

연구논문

비전통가스 개발 확대에 따른 국내외 에너지믹스 동향 및 대기환경영향에 관한 연구

조한나*, ** · 주현수* · 박주양**

한국환경정책·평가연구원*, 한양대학교·건설환경공학과**

(2013년 10월 2일 접수, 2013년 11월 25일 승인)

A Study on the trend of Energy Mix and Air Environmental Impact Assessment

Hanna Cho*, ** · Hyun Soo Joo* · Joo-Yang Park**

Korea Environment Institute*, Department of Civil and Environment Engineering, Hanyang University**

(Manuscript received 2 October 2013; accepted 25 November 2013)

Abstract

Unconventional natural gas resources are now estimated to be as large as conventional resources. Unconventional natural gas has become an increasingly important source of energy in the world since the start of this century. The factors that drive natural gas demand and supply point more and more to a future in which natural gas plays greater role in the global energy mix. The expansion of using natural gas will be expected in Korea.

This research aims to analyze environmental impacts of expansion of unconventional natural gas. This research was carried out for comparative analysis between global energy mix and Korea energy mix, and developed a case that reflect the changed energy mix due to the expansion of unconventional natural gas in Korea. Also this research evaluate the production of air pollutants and the cost of the damage in power generation sector.

The results of this research can be summarized as that natural gas portion of future global energy mix (about 25%) is greater than Korea energy mix (about 12%). This research developed a case that replace 10% energy of power generation sector to natural gas in the 6th demand supply program, reflecting the changed energy mix due to the expansion of natural gas use. In that case, air pollutants would be reduced gradually through 2015 to 2027. In detail, carbon dioxide reduces 22 million tons and environmental damage cost reduces 4500 billion won by 2027.

Keywords: unconventional natural gas, energy mix, air environmental impact assessment.

I. 서론

최근 막대한 매장량을 가진 비전통가스에 전 세계의 관심이 집중되고 있다. 비전통가스는 분리된 지층 구조에 집적되어 있는 전통 천연가스와 달리 넓은 지역에 걸쳐 연속적인 형태로 분산되어 있어 기존의 생산방식과 다른 방법을 통해 생산된다. 매장량은 전통 천연가스와 비슷하거나 더 많을 것으로 추정되고 있다. 비전통가스를 채굴함에 있어 과거에는 고도의 기술과 많은 비용으로 개발과 생산이 어려웠으나 최근에는 기술의 발전과 개발의 경제성 확보로 생산이 급증하고 있다.

비전통가스의 생산 증가로 인해 전 세계적으로 천연가스 가격은 하향 안정화되고, 천연가스 사용은 확대될 것으로 전망되고 있다. 매년 World Energy Outlook을 발간하는 IEA(International Energy Agency)에서는 2011년 특별보고서를 통해 비전통가스 생산 확대 및 가스 가격의 하향 안정화를 주요 가정으로 설정한 '가스 시나리오'를 제시하였다. 시나리오를 통해 향후 천연가스는 석유 다음의 에너지원으로 그 비중이 증가할 것이며, 천연가스 가격은 북미 지역을 중심으로 향후 대략 \$3/MMBtu ~ \$7/MMBtu로 하향 안정화될 것을 예측하였다. 2012년 특별보고서에서는 세계적으로 비전통가스 생산이 지속적으로 유지 및 확대될 것을 전제로 비전통가스 생산 비중이 2010년 14%에서 2035년 32%로 증가 될 것으로 예측하였다.

우리나라에서는 한국가스공사와 한국석유공사가 비전통가스 확보를 위해 미국과 캐나다 광구에 지분을 투자하였다. 2018년부터 가스를 국내로 반입할 예정이어서 점차 천연가스의 사용이 확대 될 것으로 전망하고 있다. 우리나라와 같은 천연가스 수입국은 가스의 액화 및 수송비용으로 수입가격 인하의 영향이 제한적이긴 하나 지금보다는 천연가스의 가격이 하향 안정화 될 것으로 기대하고 있다.

천연가스는 화석 연료 가운데 가장 청정한 연료로 알려져 있다. 재생에너지는 가격 경쟁력으로, 원자력 에너지는 안정성 및 수송성 문제로 인해 쉽게 채택할 수 없는 반면, 천연가스는 온실가스 및 대기오염물질

감축을 위한 가장 효과적인 단기적 수단으로 활용되고 있다. 온실가스 감축이라는 전 세계적인 환경정책의 압박으로 석탄 및 석유의 사용 비중은 점차 축소 될 것이며, 점차적으로 화석연료에 과중되고 있는 환경세의 영향은 천연가스 가격 경쟁력을 더욱 향상시킬 것으로 전망되고 있다. 천연가스의 가격 경쟁력 향상과 온실가스 감축 및 청정에너지 확대 정책은 천연가스 이용을 점차 확대시켜가고 있으며, 이러한 분위기는 전 세계 에너지믹스에도 영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 주요국의 현재 및 미래 에너지믹스를 분석해 봄으로 전 세계적인 에너지믹스 동향을 파악하고, 우리나라 에너지믹스와 비교 분석하였다. 또한 우리나라 전력수급기본계획에 따른 전력부문에서의 에너지믹스 변화를 분석하고 대기오염물질 배출량과 피해비용을 산정하여 전력부문 에너지믹스 변화에 대한 대기환경영향을 예측하였다. 더불어 향후 청정연료인 천연가스의 사용이 확대 될 것을 예상하여, 전력부문에서의 천연가스 사용이 확대된 에너지믹스를 설정하고 이에 따른 대기오염물질 배출량과 피해비용을 산정해 봄으로써 천연가스 사용 확대에 따른 대기환경영향을 예측하였다.

II. 연구내용 및 추진방법

본 연구는 현재의 전 세계 에너지믹스를 파악하기 위해 국외 주요국들의 최근 1차 에너지원별 구성비와 전력부문의 전원구성비를 조사하였다. 주요국들의 에너지원별 구성비(2011년) 자료는 지식경제부에서 출간된 2012년 에너지통계연보 자료이며, 전력부문 전원구성비(2009년) 자료는 IEA의 통계자료이다.

향후 비전통가스 생산 확대로 인한 에너지믹스 변화를 파악해 보기 위하여 미래 전망되고 있는 1차 에너지원별 구성비와 전력부문의 전원구성비를 조사 하였다. IEA와 EIA(U.S. Energy Information Administration), EC(European Commission)에서는 전 세계 및 유럽, 미국 등의 향후 에너지믹스를 전망하여 제시하고 있는데 이 자료들을 사용하였다.

앞서 조사한 주요국들의 현재 및 향후 에너지믹스와 국내의 현재 및 향후 에너지믹스를 비교 분석하였

Table 1. Comparison of energy mix(2011)

Category	Coal	Oil	Natural gas	Nuclear energy	Renewable energy	Fossil fuel	
						Total	Natural gas
U.S.A.	22.1	36.7	27.6	8.3	5.3	86.4	31.9
UK	15.5	36.1	36.4	7.9	4.0	88.1	41.4
Germany	25.3	36.4	21.3	8.0	9.0	83.0	25.7
Japan	24.6	42.2	19.9	7.7	5.6	86.7	22.9
Korea	30.2	40.3	15.9	12.9	0.7	86.4	18.4

자료: 지식경제부, 2012. 에너지통계연보

다. 국내의 에너지믹스 자료는 제1차 국가에너지기본계획의 1차 에너지원별 구성비와 제6차 전력수급기본계획의 전력부문 전원구성비를 사용하였다.

특히 국내 전력부문에 있어 2013년 수립된 제6차 전력수급기본계획과 이전의 제5차 전력수급기본계획을 비교하여 최근에 수립된 전력계획에서 에너지믹스 변화를 조사하였다. 에너지믹스 변화에 따른 대기오염물질 변화량과 환경피해비용을 산정함으로 최근 수립된 전력수급기본계획으로 인한 대기환경영향을 분석하였다.

향후 청정연료인 천연가스의 확대에 의한 대기환경영향을 분석하기 위하여 제6차 전력수급기본계획 전력량의 10%를 천연가스로 대체한 에너지믹스를 설정하였다. 설정된 에너지믹스의 오염물질 감축량과 환경피해비용을 산정함으로 천연가스 확대에 의한 대기환경영향을 예측하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 국내외 에너지믹스 동향 및 비교

최근의 에너지믹스 동향을 파악하기 위하여 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요 4개 국가와 한국의 1차 에너지원별 구성비(2011년)를 조사하였다(Table 1). 연료는 주요 에너지인 석탄, 석유, 천연가스, 원자력, 재생에너지 5개로 구분하였으며, 구성 비율은 연료별 사용 열량(백만 TOE)을 기준으로 산정하였다. 마지막 2개열은 각 국가의 에너지 사용량 중 화석연료가 차지하는 비율 즉 석탄, 석유, 천연가스의 총량과 이와 함께 화석연료 중에서 청정연료인 천연가스가 차지하는 비율을 산정하였다.

주요국들의 2011년 에너지믹스를 살펴보면, 제1의 에너지원은 석유로 약 37%를 차지하고 있으며, 그 뒤를 이어 석탄과 천연가스를 사용하고 있었다. 영국은 석탄 15.5%, 천연가스 36.4%로 석탄비율이 가장 낮으면서, 천연가스 비율이 가장 높은 국가이며, 미국도 석탄 22.1%, 천연가스 27.6%로 천연가스 비율이 높은 국가였다.

한국은 대기오염물질을 가장 많이 배출하는 연료인 석탄의 사용 비율이 5개국 중에 30.2%로 가장 높으며, 반면에 천연가스 비율은 15.9%로 가장 낮다.

화석연료 중 청정연료가 차지하는 비율을 살펴보면, 영국이 41.4%로 가장 높고, 한국은 18.4%로 가장 낮은 수치를 보이고 있다. 한국은 5개 국가 중 유일하게 화석연료 중 청정연료인 천연가스가 20% 미만의 비율을 차지하고 있다.

전력부문의 에너지믹스 현황을 파악하기 위해 주요 4개국 및 한국의 전력부문의 전원 구성비(2009년)를 조사하였다(Table 2). IEA에서는 각 국가의 에너지밸런스를 집계하여 발표하고 있는데, 가장 최근의 통계인 2009년을 기준으로 조사하였다. 구성 비율은 연료별 사용 열량(백만 TOE)을 기준으로 제시하였으며, 사용 에너지 중 화석연료가 차지하는 비율과 화석연료 중 청정연료 비율을 함께 산정하였다.

전력 부문만을 고려할 때, 석탄을 가장 많이 사용하며 그 뒤를 이어 천연가스와 원자력을 사용하고 있었다. 영국은 석탄 33.5%, 천연가스 33.5%로 천연가스의 비율이 석탄과 동일했으며, 일본은 석탄 27.3%, 천연가스 24.3%로 거의 동일한 비율이었다. 일본은 전력 생산 시 약 27%를 석탄으로 충당하고 있어 주요국 중 석탄 사용이 가장 낮았다. 천연가스 사

Table 2. Comparison of energy mix in power generation sector(2009)

Category	Coal	Oil	Natural gas	Nuclear energy	Renewable energy	Fossil fuel	
						Total	Natural gas
U.S.A	51.1	1.0	16.0	25.9	6.0	68.1	23.5
UK	33.5	1.7	33.5	25.1	6.1	68.8	48.7
Germany	48.9	1.4	4.2	32.0	13.6	54.5	7.6
Japan	27.3	7.9	24.3	34.2	6.3	59.4	40.9
Korea	47.0	3.4	9.3	39.8	0.5	59.7	15.6

자료 :IEA energy balance, <http://www.iea.org/countries/membercountries/>

Table 3. Comparison of energy mix outlook

Year	Category	Coal	Oil	Natural gas	Nuclear energy	Renewable energy	Fossil fuel	
							Total	Natural gas
2020	Korea ¹⁾	23.2	36.2	11.9	22.1	6.6	71.3	16.7
	EU ²⁾	15.8	34.4	25.4	13.0	11.5	75.5	33.6
2030	Korea	15.7	33.0	12.0	27.8	11.5	60.8	19.8
	EU	14.4	32.0	24.3	14.8	14.5	70.7	34.4
2035	World ³⁾	22.0	27.0	25.0	7.0	19.0	74.0	33.8
	U.S.A. ⁴⁾	20.0	32.0	26.0	9.0	15.0	76.5	33.3

자료: ¹⁾ 국무총리실. 2008. 제1차 국가에너지기본계획, 지식경제부. 2013. 제6차 전력수급기본계획.

²⁾ European Commission. 2010. EU energy trends to 2030.

³⁾ IEA. 2011. World Energy Outlook 2011.

⁴⁾ EIA. 2012. Annual Energy outlook 2012.

용 비율 기준 상위 2개 국가인 일본 및 영국은 화석연료 중 청정연료 비율이 40~50%를 차지하고 있어, 전력 부문에서의 온실가스 및 대기질 환경관리를 위해 청정연료를 적극적으로 사용하고 있는 것으로 보인다.

한국은 석탄 사용 비율이 47.0%로 전력 부문의 에너지 사용 중 거의 반을 석탄으로 사용하고 있으며, 5개 국가 중 3번째로 석탄 사용비율이 높았다. 천연가스 사용 비율은 5개 국가 중 4위인 9.3%이며, 화석연료 중 청정연료 비율은 15.6%에 불과하였다. 전력 생산 부문에서 청정연료 사용에 상대적으로 소극적인 것으로 보인다. 또한 원자력은 39.8%로 원자력 사용비율은 5개국 중 가장 높아 전력부문에서 원자력에 대한 의존도가 높으며, 재생에너지는 0.5%로 5개국 중 가장 낮았다.

미래 에너지믹스 동향을 파악하기 위해 전 세계, EU, 미국의 2020, 2030, 2035년 1차 에너지 이용 목표 및 국내 에너지전망을 조사하였다(Table 3).

전 세계, EU, 미국의 에너지 믹스는 각각 “World

Energy Outlook 2011”, “EU Energy Trends to 2030”, “Annual Energy Outlook 2012”에서 전망한 수치이며 한국의 2020년 및 2030년 에너지믹스는 “제1차 에너지기본계획”에서 수립한 에너지원별 1차 에너지 수요 목표이다.

전 세계, EU, 미국 및 한국의 2020년, 2030년, 2035년 에너지원별 구성비를 살펴보면 한국의 2030년을 제외한 모든 에너지믹스에서 화석연료의 비율이 70%를 상회하는 것으로 되어 있어, 2030년대에 도 여전히 화석연료가 에너지 생산의 주원료로 사용되는 것으로 전망하고 있다. 한국의 2030년 에너지믹스에서만 화석연료의 비율이 60.8%로 계획되어 있는데, 이것은 원자력의 비율이 특이하게 높게 설정된 것으로 보여지며, 원자력에 대한 국민적 수용성에 대한 제약요소로 인해 달성하기 쉽지 않은 계획으로 판단된다.

2020, 2030, 2035년의 전 세계, EU, 미국의 에너지 믹스를 살펴보면 청정연료인 천연가스 비율을 약 25% 정도로 설정하고 있으며, 이를 화석연료 중 청

정연료 사용 비율로 환산하면 약 33~34% 정도로, 사용하게 될 화석연료 중 약 1/3을 청정연료로 활용하는 것으로 계획되어 있다.

한국의 2020년 및 2030년 미래 에너지믹스에서 천연가스가 차지하는 비율은 12%이며, 화석연료 중 천연가스 비율은 20%이내로 계획되어 있다. 앞에서 2011년 에너지원별 구성비에서와 마찬가지로 한국의 미래 에너지 정책은 주요국들에 비해 천연가스 사용에 소극적인 것으로 나타났다.

2. 국내 전력부문의 에너지믹스 분석

국내의 에너지믹스 변화를 살펴보기 위하여 2013년 수립된 제6차 전력수급기본계획의 전원 구성비와 이전의 제5차 전력수급기본계획의 전원 구성비를 비교하였다(Table 4). 6차 계획에서는 시설별 용량을 정격용량과 피크기여도 반영시의 용량으로 구분하여 제시하고 있으며, 5차 계획에서는 정격용량만이 나와 있어 동일한 조건하에서의 비교를 위해 정격용량 기준의 전원 구성비로 비교하였다.

가장 최근에 전력부문의 에너지 구성을 알 수 있는 6차 계획의 2015년부터 2025년 기간의 설비 용량을 살펴보면, 신재생에너지, 석탄 및 원자력은 증가 추세를 보인다. 신재생에너지는 2015년 8.6%에서 2025년 18.7%로 10.1% 대폭 증가하며, 같은 기간 동안 석탄은 26.1%에서 29.2%로 3.1% 증가하고 원자력은 22.6%에서 23.1%로 0.5% 소폭 증가하는 것으로 계획되어 있다. 2025년까지 천연가스와 석유는 감소 추세를 보이며, 천연가스는 2015년 28.9%에서 2025년 20.4%로 8.5% 대폭 축소하고 같은 기간 동안 석유는 3.6%에서 0.8%로 2.8% 감소하고 있다.

2015년부터 2025년 동안 화석연료 발전설비 비율을 58.6%에서 50.4%로 8.2%축소할 계획이나, 온실가스 및 대기오염물질 배출 측면에서 불리한 석탄 발전설비의 비중은 오히려 증가하며, 청정연료인 천연가스 설비는 8.8% 축소하는 것으로 계획되어 있다.

5차 및 6차 계획을 비교한 화석연료 설비의 비율을 살펴보면, 5차 계획에서는 화석연료 중 천연가스 비율을 40%의 일정 수준으로 유지하면서, 석탄 설비 비율을 점진적으로 감소하는 것으로 되어 있으나, 6차 계획에서는 천연가스 비율을 점진적으로 줄이면서 화석연료 비율을 축소하는 것으로 계획하고 있다. 즉 5차 및 6차 계획 모두 화석연료 비율을 점차적으로 축소하는 것으로 방향을 설정하고 있으나, 5차에서는 석탄 비율을 감축하면서 화석연료 비율을 낮추는 전략을 취하고 있는 반면에, 6차에서는 석탄 비율을 오히려 증가시키고, 청정 화석연료인 천연가스 비율을 대폭 줄이면서 화석연료 비율을 낮추는 전략을 취하고 있어, 온실가스 및 대기질 관리 측면에서는 6차 계획이 5차 계획에 비해 불리한 구조를 가지고 있었다.

5차 및 6차 전력수급기본계획의 전원구성비가 온실가스 및 대기질 관리에 어떠한 영향을 미칠 것인가 분석하기 위해서 2015년에서 2025년간의 대기오염물질 배출량과 이에 따른 피해비용을 산정하였다.

대기오염물질 발생량을 비교하기 위해 배출계수(Table 5)를 산정하였으며, 이는 발전부문을 기준으로 하였다. 환경부와 IPCC 대기오염물질 배출계수에 에너지열량 환산기준과 방지효율을 적용하여 산정하였다.

이산화탄소의 경우 IPCC 가이드라인(2008)에서

Table 4. Comparison of energy mix in power generation sector at 5th and 6th demand supply program

Year	Category	Nuclear energy	Coal	Natural gas	Oil	water	Renewable energy	Group energy	Fossil fuel	
									Total	Natural gas
2015	5차	25.5	32.1	24.4	4.3	4.9	4.3	4.5	60.8	40.2
	6차	22.6	26.1	28.9	3.6	4.3	8.6	5.9	58.6	49.3
2020	5차	29.4	29.7	21.9	3.8	4.4	6.2	4.6	55.4	39.5
	6차	20.9	30.8	23.3	2.7	3.3	13.9	5.2	56.8	41.0
2024	5차	31.9	27.9	20.9	3.6	4.2	7.2	4.3	52.4	39.9
2025	6차	23.1	29.2	20.4	0.8	3.0	18.7	4.8	50.4	40.5

Table 5. The coefficient of emission(kg/million Kcal)

Category	Coal	Oil	Natural gas
Sulfur oxides ^{a)}	0.308	0.287	0.001
Dust ^{a)}	0.811	0.150	0.003
Nitrogen oxides ^{a)}	0.365	0.200	0.172
Carbon monoxide	0.041 ^{b)}	0.06 ^{b)}	0.127 ^{c)}
Carbon dioxide ^{d)}	395.995	324.058	234.879

주: 석탄은 유연탄, 석유는 중유(B-C 1.0%S)이며, 발전부문 기준 자료임.

자료: ^{a)} 대기환경보전법 시행규칙 제43조, 별표 10

^{b)} 국립환경과학원(2010), 대기오염물질 배출량 산정방법

^{c)} 국립환경과학원(2012), 대기오염물질 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집

^{d)} 국가온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인(2008)

^{e)} 에너지법 시행규칙 제5조 1항 관련(개정 2011.12.30)[별표] 11

제시하는 배출계수를 사용하였으며, 이를 제외한 나머지 물질들은 「대기환경보전법」 시행규칙 별표 10과 US EPA AP-42(1996)의 배출계수를 검토하여 구축한 국립환경과학원(2010)의 배출계수를 사용하였다. 다만 천연가스의 이산화탄소 배출계수는 국립환경과학원(2012)에서 US EPA AP-42(1998)의 배출계수로 업데이트 되어 변경된 배출계수를 사용하였다. 에너지열량 환산기준은 에너지법 시행규칙 제5조 1항 관련(개정 2011.12.30)에 제시된 환산기준(총발열량 사용)을 사용하였다. 방지효율은 대기오염 저감시설로, 석탄 발전의 경우 배연탈황시설, 먼지집진시설, SCR을 적용하였고, 석유 발전의 경우 배연탈황시설, SCR, 천연가스 발전은 SCR을 설치한 것으로 가정하였다. 대기오염 저감시설의 효율은 배연탈황시설 80%, 집진시설 90%, SCR 70%를 적용하였다. 이산화탄소, 이산화탄소의 저감시설은 고려하지 않았다.

대기오염물질 배출량에 따른 피해비용을 산정하기 위해서 가스공사에서 발표한 “환경문제를 고려한 천연가스의 경제성 평가 및 보급 활성화방안 연구”의 사회적 비용 시나리오를 적용하였다. 시나리오는 사회적 비용의 화폐적 가치화 연구가 비교적 풍부하게 수행된 대기오염물질과 대표적 온실가스인 이산화탄소를 대상으로 저비용, 중비용, 고비용 세 가지로 설정되었다. 고비용은 UNEP에서 제안하고 있는 오염물질별 사회적 비용의 평균값과 탄소세 \$ 50/탄소톤을 가정하였으며, 본 연구에서는 고비용 시나리오(화산화물 8,464원/g, 질산화물 7,535원/g, 이산화탄

소 0.056원/g, 먼지 24,601원/g)를 적용하여 산정하였다.

5차 계획과 비교했을 때, 6차 계획의 2015년, 2020년 및 2025년의 전원구성에 따라 목표연도별 대기오염물질 배출량 변화를 비교하였다(Table 6).

6차 전력수급기본계획에서는 5차 전력수급기본계획과는 달리 2015년, 2020년 및 2025년의 전체 전력소비량은 예측하고 있지만, 각 연료별 전력소비량에 대한 예측값 없이 발전설비 용량만 제공되어 있다. 대기오염물질 배출량 산정을 위해서는 연료별 전력소비량이 전망되어야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 5차 계획에서 목표연도별로 설정하고 있는 연료별 전력생산 가동률을 6차 계획의 동일 목표연도에 적용하였다. 그 다음 목표연도별로 연료별 전력소비량을 전력 총 소비량으로 표준화하여 보정한 후, 전원 구성비를 도출하여 전원구성비를 토대로 연간 배출되는 대기오염물질량 및 연간 환경피해비용을 산정하였다.

6차 계획은 5차 계획과 비교하여, 2015년은 대기오염물질 배출량이 감소하고 이에 따라 환경피해비용 역시 감소하나, 이와는 반대로 2020년 및 2025년에는 대기오염물질 배출량 및 환경피해비용이 증가하여, 6차 계획의 전원구성이 5차 계획보다 온실가스 및 대기오염물질 배출 측면에서 더 불리한 구조를 가지고 있다.

특히 2020년의 경우, 수정된 6차 계획에 따라 5차 계획보다 이산화탄소가 14.1백만톤 증가하는 것으로

Table 6. Comparison of 5th and 6th demand supply program

	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation(6th-5th)
2015	Power consumption(GWh)	541,221	516,156	-25,065
	Sulfur oxides(ton)	48,046	121,428	-26,618
	Nitrogen oxides(ton)	205,775	80,842	-24,933
	Carbon dioxide(ton)	233,756,843	208,300,967	-25,455, 877
	Dust(ton)	38,536	312,017	-68,685
	Environmental damage cost(trillion won)	25.2	21.7	-3.5
2020	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation (6th-5th)
	Power consumption(GWh)	588,856	590,565	1,709
	Sulfur oxides(ton)	143,476	152,203	8,727
	Nitrogen oxides(ton)	191,456	204,174	12,717
	Carbon dioxide(ton)	214,538,538	228,731,617	14,193,079
	Dust(ton)	373,464	397,512	24,047
	Environmental damage cost(trillion won)	23.8	25.4	1.6
2025	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation(6th-5th)
	Power consumption(GWh)	608,592	624,950	16,358
	Sulfur oxides(ton)	124,494	130,088	5,593
	Nitrogen oxides(ton)	167,966	175,045	7,079
	Carbon dioxide(ton)	188,757,525	195,854,886	7,097,361
	Dust(ton)	323,707	341,309	17,602
	Environmental damage cost(trillion won)	20.	21.8	0.9

Table 7. Comparison of 5th and 6th demand supply program(per GWh)

	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation(6th-5th)
2015	Sulfur oxides(ton)	0.274	0.235	-0.038
	Nitrogen oxides(ton)	0.380	0.350	-0.030
	Carbon dioxide(ton)	431.906	403.562	-28.344
	Dust(ton)	0.703	0.605	-0.099
	Environmental damage cost(million won)	46.6	42.0	-4.5
2020	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation(6th-5th)
	Sulfur oxides(ton)	0.244	0.258	0.014
	Nitrogen oxides(ton)	0.325	0.346	0.021
	Carbon dioxide(ton)	364.331	387.310	22.979
	Dust(ton)	0.634	0.673	0.039
Environmental damage cost(million won)	40.4	43.0	2.6	
2025	Category	5th demand supply program	6th demand supply program	Variation(6th-5th)
	Sulfur oxides(ton)	0.205	0.208	0.004
	Nitrogen oxides(ton)	0.276	0.280	0.004
	Carbon dioxide(ton)	310.154	313.393	3.238
	Dust(ton)	0.532	0.546	0.014
Environmental damage cost(million won)	34.2	34.9	0.706	

분석되었는데, 이 수치는 2010년 국내 온실가스 총 배출량(668.8백만톤 CO₂eq)의 2%에 해당되는 양이다. 또한 6차 계획의 2020년도 이산화탄소 증가량은 2010년 폐기물부문에서 배출된 온실가스량(14.2백만톤 CO₂eq)과 비슷하며, 산업공정에서 배출된 총 온실가스 배출량(62.7백만톤 CO₂eq)의 23%에 해당된다. 이러한 전원구성이 실제 추진될 경우, 국가 온실가스 관리를 어렵게 할 것이며 국제사회에 공표한 온실가스 감축목표를 달성하는데 많은 제약요소로 작용할 것으로 보인다.

5차 및 6차 계획의 동일 목표연도에서 설정하고 있는 총 발전 수요량에 차이가 있으므로, 단위발전량(GWh) 당 대기오염물질 배출량 및 환경피해비용을 산정하여 비교하였다(Table 7).

2020년 및 2025년의 경우, 5차 계획보다 6차 계획의 전력소비량이 각각 1,709GWh 및 16,358GWh 증가하는 것으로 전망됨에 따라 대기오염물질 배출량이 증가하는 측면도 있기는 하지만, 단위전력 당 오염물질배출량 역시 6차 계획에서 보다 높게 산정되었으며, 이는 6차 계획의 전원이 오염물질 배출량 측면에서 불리하게 구성되어 있음을 말해 준다. 2020년의 경우 6차 전원구성에 따라 5차 전원 보다 1GWh 당 2만 2천 톤의 온실가스가 더 많이 배출된다.

3. 천연가스 확대에 의한 대기환경영향 예측

석탄은 화석연료 중에서 황 및 질소 산화물과 같은 일반대기오염물질을 가장 많이 배출한다. 또한 인체에 유독한 발암물질, 중금속 및 유해대기오염물질(HAPs)도 배출한다. 저감 시설 전 단위발전량 당 연료별 대기오염물질 배출량을 살펴보면(Table 8) 석탄은 천연가스보다 황산화물 1,627배, 먼지 285만 배, 질소산화물 2.1배, 이산화탄소 1.7배 더 많이 배출되며, 이에 따라 환경피해비용은 1GWh당 약 4억 8천만 원의 손실이 있다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 제6차 전력수급기본계획의 전원구성은 온실가스 및 대기오염 측면에서 개선되어야 할 여지가 있는 것으로 보이며, 우선적으로 석탄의 구성 비율을 낮추고 이를 청정연료로 전환하기 위한 노력이 필요한 것으로 여겨진다.

지금의 세일가스 개발 확대 추세는 많은 생산량으로 인해 장기적으로 천연가스 가격을 하향 안정화시킬 것이다. 우리나라와 같은 가스 수입국도 수입가격 인하의 영향이 제한적이긴 하나 지금보다는 천연가스의 가격이 하향 안정화 될 것으로 기대하고 있다. 천연가스의 가격 안정화 전망 가운데 온실가스 및 대기오염 측면에서 청정연료인 천연가스의 사용이 확대 될 가능성을 예상하여, 에너지믹스를 설정하였다.

Table 8. The production of air pollutants and the cost of the damage (per GWh)

Category	Coal	Oil	Natural gas
Sulfur oxides(ton)	3.254	3.032	0.002
Nitrogen oxides(ton)	17.127	0.317	0.006
Carbon dioxide(ton)	2.570	1.407	1.209
Dust(ton)	835.549	683.762	495.595
Environmental damage cost(million won)	515	82	37

Table 9. Variation of The production of air pollutants and the cost of the damage at a case that replace 10% energy of power generation sector to natural gas in the 6th demand supply program

Category	2015	2020	2027
Sulfur oxides(ton)	33,479	38,305	42,504
Dust(ton)	87,998	100,684	111,722
Nitrogen oxides(ton)	21,074	24,112	26,755
Carbon dioxide(ton)	17,546,969	20,076,538	22,277,405
Environmental damage cost(trillion won)	3.59	4.10	4.55

천연가스사용 확대에 따른 에너지믹스는 제6차 전력수급기본계획상의 목표 연도별 전력소비량 중 10%를 석탄에서 천연가스로 대체한 것으로 설정하였다. 이에 따른 온실가스 및 대기오염물질 감축량과 환경편익을 산정하였다(Table 9).

6차 계획의 전력량 10%를 천연가스로 대체할 경우 2015년부터 2027년까지 점진적으로 대기오염물질 감축량이 증가함을 알 수 있다. 특히 온실가스인 이산화탄소는 2015년에 1천7백만 톤, 2020년에 2천만 톤 줄일 수 있으며 2027년에는 2천2백만 톤까지 감축할 수 있는 것으로 나타났다. 2천2백만 톤은 2010년 온실가스 총 배출량의 3.3%에 해당되는 양이다. 환경피해비용도 2015년에는 3조 6천억 원, 2020년에는 4조 천억 원, 2027년 4조 5천억 원을 줄일 수 있는 것으로 나타났는데, 2013년 환경부 예산이 약 6조인 것을 감안한다면 경제적 효과도 클 것으로 예상된다.

IV. 결론

비전통가스의 생산 증가로 인해 전 세계적으로 천연가스 가격이 하향 안정화 될 것으로 전망되고 있다. 이와 더불어 온실가스 및 오염물질 감축을 위한 환경세 등의 환경규제가 석탄 및 석유에 점차적으로 과중됨에 따라 천연가스의 가격경쟁력은 더욱 상승할 것으로 예상되고 있다. 재생에너지는 가격 경쟁력에서, 원자력은 안정성 및 수용성 문제로 인해 적극적인 확대 정책을 채택하기 쉽지 않은 현실적 측면에서 화석연료 중 청정연료로 알려진 천연가스는 온실가스 및 대기오염물질 감축을 위한 가장 효과적인 수단으로 활용되고 있어 전 세계적으로 천연가스 사용은 점차 확대 될 것이며, 에너지믹스에도 반영될 것으로 전망된다.

본 연구에서는 세계적인 에너지믹스 동향을 주요국의 에너지믹스를 분석하여 조사하였고, 우리나라 에너지믹스와 비교 분석하였다. 최근 국내 전력부분에서 에너지믹스 변화와, 청정연료인 천연가스 사용 확대를 예상한 에너지믹스 설정에 대해 온실가스 및 대기오염물질 감축량과 이에 따른 환경편익을 산정

함으로 대기환경영향을 분석하였다.

전 세계, EU, 미국의 미래 1차 에너지원 에너지믹스를 살펴보면 청정연료인 천연가스 비율은 약 25% 정도로 설정되어 있으며, 이를 화석연료 중 청정연료 사용 비율로 환산하면 약 33~34% 정도로, 사용하게 될 화석연료 중 약 1/3을 청정연료로 활용하는 것으로 계획되어 있다. 이에 비해 한국의 미래 에너지 사용 계획에서는 천연가스가 12%로 이며, 화석연료 중 천연가스 비율은 20% 이내로 계획되어 있다. 한국의 미래 에너지 정책이 천연가스 사용에 상대적으로 소극적인 것이다.

제6차 전력수급기본계획과 제5차 전력수급기본계획을 비교하여 국내 전력부분에서 에너지믹스 변화를 분석해 본 결과, 최근 수립된 6차 계획에서 2015년에는 대기오염물질 배출량이 감소하고 이에 따라 환경피해비용 역시 감소하나, 이와는 반대로 2020년 및 2025년에는 대기오염물질 배출량 및 환경피해비용이 증가함을 알 수 있었다. 특히 2020년의 경우, 이산화탄소가 14.1백만 톤 증가하는 것으로 분석되었으며, 환경피해비용도 1조 6천억 원 더 소모되는 것으로 나타났다. 즉, 6차 계획의 전원구성이 5차 계획보다 온실가스 및 대기오염물질 배출 측면에서 더 불리한 구조를 가지고 있다.

청정연료인 천연가스의 사용이 확대 될 것을 예상하여 현재 6차 계획의 전력량 10%를 천연가스로 대체한 에너지믹스를 설정하였고, 그 변화에 대해 분석한 결과, 2015년부터 2027년까지 점진적으로 대기오염물질 감축량은 증가하였으며, 2027년에는 2010년 온실가스 총 배출량의 3.3%에 해당되는 2천2백만 톤의 이산화탄소가 감축되었다. 환경피해비용도 4조 5천억 원 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

온실가스 감축이라는 전 세계적인 환경정책의 압박으로 현재 우리나라는 에너지 및 기후대기 분야에서 천연가스 사용 확대에 대한 적극적 검토가 필요한 시점이다. 환경 및 경제적 측면에서 천연가스의 에너지믹스 비중을 높이기 위한 다각적 방안이 강구될 필요가 있다.

후기

본 논문은 한국환경정책·평가연구원의 지원으로 수행한 「셰일가스 국내 도입에 따른 에너지·환경 정책 수립을 위한 기초연구」와 환경부 지원으로 한국환경정책·평가연구원이 수행한 「셰일가스 도입에 따른 환경영향 및 대응방안 마련연구」 결과 중 일부를 밝힙니다.

참고문헌

- 국무총리실, 2008, 제1차 국가에너지기본계획.
- 기획재정부, 2012, 우리나라 공기업의 비전통 에너지 자원 개발현황과 시사점, 보도자료 6월 22일.
- 김기중, 2012, 셰일가스 개발현황과 파급효과 전망, 발표자료.
- 손양훈, 2012, Shale Gas Impacts, 에너지정책연구회 발표자료.
- 외교통상부, 2012, 글로벌 셰일가스 개발 동향.
- 정기철, 2012, 셰일가스 개발 동향과 전망, 미래전략 포럼 발표자료.
- 주익찬, 2013, 셰일가스에 이은 2번째 자원혁명, 유진투자증권 내부자료.
- 지식경제부, 2010, 제5차 전력수급기본계획.
- 지식경제부, 2012, 셰일가스 TF 공개세미나 자료, 7월11일, 서울교육문화회관 거문고홀.
- 지식경제부, 2012, 에너지통계연보.
- 지식경제부, 2013, 제6차 전력수급기본계획.
- 한국가스공사, 2000, 환경문제를 고려한 천연가스의 경제성 평가 및 보급 활성화 방안 연구.
- 한국환경·정책평가연구원, 2012, 셰일가스 도입에 따른 국내 에너지 환경 정책 수립을 위한 기초연구, 58-64.
- 환경부, 2012, 셰일가스 도입에 따른 환경영향 및 대응방안 마련연구, 149-162.
- EIA, 2011, Review of Emerging Resources: U.S Shale Gas and Shale Oil Plays.
- EIA, 2012, Annual Energy Outlook 2012 with Projections to 2035.
- EIA, 2013, Annual Energy Outlook 2013, Early Release.
- European Commission, 2010, EU energy trends to 2030.
- European parliament, 2011, Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health.
- IEA, 2011a, Energy Balances of OECD countries.
- IEA, 2011b, Are We Entering a Golden Age of Gas?, WEO Special Report.
- IEA, 2012a, World Energy Outlook 2012 Korean
- IEA, 2012b, “Golden Rules for a Golden Age of Gas”, WEO Special Report.
- World Energy Council, 2010, Survey of Energy Resources : Focus on Shale Gas.
- <http://www.iea.org/countries/>

최종원고채택 13. 11. 27