

## 셰일가스 개발에 따른 주요 환경문제와 그 대안\*

### Environmental Issues due to the Development of Shale Gas

Jai Ho Oh\*\*, Hyun Keun Jin, Min Ah Sun, Ji Yeon Jang

Dept. of Environmental and Atmospheric Sciences, Pukyong National Univ., Busan, Korea  
National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration, Seogiwpo, Korea

#### Abstract

The purpose of this study is to suggest some policy alternatives and implications for improving the crisis and emergency management system for efficiently managing the atomic disaster. Atomic disaster can be occurred from terrorism or natural disaster. To establish and improve the crisis and emergency management system to prevent atomic disaster, this paper proposes some suggestions as follows: First, positive residents' participation, partnership establishment, and transparency enhancement; Second, establishing the crisis and emergency management to efficiently manage the atomic disaster; Third, the role and function of local government for effectively mobilizing the necessary resources and taking a measure for managing the atomic disaster; Fourth, education and exercise system to perform the disaster site activities effectively; Fifth, establishing the legal preventive control system and far more strict punishment rule to the atomic related corruption and irregularity; Sixth, swift evacuation system and residence restriction of residents in case of atomic disaster; Finally, neighboring states and global society's participation to the atomic crisis and emergency management system.

**Key words:** shale gas, natural gas, climate change, energy crisis and emergency management

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

\*\* Corresponding author. Tel. +82-51-629-6643. Fax. +82-51-629-7991 E-mail. jhoh@pknu.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 23, 2014 / Revised: Feb. 11, 2014 / Accepted: Feb. 18, 2014

#### 국문초록

탄소배출 감축을 위한 국제적인 노력이 계속되고 있는 현 상황에서 지금까지의 미래 에너지 시장은 원자력 발전과 신재생에너지가 주도해왔다. 하지만 2011년 일본 후쿠시마에서 발생한 원자력발전소의 폭발사고는 원자력 발전의 역할에 대해 불신이 증가되고 계기가 되었다. 또한, 장기간 이어진 경기침체로 인해, 신재생 에너지 기술 개발에 대한 지원이 위축되었다. 셰일가스의 경우, 전 세계적으로 광범위하게 분포하고 있을 뿐만 아니라, 잠재적인 매장량이 기존의 전통식 천연가스와 비슷한 규모로 추산된다. 이러한 셰일가스 분포특성상 안정적인 에너지 공급이 가능하기 때문에, 차세대 에너지 공급원으로 세계적 주목을 받고 있다. 최근 첨단 채굴기술의 개발로 인하여, 북미 지역을 중심으로 셰일가스가 대량으로 공급되어 다른 화석연료에 비해 매우 저렴한 가격으로 거래되고 있다. 뿐만 아니라, 석탄에 비해 연소 시에 온실가스 배출이 적기 때문에 석탄을 대신하여 저가의 전력공급이 가능할 것으로 전망된다. 셰일가스 개발이 긍정적인 면만 가지고 있는 것은 아니다. 셰일가스 개발과정에서 각종 환경 위기를 초래할 수 있다. 이러한 위험은 주로 셰일가스 채굴과정에서 비롯된다. 현재 대부분의 셰일가스 개발에 활용되고 있는 수압파쇄공법에는 엄청난 양의 수자원이 소요될 뿐만 아니라, 인체에 유해한 화학물질을 다량 첨가된다. 이로 인해 촉발되는 수자원 낭비 및 수자원 오염에 대한 논란이 일고 있다. 또한 셰일가스 채굴 및 운송과정에서 다량의 온실가스가 누출되고 있으며, 심지어 셰일가스 개발지역을 중심으로 지반침하 현상 및 약한 지진이 보고되고 있다. 아직 셰일가스 발굴 기술이 최근에야 개발되어 이 셰일가스 개발이 환경에 미치는 보편적인 평가는 아직 속단하여 결론 내리기 어려운 상황이다. 셰일가스 개발이 미치는 환경적인 영향에 관한 연구는 지속적으로 증가되고 있지만 이 시점에서는 기존에 소개된 환경평가를 정리하였다. 이 논문에서 소개된 셰일가스 개발이 초래하는 환경 영향은 대부분 직접적인 영향에 국한하였으며, 분명히 존재하는 간접적인 영향은 향후 속제로 남겨 놓았다.

**주제어:** 셰일가스, 천연가스, 기후변화, 에너지 위기관리

#### 1. 서론

대기 중 온실가스 농도 증가로 인해 유발된 기후변화를 방지하기 위해 범지구적인 노력이 계속되고 있다. 따라서 차세대 세계의 에너지 시장은 원자력 발전과 신재생에너지에 역점을 두어왔다. 하지만 장기간 지속되고 있는 글로벌 경제침체로 인하여 신재생에너지 개발이 더디게 되어, 경제적 생산성을 높이는데 실패하였다. 따라서 미국과 한국, 프랑스 등을 중심으로 원자력 발전이 재차 확대될 것으로 예상되었다. 하지만 지난 2011년 3월 발생한 후쿠시마 원전사태로 인해 대체에너지에 대한 요구가 급증하였다. 최근에 북미대륙을 중심으로 첨단 기술을 동원하여 새로운 에너지 자원인 셰일가스를 대량으로 생산하기 시작하였다. 엄청난 매장량과 더불어 기존의 화석연료에 비해 저렴한 가격으로 공급되는 셰일가스는 차세대 에너지로 주목받고 있다.

이처럼 셰일가스는 대량생산을 통한 안정적인 공급이 가능할 뿐만 아니라 연소시 온실가스 배출이 적은 친환경 에너지원이다. 따라서 셰일가스는 향후의 저탄소 에너지 소비 사회로 이행하는 과정에서의 가교 역할이 강조되고 있다[1]. 하지만, 셰일가스 개발이 긍정적인 면만 가지고 있는 것은 아니다. 지금까지의 셰일가스 관련 기술은 생산성 향상을 목적으로 진행되었을 뿐, 셰일가스 개발이 환경에 미치는 부정적인 영향에 대하여 고려되지 않았다. 하지만, 셰일가스 채굴 과정에서 다량의 수자원을 필요할 뿐만 아니라, 인체에 유해한 화학물질을 첨가하기

때문에 수자원 오염의 우려가 있다[2][3]. 또한, 다른 화석연료에 비해 연소 시에 온실가스 배출이 적은 셰일가스는 친환경 에너지로 생각되었으나, 셰일가스 채굴과정에서 다량의 온실가스가 유출되어 기후변화를 가속한다는 반론이 제기되고 있다[3]. 이 외에도 토지훼손 및 지반침하 등 셰일가스 채굴과정을 둘러싸고 환경적 논쟁이 끊이지 않고 있다. 이와 관련된 많은 연구들이 진행 중에 있기 때문에 셰일가스 개발이 환경에 미치는 보편적인 평가는 속단하여 결론 내리기 어려운 상황이다.

본 글에서는 기존에 제시된 국·내외 연구 논문 및 정부보고서 등 문헌자료를 활용하여, 셰일가스 개발과정에서 환경에 미치는 영향 중 직접적인 요인을 중심으로 살펴보고 이를 극복하기 위한 방안을 검토하였다. 이를 위해 셰일가스가 차세대 에너지원으로 주목받은 배경을 살펴보고 개발과정에서 비롯되는 주요 환경문제에 대해 다루었다. 나아가 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안을 제시하고자 한다.

## II. 차세대 에너지원으로서 셰일가스

### 1. 셰일가스의 정의

셰일이란 점토 성분이 풍부한 미세한 진흙이 퇴적된 후 탈수되어 형성된 퇴적암을 의미한다. 특히, 셰일의 경우, 유기물 함량이 높아 천연가스와 원유의 퇴적이 활발하다[4]. 셰일가스(Shale gas)는 지하 1,000-4,000 m, 두께 10-200m로 형성된 혈암층(頁岩, shale)에 잔류한 탄화수소와 유기물이 열분해 또는 박테리아에 의해 생분해되어 미세공극 내 유리가스 또는 유기물이나 광물입자에 흡착 상태로 존재하는 메탄가스를 의미한다[5][6]. 셰일가스의 화학적 구성은 메탄 70-90 %, 에탄 5%, 콘텐세이트(프로판, 부탄) 5-25% 으로, 전통식 천연가스와 거의 같다. 1821년, 미국 New York州, Fredonia에서 최초로 셰일가스가 발견되었다. 이처럼 셰일가스의 역사는 짧지 않지만, 예전에는 이에 대한 개발이 활발하지 않았다. 이는 셰일가스는 상대적으로 깊은 곳에 층상으로 분포하기 때문에, 기존의 전통식 천연가스와 같이 수직시추를 이용한 대량생산이 거의 불가능하였다. 2000년대 중후반, 북미지역을 중심으로 수평시추공법(Horizontal & Directional Well Drilling)과 수압파쇄공법(Hydraulic Fracturing Treatment) 등의 시추기술이 개발되어 시장성 확보에 성공하였다.

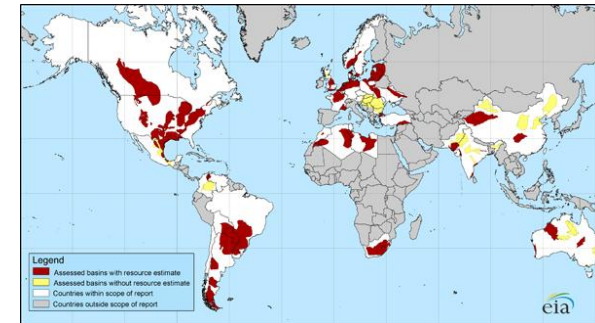
### 2. 차세대 에너지원으로서 셰일가스

그렇다면 셰일가스가 차세대 에너지원으로 세계적인 주목을 받는 이유는 과연 무엇인가? 첫째, 막대한 양의 매장량이다. 2011년 기준으로, 셰일가스의 매장량은 187.4조m<sup>3</sup>이며, 이를 열량 환산(TOE)하였을 때, 기존의 전통식 천연가스 매장량에 달하는 규모이다<Table 1>. 지금까지 확인된 매장량은 31개국 48개 지역만을 대상으로 조사된 것으로 향후 더 증가할 것으로 예측된다.

<Table 1> Proved Reserves of Fuels and Its Reserve Life Index(Units: Billion TOE)[7].

	Petroleum	Coal	Conventional gas	Shale gas
Proved reserves	1,888	4,196	1,684	1,687
Reserve life index	46 years	118 years	59 years	59 years

둘째, 셰일가스의 분포에 관한 특성이다. 기존의 전통식 천연가스는 지정학적으로 불안정한 중동(41%), 러시아(24%), 북아프리카(4%), 베네수엘라(3%) 지역에 집중하여 분포하고 있는 것과는 달리, 셰일가스층은 세계적으로 고르게 분포하고 있다<Fig 1>. 기존의 전통식 천연가스는 국제정세에 의해 수급이 매우 불안정한 반면에 셰일가스의 경우 전세계 골고루 분포되어 있어 에너지 안정적인 측면에서 안정적이다. 또한 에너지 수요가 높은 중국과 미국에 매장량이 가장 많다<Table 2>. 따라서 전통식 천연가스는 생산지와 소비지가 격리되어 있어 많은 물류비용이 발생하지만, 셰일가스의 경우 생산지와 소비지가 보다 인접한 곳에 분포하고 있어 운송비용이 저렴하다.



<Fig 1> Map of Regions with Shale Gas with Resource Estimate(red) and Lack of Assessment(yellow)[8].

셋째, 자원 활용의 안정성 및 편의성이다. 앞서 언급한 것과 같이, 셰일가스의 화학적 구성은 기존의 전통식 천연가스와 동일하여 발전이나 난방, 운송, 석유화학 분야, 액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas) 등으로 사용범위가 넓다. 엄청난 매장량으로 인하여 안정적인 수급이 가능하고, 기존의 에너지 소비구조를 개선할 필요가 없다. 반면에 조력, 풍력, 태양열 등 신재생 에너지의 경우, 주로 전기에너지 형태로 생산되어 사용범위가 제한적이다. 또한 기술의 발달로 생산성이 향상되고 있으나 시장성 확보 및 대량생산체제 구축, 에너지 소비구조 인프라 개선에 많은 시간과 비용이 필요하다.

<Table 2> Ranking of Global Shale Gas and its Conventional Gas Reserves[9].

Rank	Country	Shale gas reserves	Conventional gas reserves (Units: trillion m³)
1	China	36.1	3.03
2	U.S	24.41	7.72
3	Argentina	21.92	0.38
4	Mexico	19.28	0.34
5	Republic of South Africa	13.73	-
6	Australia	11.21	3.11
7	Canada	10.99	1.76
8	Libya	8.21	1.55
9	Algeria	6.54	4.5
10	Brazil	6.4	0.37

넷째, 효과적인 채굴기술이 개발되어 그 생산량이 비약적으로 증가하였기 때문이다. 셰일가스를 추출하는데 사용되는 대표적인 시추방법은 바로 수압파쇄공법(Hydraulic fracturing)이다. 이 기술은 시추관을 가스층과 유정에 수평으로 삽입하는 수평시추법(Horizontal drilling)과 고압(500-1,000기압)의 물을 셰일층에 분사하는 수압파쇄공법(Hydraulic fracturing) 등 2가지 시추공법이 결합하여 만들어졌다. 여기에 사용된 기술들은 이미 예전부터 석유산업 전반에 사용되어온 공법이다. 이미 수압파쇄공법이 1940년대에 석유산업에 사용되었고, 1970년대 수평시추법이 적용되었다. 1999년 미국의 Barnett 셰일지구에서 최초로 2가지 기술을 결합하여 셰일가스를 생산하는데 성공하였고, 본격적인 셰일가스 개발이 시작되었다.

지금까지의 셰일가스 개발은 자본과 첨단기술, 그리고 대량 소비시장을 겸비한 북미를 중심으로 진행되었지만, 점차 중국과 동유럽 등 셰일가스 부존량이 풍부한 지역으로 개발이 확대되고 있다. 이처럼 셰일가스가 세계 에너지 시장에 미치는 영향력이 확대되고 있으며 향후 에너지 공급체계를 재편할 만큼 무한한 가능성을 평가받고 있다. 셰일가스는 차세대 에너지원으로써 여러 이점을 지니고 있음에도 불구하고, 이를 생산하는 과정에서 발생하는 환경문제로 인해 논란이 많다. 다음 장에서는 셰일가스 개발에 관한 전망 및 주요 환경문제에 대해 살펴보고자 하겠다.

### III. 셰일가스 환경적 이슈에 대한 논쟁

#### 1. 셰일가스 개발에 관한 전망

셰일가스 개발은 우리나라 산업전반에도 적지 않은 영향력을 미칠 것으로 전망된다. 이러한 변화에 대하여 보다 빨리 대응하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 지난 2012년 9월, 지식경제부에서는 셰일가스 개발관련 선제적 대응전략을 제시하였다. 먼저 정유, 제철 등 관련업체에

대하여 상대적으로 저렴한 셰일가스 수입을 통해 시장 경쟁력 확보를 권고하였다. 2020년까지 국내 LPG 도입량의 20% 수준까지 셰일가스 비중을 높여, 에너지 안보적 측면에서 안정성을 도모하였다. 또한 “한국형 셰일가스 개발모델”을 제시하고 이를 실현하기 위해, 해외 셰일가스 관련 기업과의 전략적 제휴관계 구축을 위한 방안을 모색하기 위해 노력하였다[10].

앞서 살펴본 것과 같이, 한 곳에 집중적으로 분포하고 있는 것이 아니라 층상으로 넓게 분포하고 있는 셰일가스의 특성으로 인하여 채굴기술 개발은 생산성 향상을 중심으로 진행되었다. 최근에 셰일가스 개발활동이 점차 증가함에 따라 이에 대한 환경적 논쟁이 끊이지 않고 있다. 이는 셰일가스 개발과정에 있어 가장 큰 방해요소로 작용하고 있으며, 실제로 유럽의 대부분의 국가에서 셰일가스 개발활동이 소극적이다[11].

EIA에서는 향후 셰일가스 개발 전망에 관하여, 낙관론(Golden Rules Case)rhk 비관론(Low Unconventional Case) 등 상반된 시각을 제시하였다. 낙관론에 따르면, 셰일가스 개발과 관련된 환경오염 문제 해결을 통해, 사회적 합의를 이끌어 내어 적극적인 개발활동이 진행될 것으로 전망하고 있다. 이로 인해, 셰일가스 공급이 확대되어 2035년에는 세계에너지 시장의 25%를 차지할 것으로 전망하고 있으며, 2010년 석탄과 석유의 비중이 각각 32%, 28% 차지하였으나, 2035년에는 석탄과 석유의 비중이 각각 27%, 24%로 하락할 것으로 전망하였다. 원자력의 경우, 성장세가 크게 둔화 될 것으로 전망하고 있으나, 신재생에너지의 경우, 저가의 셰일가스 공급에도 불구하고, 성장에 크게 영향을 받지 않을 것으로 전망하였다[12][13].

비관론(Low Unconventional Case)에 따르면, 셰일가스 개발이 정체됨에 따라, 기존의 화석연료인 석탄과 석유의 비중은 그대로 유지되며, 수력과 바이오메스의 성장세가 뚜렷하게 나타날 것으로 전망하였다[13]. 이처럼 셰일가스 개발의 방향은 개발과정에서 촉발되는 환경문제와 밀접한 관련이 있다. 따라서 이와 관련된 환경적 이슈를 반드시 짚고 넘어갈 필요가 있다.

#### 2. 셰일가스 개발을 둘러싼 환경적 이슈

셰일가스를 둘러싼 환경적인 논쟁은 크게 ① 수자원 부족 및 오염문제, ② 온실가스 배출 문제, ③ 토지 훼손 및 지반침하 문제 등으로 요약할 수 있다. 위와 같은 논쟁은 대부분 수압파쇄공법을 이용한 셰일가스 개발 과정에서 비롯된 것이다.

셰일가스 개발에 따른 지표수 및 지하수 고갈 및 오염문제에 관한 주요 논쟁사항은 아래와 같다. 수압파쇄공법에는 다량의 수자원이 소요되는데, 기존의 시추공법에 비하여 1,000배 이상의 용수가 필요하다. 실제로 미국 Marcellus 개발지구에서 수압파쇄공법에 필요한 수자원 확보에 문제가 발생한 적이 있다[4][14].

셰일가스를 추출하기 위해 고압으로 분사되는 혼합물은 물(90.6%), 모래(8.95%), 화학첨가물(0.44%)로 구성되어 있다. 여기에 사용되는 화학물질에 발암물질을 비롯하여 인체에 유해성분이 포함된 것으로 알려지면서 환경론자들을 중심으로 부정적인 여론이 확대되었다.

지하의 시추관에 문제가 발생할 경우에는 지표수와 지하수 모두 영향을 미칠 가능성도 배제할 수 없다. 지하에 설치된 시추관이 파열되거나 약한 지층을 통과하면서 채널링(channeling) 현상으로 인해, 수압파쇄용 용수가 누설되어 수자원 오염이 발생할 수 있다. 실제로 미국 셰일

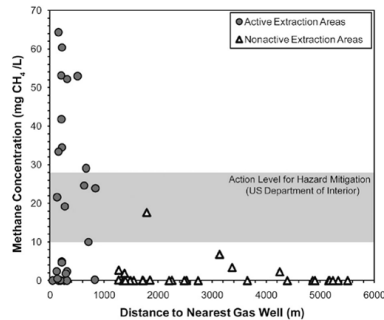
가스 개발지구 주변 거주지의 수도시설에서 천연가스가 검출된 사례가 보고되었다[15].

<Table 3> Fugitive Methane Emissions Associated with Development of Natural Gas from Conventional Wells and from Shale Formation[6].

	Conventional gas	Shale gas
Emissions during well completion	0.01%	1.9%
Routine venting and equipment leaks at well site	0.3~1.9%	0.3~1.9%
Emissions during liquid unloading	0~0.26%	0~0.26%
Emissions during gas processing	0~0.19%	0~0.19%
Emissions during transport, storage, and distribution	1.4~3.6%	1.4~3.6%
Total emissions	1.7~6.0%	3.6~7.9%

둘째, 셰일가스 개발을 둘러싼 온실가스 배출문제이다. 천연가스 연소 시 발생하는 이산화탄소 배출량이 석탄의 55%, 석유의 70% 수준인 청정에너지로 인식되어 왔다. 하지만, 셰일가스를 채굴하는 과정에서 상당한 양의 온실가스가 대기 중으로 유출되는 문제가 제기되고 있다.

셰일가스 개발 시 누출되는 온실가스의 비율은 전통식 천연가스에 비해 더 높은 것으로 나타난다. 특히, 시추공 개발 및 가스 생산시설을 갖추는 유정완결(well completion) 단계에서 대기 중으로 방출되는 메탄가스가 많은 것으로 나타났다<Table 3>. 그 외에도 수압파쇄공법을 활용해 채굴한 셰일가스가 지표로 용출되거나, 파이프나 밸브와 같은 장비들의 손상으로 인해 유출이 될 수 있으며, 장비의 손상이 없더라도 셰일가스 정제과정, 운송 및 분배 과정에서도 메탄가스가 유출 될 우려가 있다. 이처럼 셰일가스 채굴에서 운송 및 분배에 이르는 전 단계에 걸쳐 셰일가스 누출 위험이 잔존한다. 문제는 메탄가스가 소량만 유출되더라도 지구환경에 악영향을 미칠 수 있다는 것이다. 예를 들어, IPCC 4차보고서에는 메탄의 20년간 지구온난화잠재력(GWP)은 이산화탄소보다 72배가량 강력한 것으로 평가되었다[16].



<Fig 2> Methane Concentrations as A Function of Distance to the Nearest Gas Well from Active(Closed Circles) and Nonactive(Open Triangles) Drilling Area[17].

<Table 3>에서 전통식 천연가스와 셰일가스에서 메탄이 발생되는 양은 정량화 된 값으로 볼

수 있으며 가스 개발지역과 개발지역이 아닌 곳에서의 거리에 따른 대기 중 메탄 농도는 <Fig 2>에서 볼 수 있다. <Fig 2>에서 나타나는 것처럼 셰일가스 채굴정에 가까울수록 메탄의 농도가 높다. 셰일가스 채굴정 1km 내에서는 대기 중 메탄의 농도가 최대 65mg/L로 나타난 반면에 1km 이상 되는 지역에서는 최대가 20mg/L 이하로 나타났다.

셋째, 셰일가스 개발 시 수압파쇄공법을 활용할 경우, 주변지역에 약한 지진을 유발시킬 수 있다는 가능성이 제기되었다. 실제로 셰일가스 개발 주변지역에 1,000회가 넘는 약한 지진이 관측되었다[18]. 뿐만 아니라, 셰일가스 개발과정에 따른 토지훼손도 발생한다. 전통식 천연가스에 비해 생산성이 떨어지는 셰일가스의 경우, 경제성 확보를 위해 지표에 다수의 시추공 설치가 필요하다. 셰일가스 시추정은 저장고, 급수시설 등 부가시설이 추가로 필요하다. 뿐만 아니라, 셰일가스 개발에 따른 토양오염 유형을 분석한 연구에 따르면, 셰일가스 개발에 따른 주요 토양오염 유형으로는 오염원이 지표면에 직접적으로 확산되거나, 수압파쇄에 의한 오염 또는 시추공 균열로 인한 오염 등이 있다[4].

3. 셰일가스 환경적 이슈에 대한 반박

셰일가스 개발을 둘러싼 환경적 이슈들에 대한 반론은 다음과 같다. 첫째, 수질오염에 대한 반론으로는 수압 파쇄에 사용되는 화학첨가물로 인하여 지표면 용수와 지하의 음용수층의 오염 초래하지만, 셰일가스층과 음용수층의 심도가 다르며 <Table 4>, 2010년까지 약 10만 건의 수압파쇄가 실시되었으나 지하수 오염의 확실한 증거는 발견되지 않고 있다.

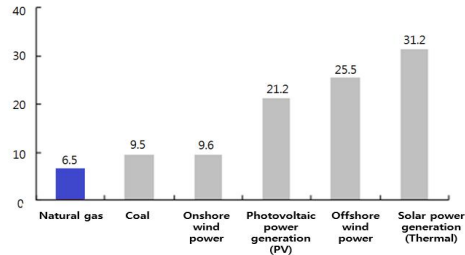
<Table 4> Comparison between Shale Gas Layer and Aquifer for US Shale Gas Districts(Units: m).

	Barnett	Marcellus	Fayetteville	Haynesville
Depth of Shale gas layer	2,000~2,600	1,200~2,600	300~2,100	3,200~4,100
Shale gas layer thickness	30~180	15~60	6~60	60~90
Depth of aquifer	~370	~260	~150	~120

※ Source: DOE(Department of Energy): www.energy.gov/.

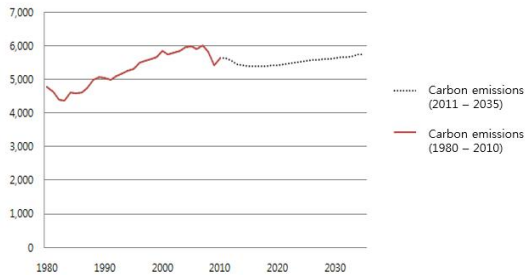
두 번째, 셰일가스 개발로 인해 온실가스 배출이 가속된다는 주장에 대하여, 오히려 셰일가스가 석탄이나 석유 사용의 상당부분을 대체하게 된다면 탄소배출을 감소시키는데 큰 기여를 할 것이라 주장이 가능하다. 1kWh 생산시 배출되는 이산화탄소는 석탄 991g, 석유 782g, 천연가스 549g으로 나타났다<Fig 3>. 이러한 전망은 미국 EIA에서 매년 발표하고 있는 『연간 에너지 전망 보고서(Annual Energy Outlook)』에서 찾아볼 수 있다. 2006년 보고서에 따르면, 2030년의 온실가스 배출량을 2005년 대비 37% 증가 할 것으로 예상하였다[19]. 하지만, 2011년 보고서에서는 2025년의 온실가스 배출량을 2005년 수준을 초과하지 않을 것으로 예측하고 있다<Fig 4>. 이러한 변화는 북미대륙의 셰일가스 개발의 활성화가 상당한 영향력을 미친 것으로 판단된다. 현재 미국 내 전력생산의 절반 가량을 석탄을 이용한 화력발전이 차지하고 있다. 셰일가스 가격이 다른 화석연료에 비해 낮게 형성됨에 따라, 미국 내 천연가스를 이용한 발전비용이 2010년 23.9%에서 2012년 30.4%로 증가하였고, 향후 2035년까지 미국의 발전용량의 60%를 차지 할

것으로 예측하였다. 반면에 석탄 발전 비율은 44.8%에서 37.4%로 하락하였다. 비단 전력생산에 한정되는 것이 아니라 물류, 난방 등 용도로 활용되는 화석연료 대신 천연가스로 대체가 가능하기 때문에 탄소경감에 기여를 할 수 있을 것이다.



<Fig 3> Average Generate Costs by Different Type Fuels in US(Units: Cent/1kWh)[7].

셋째, 토지훼손 문제에 대한 반박으로는 셰일가스를 생산하기 위해 사용되는 토지의 넓이는 태양열이나 풍력과 같은 신재생에너지가 요구하는 토지 면적에 비해 훨씬 적다. 만약 미국의 1,000가구가 1년 간 사용하는 에너지를 생산하기 위해 필요한 토지의 경우, 풍력과 태양열 발전의 경우 24,281m<sup>2</sup>에 반해, 셰일가스 생산시설은 121.4m<sup>2</sup> 불과하다<sup>1)</sup>.



<Fig 4> Prediction of the Total US Carbon Emissions(1980-2035)(Units: 100m tons)[20]

## VI. 셰일가스 환경문제에 대한 대안

### 1. 수자원 부족 및 오염문제

현재까지의 비전통 석유자원 관련 기술은 생산성을 증대시키는 방향으로 진행되어 왔다. 이로 인해, 셰일가스 개발 활동이 환경에 미치는 부정적인 영향에 대한 우려가 확산되고 있다. 따라서 셰일가스 개발이 환경에 미치는 부정적인 영향을 개선하기 위한 연구가 활발히 진행될 필요가 있다. 최근에는 셰일가스 용수 재처리를 위한 연구가 국내외에서 진행되고 있다[21]. 이를 통해, 토양오염 및 수자원 오염문제를 개선할 것으로 기대할 수 있다.

셰일가스를 포함하고 있는 지층은 불투수층 사이에 형성되며, 대수층보다 훨씬 깊은 곳에 위치하고 있다. 따라서 수압파쇄기법에서 사용된 유체가 직접적으로 유출되지 않는 이상 지하수가 오염될 위험은 적다. 하지만, 수압파쇄공법에 사용되는 화학제품과 시추 작업 중 생산되는 메탄이 지하수 및 토양을 오염시킬 수 있는 개연성은 충분하다. 이러한 위험을 방지하기 위한 중앙정부의 제제와 자본의 기술적인 노력이 필요하다. 실제로 프랑스, 독일, 캐나다, 남아공 등 일부 국가에서는 수원지나 지상에 인가가 많은 곳에서는 셰일가스 개발을 할 수 없다[22]. 뿐만 아니라, 미국, 캐나다, 프랑스, 영국, 독일, 스위스 등 세계 각국에서는 환경 영향평가가 종료 될 때까지 수압파쇄기법 사용을 제한하는 모라토리엄 제도를 시행하고 있다[23][24]. 특히, 미국에서는 2005년에 에너지법과 수질보호법이 개정됨에 따라, 기업들은 셰일가스 채굴시 BETX<sup>2)</sup>오염으로부터 자유로운 수압파쇄용 첨가제를 사용하였다[25]. 당국에서는 개발이 끝난 셰일가스 시추정에 대한 폐쇄 조치 및 추후관리를 통해 수압파쇄용수가 주입구를 통해 지하로 유입되는 것을 방지하였다.

기존의 수압파쇄공법을 이용한 셰일가스 개발에는 대량의 물이 필요하다. 따라서 수자원이 부족한 지역에서 분쟁의 소지를 제공 할 것이다. 새로운 기술의 개발은 어쩌면 이러한 난관들을 잠재울 수 있을지 모른다. 최근 캐나다에서 LPG 가스를 이용한 가스 추출법이 개발되었다. 이 기술은 'Liquefied Propane Gas Fracturing', 이른바 'LPG 파쇄법'이라고 한다. LPG 파쇄법은 수압파쇄공법과 비교하여 아래와 같은 장점이 있다. 첫째, 수압파쇄공법과 마찬가지로 이 기술은 다량의 모래와 화학물질이 필요로 하지만, 물을 사용하지 않아 폐수를 정화시킬 필요가 없다. 따라서 물이 부족한 건조지역에서도 충분히 활용이 가능 할 것이다. 둘째, 고온의 지열로 인해 LPG가스의 대부분 증발되어 셰일 암석층에 포함된 유해한 화학성분을 지면으로 끌어올리지 않는다. 하지만 이 기술의 단점은 폭발 위험이 높고, 초기 비용이 많이 든다는 것이다. 또한 수압파쇄공법과 달리, 외부로 공개되지 않아, 캐나다 지역 및 미국 일부 지역에서만 활용하고 있다[26].

### 2. 온실가스 배출 문제

셰일가스를 둘러싼 온실가스 문제는 셰일가스 개발과 연소, 두 가지 측면을 고려해야 한다. 2025년의 온실가스 배출량을 2005년 수준을 초과하지 않을 것으로 예측하고 있다[20]. 이처럼 셰일가스 생산량이 증가하여, 석탄이나 석유 등 기존의 화석연료 사용을 대체한다면 탄소를 감축하는데 기여를 할 것으로 예측하고 있다. 하지만, 비전통 천연가스 개발과정에서 누출되는 온실가스 문제에 대하여 더 많은 심층적인 연구와 논의가 필요하다. 특히 셰일가스 연소 시 발생

1) Source: NaturalGas.org(<http://www.naturalgas.org/shale/shalewells.asp>).

2) 벤젠(benzene), 에틸벤젠(ethyl benzene), 톨루엔(toluene), 그리고 싸이렌(xylene).

하는 기체는 주로 이산화탄소가 대부분이지만, 개발과정에서 누출되는 온실가스의 주성분은 메탄이다. 따라서 현행 셰일가스 생산 공정에서 메탄이 누출되는 경로를 파악하기 위해 추가 연구를 장려할 필요가 있으며, 이를 개선하기 위한 제도적, 기술적 노력이 시급하다. 예를 들어, 지난 2012년 4월, 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 석유 및 천연가스 채굴 시 발생하는 대기오염을 방지하기 위한 규칙을 제정하였다. 주요 내용을 살펴보면 해당 기업체들은 2015년 1월까지 셰일가스 채굴장비에 대한 온실가스 누출을 방지하는 녹색 완료(green completion 또는 Reduced Emission Completions, RECs) 시설 구축을 완료해야 한다 [27].

### 3. 토지 훼손 및 지반침하 문제

셰일가스 개발에 따른 토양오염 문제는 대부분 수압파쇄공법에 사용된 용수로 인해 발생하므로, 정화기술 개발 등 노력을 통해 상당부분 개선될 것으로 판단된다. 토지 훼손 문제는 수평정시추법이 활용됨에 따라 이러한 문제는 상당 부분 개선이 되었으나, 광범위하게 분포하는 셰일가스 특성상 토지훼손이 불가피하다. 따라서 이를 최소화하면서 개발해야 할 것이다. 윤여중(2010)에 따르면 최근에는 하나의 시추공에서 다수의 시추파이프를 증설하는 채굴 공법이 활용됨에 따라, 토지 훼손을 최소화하면서 생산성을 증대시켰다. 지반침하 문제를 방지하기 위해서는 셰일가스 개발지역 주변에 지진감시망을 확충하여 막연한 지진의 공포를 해소시켜야 한다.

## V. 결론

지금까지, 셰일가스 개발동향과 이를 둘러싸고 있는 환경적 이슈에 대해서 살펴보았다. 셰일가스 개발에 따른 환경문제를 해결하기 위해서는 심각성을 공론화하고 이를 개선하기 위해 많은 노력이 필요하다. 셰일가스 개발로 인해 발생하는 부정적인 영향에 대한 과학적 근거의 결여는 자칫 사회구성원들의 반발을 야기할 수 있기 때문이다[28]. 따라서 가장 먼저 셰일개발이 환경에 미치는 영향에 대하여 보다 더 객관적이고 정량적인 평가가 선행되어야 한다.

셰일가스 개발에 따른 주요 환경문제로는 ① 수압파쇄공법에 의한 용수 고갈 및 수자원 오염 문제, ② 셰일가스 개발 및 연소과정에서 발생하는 온실가스 문제, ③ 토지훼손 및 지반침하 문제 등으로 문제로 요약할 수 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로는 다음과 같다.

먼저 수자원 오염 및 고갈 문제는 현재 대다수의 셰일가스 개발 공정에서 활용되고 있는 수압파쇄공법에 기인한다. 수압파쇄공법에는 엄청난 양의 수자원이 소모될 뿐만 아니라, 인체에 유해한 화학물질이 다량으로 첨가되어 많은 논란이 되고 있다. 이를 개선하기 위하여, 수압파쇄공법과 관련된 환경영향 평가를 실시하고, 이를 규제할 수 있는 제도적 장치 마련이 필요하다. 또한 사용된 용수를 정화하는 기술을 개발하거나, 친환경적인 물질을 이용한다면 오염을 사전에 줄일 수 있을 것이다. 또한 LPG 파쇄법과 같이 다량의 수자원을 필요로 하지 않는 채굴기법을 활용하는 것도 하나의 대안이 될 수 있다.

다음으로는 온실가스 배출을 방지하기 위한 대안을 살펴보도록 하겠다. 셰일가스 채굴 시, 온실가스가 가장 많이 배출되는 단계는 바로 유정완결(well completion) 단계이다. 특히, 이때 배출되는 물질은 메탄가스로 알려져 왔으며, 연소 시에 배출되는 이산화탄소보다 수십 배 이상 강력한 온실가스이다. 하지만, 이러한 문제는 상당부분 기술적으로 극복이 가능한 것으로 알려져 있다. 셰일가스 채굴정 건설 시에 온실가스 유출을 최소화하는 녹색 완료(green completion 또는 Reduced Emission Completions, RECs) 시설 구축을 의무화하는 제도적 장치 마련이 필요하다.

마지막으로 토지훼손 및 오염문제를 방지하기 위한 방안을 살펴보도록 하겠다. 대부분의 셰일가스 시추정은 지상에 위치해 있어 어느 정도 토지훼손은 불가피하기 때문에, 이를 최소화해야 할 것이다. 또한 다른 신재생에너지에 비해 필요로 셰일가스 채굴과정에서 시추관이 파손되면, 유독물질이 포함된 수압파쇄용 용수로 인하여 토양오염 뿐만 아니라 대수층 오염까지 우려된다. 만약 시추공 개발 시 다중 구조의 시추 파이프를 시공한다면 이러한 위험을 어느 정도 방지할 수 있을 것이다. 셰일가스 개발지구 주변지역에는 잠재적인 지진발생 가능성이 잔존하기 때문에 지진 감시망을 확충이 필요하다.

이처럼 셰일가스 개발에서 비롯되는 환경문제에 대해 어느 정도 기술적 대응이 가능하다. 이처럼 셰일가스 개발로 인해 발생하게 되는 부정적인 영향들을 상당부분 개선을 기대할 수 있다. 그간의 셰일가스 관련 선진기술 개발은 민간 기업을 중심으로 셰일가스 생산성 향상을 목적으로 진행되었다. 추후에 셰일가스 관련 최신 기술이 개발된다 하더라도 공개여부는 전적으로 경제적 이해관계와 직결되기 때문에 기업의 선택에 의해 결정된다는 한계점이 있다. 상대적으로 경제적 이해관계에서 자유로운 대학 또는 연구기관의 친환경 연구개발 활동을 장려할 필요가 있다.

셰일가스는 어디까지나 부존량이 한정된 자원이다. 셰일가스는 기존의 화석연료 에너지에서 태양에너지, 풍력, 조력, 파력 등 신재생에너지로 전환되는 과도기적 에너지로 인식하고 환경적 문제에 접근할 필요가 있다. 이처럼 적절한 환경규제 및 개발과정에서의 투명성 확보 등 제도적 장치가 마련될 때, 셰일가스 개발에 대한 정당성 확보와 사회구성원의 합의를 도출해 낼 수 있을 것이다. 본 글에서는 셰일가스 개발이 환경에 미치는 직접적인 영향에 국한하여 서술하였기에 대한 개선방안을 제시하고자 하였다. 분명히 존재하는 간접적인 영향은 향후 주제로 남겨 놓았다.

## References

- [1] Lee, K. H., B. Y. Kang, and S. E. Lee. 2012. *Points Suggest a Trend of Shale Gas Development in Major Countries*. World Economy Update 12(11): 1-21.
- [2] Gregory, K. B., R. D. Vidic, and D. A. Dzombak. 2011. *Global Water Sustainability: Water Management Challenges Associated with the Production of Shale Gas by Hydraulic*

- Fracturing. *Elements*. 7: 181-186.
- [3] Wood, R., P. Gilbert, M. Shammina, K. Anderson, A. Footitt, S. Glynn, and F. Nicholls. 2011. *Shale Gas: A Provisional Assessment of Climate Change and Environmental Impacts*. Tyndall Centre for Climate Change Research.
- [4] Han, H. J., K. W. Kim, K. W. Nah, H. W. Park, J. S. Lee, and Y. S. Shim. 2013. Environmental Issues for the Hydraulic Fracturing Applied in the Process of the Shale Gas Development. *Economic and Environmental Geology*. 46(1): 63-69.
- [5] Baek, M. S. 2011. Unconventional Gas Resources & KOGAS' Project. *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.* 48(4): 524-538.
- [6] Howarth, R. W., R. Santoro, and A. Ingraffea. 2011. Methane and the Greenhouse-gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations. *Climatic Change*. 106(1): 679-690.
- [7] Lee, C. H. 2012. *Independence of Energy and Shale Gas Revolution in the United States*. Tongyang Research.
- [8] U.S. EIA. 2011a. *Annual Energy Outlook 2011*. DOE/EIA-0383, www.eia.gov/aeo.
- [9] U.S. EIA. 2011b. *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*. Energy Information Administration & U. S. Advanced Resources International, Inc..
- [10] MIKE. 2012. *Announces Strategy for Shale Gas Preemptive Support*. Ministry of Knowledge Economy.
- [11] Bae, S. G. 2012. Shale Gas, Does It could be Alternative Energy Resource of Fossil Fuel Era ? *SUSTINVEST Issue Report*. 21: 1-16.
- [12] U.S. EIA. 2012. *Golden Rules for a Golden Age of Gas: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas*. International Energy Agency.
- [13] KIET. 2012. Shale Gas Development Boom Impact on the Industry of Korea. *Industrial Economics & Trade Information*. 540: 1-12.
- [14] Western, R. T. 2008. *Development of the Marcellus Shale-water Resource Challenges*. Published by Kirkpatrick and Lockhart Preston Gates Ellis LLP.
- [15] West Virginia Highlands Voice. 2011. *Study Examines Connection between Burning Well Water and Marcellus Shale Drilling*. 2011-08-03. <http://wvhighlands.org/>
- [16] IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis*. IPCC [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html).
- [17] Osborn, S. G., A. Vengosh, N. R. Warner, and R. B. Jackson. 2011. Methane Contamination of Drinking Water Accompanying Gas-well Drilling and Hydraulic Fracturing.

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* pnas.1100682108.
- [18] Saya, M. 2010. *Addressing the Environmental Risks from Shale Gas Development*. Shale Gas Workshop. 27-28
- [19] U.S. EIA. 2006. *Annual Energy Outlook 2006*. DOE/EIA-0383, www.eia.gov/aeo
- [20] U.S. EIA. 2011a. *Annual Energy Outlook 2011*. DOE/EIA-0383, www.eia.gov/aeo
- [21] Koo, J. W., J. H. Han, S. H. Lee, and S. K. Hong. 2012. A Feasibility Study on Shale Gas Plant Water Treatment by Direct Contact Membrane Distillation. *Korean Society for Fluid Machinery*. 16(1): 56-60.
- [22] Lim, J. H. 2012. *Resources to Use 250 Years. Shale Gas Report/Shale Gas Boom in the World Blow*. Energy Economy. 2012. 10. 10.
- [23] Shin, C. H., S. M. Lee, S. I. Kwon, D. J. Park, and Y. S. Lee. 2012. A Classification and A Survey on the Core Technology for Shale Gas Development. *Korean Society of Mineral and Energy Resource Engineers*. 49(3): 395-410.
- [24] Han, W. H. 2012. The Present and Future of Shale Gas Development. *Journal of Electrical World: Monthly Magazine*. 429: 46-52.
- [25] Halliburton. 2007. *Ultra Clean Fracturing Fluid Technology*. [http://www.halliburton.com/public/pe/contents/Data\\_Sheets/web/H/H05926.pdf](http://www.halliburton.com/public/pe/contents/Data_Sheets/web/H/H05926.pdf)
- [26] Hwang, H. K. 2012. *[New Growth Product] Canada, Outlook for the Possibility of Participation of South Korea and the Current State of Shale Gas Development*. KOTRA. KOTRA & globalwindow.org
- [27] U.S. EPA. 2012. *Summary of Key Changes to the New Source Performance Standards*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [28] Yoon, Y. J. 2010. *Shale Gas Revolution Makes Stability of Natural Gas Prices*. LG Business Insight.

#### 참고문헌

- [1] 이권형, 강부균, 이시은. 2012. 주요국의 셰일 가스 개발 동향과 시사점. *오늘의 세계경제* 12(11): 1-21.
- [4] 한협조, 김경웅, 나경원, 박희원, 이진수, 심연식. 2013. 셰일가스 개발 시 적용되는 수압파쇄공법에 의한 환경문제. *자원환경지질*. 46(1): 63-69.
- [7] 이철희. 2012. 미국의 셰일가스 혁명과 에너지 독립, 동양증권 경제분석. 2012. 3. 12.

- [10] 지식경제부. 2012. 셰일가스 선제적 대응을 위한 종합전략 발표. 지식경제부 보도자료. 2012. 9. 17.
- [11] 배세곤. 2012. 셰일가스, 화석연료시대의 새로운 대안인가? SUSTINVEST Issue Report. 21: 1-16.
- [13] 산업연구원. 2012. 셰일가스 개발분이 우리나라 산업에 미치는 영향. 산업경제정보. 540: 1-12.
- [21] 구재욱, 한지희, 이상호, 홍승관. 2012. 셰일가스 플랜트 용수 처리를 위한 직접 접촉 막 증발법 적용 가능성 연구. 한국유체기계학회 논문집. 16(1): 56-60.
- [22] 임정혁. 2012. 250년 쓸 자원, 셰일가스. 기획/세계에 부는 셰일가스 열풍. 에너지경제. 2012. 10. 10.
- [23] 신창훈, 이선민, 권순일, 박대진, 이영수. 2012. 셰일가스 개발 핵심기술 조사 및 분류. 한국지구시스템공학회지. 49(3): 395-410.
- [24] 한원희. 2012. 셰일가스(Shale Gas) 개발 현황 및 전망. 대한전기협회 전기저널. 429: 46-52.
- [26] 황홍구. 2012. [신성장상품]캐나다, 셰일가스 개발현황 및 한국 참여 가능성 전망. 대한무역투자진흥공사. KOTRA & globalwindow.org.
- [28] 윤여중. 2010. 셰일가스 혁명이 천연가스 가격 안정화 이룬다. LG Business Insight.

**오재호:** 미국 오레곤 주립대학교에서 이학박사 학위(논문: Physically-based general circulation model parameterization of clouds and their radiative interaction. Department of Atmospheric Sciences, 1989)를 취득하고, 현재 부경대학교 환경대기과학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 기상학, 기후학, 기후 모델링, 기후변화, 위기관리 등이며, 기후변화 교과서(공저, 2011), 지방자치단체의 재난대응론(공저, 2009) 재난관리론(공저, 2006) 등의 저서와 주요 논문으로는 “20세기 이후 발생한 재난 특성 분석을 통한 미래 변동추이 전망(2013)”, “기후위기: 국가위기관리 차원에서 대응 방안 제안(2012)”, “지자체 방재 대책을 위한 풍수해 정보 시스템 구축 방향(2010)” 등이 있다(jhoh@pknu.ac.kr).

**진현근:** 부경대학교 환경대기과학과 석사과정에 재학 중이다(hkjin@pknu.ac.kr).

**선민아:** 부경대학교 환경대기과학과에서 석사학위를 취득하고, 현재 국립기상연구소에 재직 중이다(minah421@gmail.com).

**장지연:** 부경대학교 환경대기과학과에서 석사학위를 취득하고, 현재 국립기상연구소에 재직 중이다(jyjang415@gmail.com).