류는 발전방류, 생·공용수 공급, 농업용수 공급, 하천유지용수 공급 등의 용수 공급을 위한 이수 목적 방류와 홍수조절 등의 치수 목적을 위한 방류가 있다. 댐의 일차적인 목적은 댐을 이용하여 풍수기의 잉여 수량을 저류하였다가 갈수기에 공급하는 것으로 소양강 다목적댐의 경우 대부분의 방류량은 발전을 통하여 이루어지고 있으며 운영실적은 1974~2010년의 일자료를 조사하여 분석하였다. 소양강댐의 방류량은 생·공용용수, 하천유지용수, 농업용수로 구분되며, 방류량은 모두 발전사용수량으로 사용한다. 표 4는 소양강댐의 방류량을 준공 이후부터 2010년까지 월평균 방류량 및 발전 방류량을 분석한 것이다.

표 4. 소양강댐 방류량 분석

(단위: m³/s)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
댐방류량	61.1	61.3	55.1	51.1	64.4	74.4	69.7	89.0	74.4	58.8	60.6	67.3	65.6

출처: K-Water(2011), "2010년 발전사업통계"

2.2.4 소양강수력 발전현황 분석

소양강댐 수력발전소는 1973년 10월에 상업발전을 개시하였으며, 1990년도에는 713백만 kWh로 최대의 발전을 하였다. 2010년도 수력발전 실적은 약 457백만 kWh에 이르고 있으며, K-water 전체 발전량 1,938백만 kWh의 약 23.4%를 담당하고 있다. 표 5는 소양강댐의 1974년부터 2010년까지의 발전량 실적으로 연평균 발전량은 456.8백만 kWh로 설계당시 연간발전량 353백만 kWh에 비하여 약 129%의 운영 실적을 나타내고 있다. 소양강댐 수력발전소의 이용률은 준공이후 평균 26.1%로 침두부하를 담당하고 있는 것으로 분석되었다.

표 5. 소양강수력 발전량 분석

(단위: 백만 kWh, %)

구 분	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
발전량 ^{주1)}	-	406.3	339.6	426.2	338.4	373.4	555.2	356.8	640.8	436.1	420.7	314.4	497.0
이용율 ^{주2)}	-	23.2	19.4	24.3	19.3	21.3	31.7	20.4	36.6	24.9	24.0	17.9	28.4

구 분	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
발전량 ^{주1)}	381.5	673.9	360.0	360.3	713.0	470.4	450.7	532.4	271.1	446.3	392.6	347.4	513.9
이용율 ^{주2)}	21.8	38.5	20.5	20.6	40.7	26.8	25.7	30.4	15.5	25.5	22.4	19.8	29.3

구 분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	평균
발전량 ^{주1)}	611.3	589.6	335.9	448.9	693.1	615.4	477.1	553.7	542.5	408.1	553.1	453.9	456.8
이용율 ^{주2)}	34.9	33.7	19.2	25.6	39.6	35.1	27.2	31.6	31.0	23.3	31.6	25.9	26.1

주 1) 이용률 = 총발전량(kWh) / (총시설용량(kW)×24(hr)×365(일))

2) 평균은 1974~2010의 37년간의 평균치임.

출처 : K-Water(2011), "2010년 발전사업통계"

Ⅲ. 연구논단

3. 연간발전량 재산정

3.1 댐환경 및 운영자료 분석

연간발전량을 재산정하기 위해 발전소 준공 이후 37년 간('74~'10년) 댐 운영 자료를 조사 분석하였다. 유입량은 저수지 모의운영의 기초자료로서 일별자료를 조사하여 저수지 모의운영 프로그램에 입력하였고, 저수량, 여수로 방류량, 댐 높이, 댐 길이, 계획홍수위, 상시 만수위 등은 댐 제원 자료를 사용하였다.

3.2 발전설비 및 운영자료 조사

저수지 모의운영 프로그램 입력인자인 발전설비의 제원 및 운영자료를 조사 분석하였다. 발전설비의 종합효율은 표 6과 같이 최근 수차 및 발전기의 노후도를 고려한 최근 효율시험 결과를 적용하였다.

표 6. 발전설비 제원

구분	설비용량(mm)	종합효율(%) ^{주1)}	방수위(EL.m) ^{주2)}
소양강수력	200(100×2)	91.55(수차:93.0, 발전기:98.5)	79.28

주 1) 종합효율은 준공 당시에는 91.65%이나, 2000년도 종합 효율시험 결과 91.55% 적용

2) 방수위는 준공이후 평균 방수위 적용

발전량 산정의 기본자료인 발전 사용 수량은 실적 방류량, 기본 공급계획량의 2가지 CASE로 구분하여 표 7과 같이 모의 운영하였다. 실적 방류량은 실제 발전에 사용된 방류량 평균이며, 기본 공급계획량은 월별 댐 용수 공급계획에 의거한 발전방류량(댐 하루 공급량)이다.

표 7. CASE별 발전사용수량

구분	발전사용수량	내용
CASE 1	실적방류량	준공이후 실적방류량 평균
CASE 2	기본공급계획량	월별 계획 발전방류량

CASE 1의 실적방류량은 기간별(5년, 10년, 15년, 20년, 37년)로 구분하여 모의 운영하여 최근 기후 변화에 따른 발전량 변화를 분석하였다.

표 8. CASE별 발전사용수량

(단위: m³/s)

구분	실적방류량(CASE 1)					기본공급계획량 (CASE 2)
	5년평균	10년평균	15년평균	20년평균	37년평균	
1월	49.75	56.76	60.16	61.17	61.09	46.2
2월	42.37	47.83	57.15	58.65	61.33	46.2
3월	51.55	51.40	53.93	54.48	55.08	46.8
4월	59.99	55.19	52.75	54.82	51.14	47.2
5월	79.50	69.22	68.24	67.60	64.42	47.2
6월	85.43	81.08	81.41	82.36	74.38	47.2
7월	82.97	73.73	73.67	68.50	69.72	47.2
8월	127.69	113.18	114.34	100.62	89.04	47.2
9월	68.80	84.32	82.97	78.63	74.38	47.2
10월	59.08	58.71	59.33	59.03	58.82	46.8
11월	63.77	72.22	67.87	63.43	61.26	46.2
12월	62.08	77.07	72.02	69.49	67.39	46.2
평균	69.42	70.06	70.32	68.23	65.67	46.8

Ⅲ. 연구논단

3.3 발전량 모의운영

3.3.1 준공이후(37년) 일별 유입량에 따른 연간발전량 재산정

저수지 운영 프로그램(HEC-ResSim)은 일일 유입량 자료를 입력하고 자체 시뮬레이션 엔진을 이용하여 저수지 모의 운영을 수행한다. 유입량은 소양강댐 준공 이후 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 방류량은 2가지 CASE(실적 방류량, 기본 계획량)로 구분하여 모의 운영하였다.

모의운영 결과 실적 방류량(평균 방류량 65.67 m³/s)에 따른 발전량은 439백만 kWh로 준공 이후(37년) 평균 발전실적(457백만 kWh) 대비 96.0% 수준을 보이고 있으며, 연간발전량(353백만 kWh) 대비 124.3%를 보이고 있다. 기본 계획량(평균 방류량 46.8 m³/s)에 따른 발전량은 425백만 kWh로 준공 이후(37년) 평균 발전실적(457백만 kWh) 대비 93.1% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 120.5%를 보이고 있다. 따라서 준공 이후(37년) 연간발전량 재산정 결과는 표 9와 같으며, 실적 발전량과 가장 유사한 준공 이후(37년) 평균 방류량을 적용한 439백만 kWh로 산정하였다.

표 9. 준공이후(37년) 평균유입량에 따른 발전량

(단위: m³/s, 천kWh)

구분	유입량	방류량		구분	발전량	
		실적방류량	기본계획량		실적방류량	기본계획량
1월	6.2	61.09	46.2	1월	1,172,632	1,064,479
2월	9.1	61.33	46.2	2월	946,178	961,444
3월	28.9	55.08	46.8	3월	952,388	1,043,222
4월	63.6	51.14	47.2	4월	1,036,807	1,013,646
5월	59.2	64.42	47.2	5월	1,287,029	1,062,780
6월	54.2	74.38	47.2	6월	1,201,176	1,127,352
7월	210.5	69.72	47.2	7월	1,703,123	1,829,011
8월	211.9	89.04	47.2	8월	2,045,161	2,368,798
9월	133.7	74.38	47.2	9월	1,823,358	1,942,130
10월	29.7	58.82	46.8	10월	1,349,687	1,147,463
11월	20.8	61.26	46.2	11월	1,371,362	1,082,111
12월	10.7	67.39	46.2	12월	1,344,499	1,097,575
평균	69.9	65.67	46.8	연간발전량	438,741	425,406

3.3.2 20년 일별 유입량에 따른 연간발전량 재산정

20년 간 연간발전량은 소양강댐 준공 이후 20년 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 방류량은 2가지 CASE(실적 방류량, 기본 계획량)로 구분하여 모의운영하였다. 모의운영 결과 실적 방류량(평균 방류량 68.23 m³/s)에 따른 발전량은 472백만 kWh로 20년 평균 발전실적(485백만 kWh) 대비 97.2% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 133.6%를 보이고 있다. 기본 계획량(평균 방류량 46.8 m³/s)에 따른 발전량은 436백만 kWh로 20년 평균 발전실적(485백만 kWh) 대비 89.8% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 123.4%를 보이고 있다. 따라서 20년 간 연간발전량 재산정 결과는 표 10과 같으며, 실적 발전량과 가장 유사한 20년 평균 방류량을 적용한 472백만 kWh로 산정하였다.

표 10. 20년 평균유입량에 따른 발전량

(단위: m³/s, 천kWh)

구분	유입량	방류량		구분	발전량	
		실적방류량	기본계획량		실적방류량	기본계획량
1월	6.9	61.17	46.2	1월	668,423	580,962
2월	8.5	58.65	46.2	2월	537,073	524,515
3월	27.0	54.48	46.8	3월	553,757	571,182
4월	54.0	54.82	47.2	4월	605,953	552,073
5월	61.3	67.60	47.2	5월	780,026	575,028
6월	40.3	82.36	47.2	6월	722,551	577,224
7월	226.5	68.50	47.2	7월	988,670	982,694
8월	247.2	100.62	47.2	8월	1,252,863	1,442,457
9월	118.8	78.63	47.2	9월	981,591	1,085,835
10월	29.6	59.03	46.8	10월	774,325	632,348
11월	19.0	63.43	46.2	11월	798,467	588,508
12월	11.4	69.49	46.2	12월	766,358	596,685
평균	70.9	68.23	46.8	연간발전량	471,503	435,576

Ⅲ. 연구논단

3.3.3 15년 일별 유입량에 따른 연간발전량 재산정

15년 간 연간발전량은 소양강댐 준공 이후 15년 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 방류량은 2가지 CASE(실적 방류량, 기본 계획량)로 구분하여 모의운영하였다. 모의운영 결과, 실적 방류량(평균 방류량 70.32 m³/s)에 따른 발전량은 484백만 kWh로 15년 평균 발전실적(502백만 kWh) 대비 96.4% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 137.1%를 보이고 있다. 기본 계획량(평균 방류량 46.8 m³/s)에 따른 발전량은 440백만 kWh로 15년 평균 발전실적(502백만 kWh) 대비 87.7% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 124.7%를 보이고 있다. 따라서 15년 간 연간발전량 재산정 결과는 표 11과 같으며, 실적 발전량과 가장 유사한 15년 평균 방류량을 적용한 484백만 kWh로 산정하였다.

표 11. 15년 평균유입량 적용에 따른 발전량

(단위: m³/s, 천kWh)

구분	유입량	방류량		구분	발전량	
		실적방류량	기본계획량		실적방류량	기본계획량
1월	6.4	60.16	46.2	1월	496,914	436,346
2월	7.6	57.15	46.2	2월	389,025	391,536
3월	25.1	53.93	46.8	3월	398,505	426,632
4월	52.9	52.75	47.2	4월	384,826	414,161
5월	59.9	68.24	47.2	5월	532,238	431,524
6월	42.1	81.41	47.2	6월	582,924	417,612
7월	245.4	73.67	47.2	7월	674,454	772,914
8월	238.8	114.34	47.2	8월	1,105,818	1,077,742
9월	140.6	82.97	47.2	9월	874,169	855,298
10월	29.6	59.33	46.8	10월	573,821	482,499
11월	18.4	67.87	46.2	11월	606,368	444,986
12월	10.2	72.02	46.2	12월	642,917	450,508
평균	73.1	70.32	46.8	연간발전량	484,132	440,117

3.3.4 10년 일별 유입량에 따른 연간발전량 재산정

10년 간 연간발전량은 소양강댐 준공 이후 10년 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 방류량은 2가지 CASE(실적 방류량, 기본 계획량)로 구분하여 모의운영하였다. 모의운영 결과 실적 방류량(평균 방류량 70.06 m³/s)에 따른 발전량은 483백만 kWh로 10년 평균 발전실적(508백만 kWh) 대비 95.1% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 136.9%를 보이고 있다. 기본 계획량(평균 방류량 46.8 m³/s)에 따른 발전량은 433백만 kWh로 10년 평균 발전실적(508백만 kWh) 대비 85.3% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 122.7%를 보이고 있다. 따라서 10년간 연간발전량 재산정 결과는 표 12와 같으며, 실적 발전량과 가장 유사한 10년 평균 방류량을 적용한 483백만 kWh로 산정하였다.

표 12. 10년 평균유입량에 따른 발전량

(단위: m³/s, 천kWh)

구분	유입량	방류량		구분	발전량	
		실적방류량	기본계획량		실적방류량	기본계획량
1월	5.1	56.76	46.2	1월	297,984	285,691
2월	7.7	47.83	46.2	2월	222,243	256,206
3월	26.9	51.40	46.8	3월	255,568	279,571
4월	53.8	55.19	47.2	4월	270,220	271,415
5월	51.8	69.22	47.2	5월	362,920	282,288
6월	37.6	81.08	47.2	6월	373,201	271,723
7월	281.2	73.73	47.2	7월	475,166	512,848
8월	222.7	113.18	47.2	8월	721,670	670,835
9월	147.9	84.32	47.2	9월	594,884	596,143
10월	28.8	58.71	46.8	10월	376,145	313,181
11월	16.4	72.22	46.2	11월	430,875	293,571
12월	7.2	77.07	46.2	12월	450,727	297,974
평균	73.9	70.06	46.8	연간발전량	483,160	433,145

Ⅲ. 연구논단

3.3.5 5년 일별 유입량에 따른 연간발전량 재산정

5년 간 연간발전량은 소양강댐 준공 이후 5년 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 방류량은 2가지 CASE(실적 방류량, 기본 계획량)로 구분하여 모의운영하였다. 그 결과, 실적 방류량(평균 방류량 69.42 m³/s)에 따른 발전량은 489백만 kWh로 5년 평균 발전실적(502백만 kWh) 대비 97.3% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 138.4%를 보이고 있다. 기본 계획량(평균 방류량 46.8 m³/s)에 따른 발전량은 436백만 kWh로 5년 평균 발전실적(502백만 kWh) 대비 86.9% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만 kWh) 대비 123.6%를 보이고 있다. 5년 간 연간발전량 재산정 결과는 표 13과 같다.

표 13. 5년 평균유입량에 따른 발전량

(단위: m³/s, 천kWh)

구분	유입량	방류량		구분	발전량	
		실적방류량	기본계획량		실적방류량	기본계획량
1월	4.2	49.75	46.2	1월	141,369	139,900
2월	8.1	42.37	46.2	2월	108,572	126,443
3월	28.6	51.55	46.8	3월	140,783	138,008
4월	47.3	59.99	47.2	4월	156,546	133,741
5월	51.7	79.50	47.2	5월	210,760	138,544
6월	41.2	85.43	47.2	6월	214,038	134,679
7월	330.9	82.97	47.2	7월	270,129	273,785
8월	205.0	127.69	47.2	8월	407,195	359,894
9월	135.1	68.80	47.2	9월	218,120	282,272
10월	26.5	59.08	46.8	10월	190,852	157,902
11월	16.5	63.77	46.2	11월	194,272	147,158
12월	7.4	62.08	46.2	12월	190,003	149,415
평균	75.2	69.42	46.8	연간발전량	488,528	436,348

4. 결론

소양강 수력의 연간발전량은 353백만 kWh이나, 준공 이후 발전량 실적은 457백만 kWh로 연간발전량과 차이가 발생하고 있다. 연간발전량 산정에 영향을 미치는 설계 시 강수량이 1,097.3 mm, 유입량은 666.9 m³/s, 준공 이후 강수량은 1,224.7 mm, 유입량이 838.5 m³/s로 변화되는 등 댐 운영환경의 변화로 인하여 연간발전량이 변화하고 있다. 댐 유입량을 5가지 CASE(5년, 10년, 15년, 20년, 37년)로 구분하여 소양강 수력발전소의 연간발전량을 재산정한 결과 실적 방류량에 의해 산정된 모의운영 발전량이 실적 발전량과 가장 근접하게 나타났다. 따라서 유입량 기준은 최근 기후변화 및 과거의 강수패턴을 고려한 최근 10년 간의 유입량을 적용한 연간발전량 483백만 kWh로 재산정함이 타당하다고 판단된다.

표 14. 유입량별 연간발전량 산정 결과

유입량	방류량	발전량(백만kWh)			대비	
		연간발전량	실적(A)	재산정(B)	실적발전대비	연간발전대비
37년 유입량 (‘74~‘10)	실적방류량	353	457	439	96.0	124.3
	기본계획량	353	457	425	93.1	120.5
20년 유입량 (‘91~‘10)	실적방류량	353	485	472	97.2	133.6
	기본계획량	353	485	436	89.8	123.4
15년 유입량 (‘96~‘10)	실적방류량	353	502	484	96.4	137.1
	기본계획량	353	502	440	87.7	124.7
10년 유입량 (‘00~‘10)	실적방류량	353	508	483	95.1	136.9
	기본계획량	353	508	433	85.3	122.7
5년 유입량 (‘06~‘10)	실적방류량	353	502	489	97.3	138.4
	기본계획량	353	502	436	86.9	123.6

참고문헌

건설부, 산업기지개발공사, 1974. 『소양강다목적댐 공사지』

K-water, 2011. 『2010년 발전사업통계자료』

K-water, 2010. 『2010년 댐운영 실무편람』