

정책 이슈페이퍼 14-10

자원개발사업에 대한 기후변화 리스크 분석과 대응방안 연구

박지민 외

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 조사 및 분석 결과 / 2
- III. 시사점 및 정책 제언 / 11
- IV. 기대 효과 / 15
- <참고자료> / 16

I. 배경 및 문제점

□ 기후변화는 자원개발사업의 주요 리스크 중 하나로 대두

- 최근 전 세계에서 기상 이변이 빈발하고 그 피해 규모도 크게 늘면서 EU 등 선진국을 중심으로 온실가스 배출 저감을 위한 다양한 정책들이 도입되어 확대 운영되고 있음.
- 이에 따라 석유와 천연가스, 석탄 등 에너지자원을 생산·공급하는 자원개발 부문도 기후변화에 따른 물리적 기후요인 변화와 규제 강화, 신재생에너지 등 경쟁기술의 개발 등 새로운 리스크에 직면하고 있는 것으로 평가

□ 최근 자원개발사업이 기후변화에 취약한 해양지역과 비전통자원으로 확대되면서 기후변화 리스크 영향은 더욱 커질 것으로 예상

- 더욱이 자원개발사업은 20~30년이 소요되는 중장기 사업인데다 투자회수에 평균 10~15년이 소요되므로 미래에 닥칠 리스크에 적절히 대응하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있음.

□ 기후변화에 능동적으로 대응할 수 있도록 자원개발사업에 대한 기후변화 리스크요인을 분석하고 이에 대한 대응방안 수립이 필요

- 이에 본 연구는 기후변화에 따른 자원개발사업의 리스크 양상을 살펴보고 주요 자원개발기업의 기후변화 리스크요인 인식과 대응전략을 분석하여 시사점을 제시하고자 함.
- 연구대상은 에너지·광물자원중 석유·천연가스 개발사업으로 한정하며, 기후변화 규제의 불확실성과 기후변화와 관련한 기상 이변의 발생빈도나 크기를 정확하게 예측할 수 없는 제약 등으로 인해 기후변화 리스크 분석은 주로 정성적으로 접근

Ⅱ. 조사 및 분석 결과

1. 석유·천연가스 개발사업의 온실가스 배출과 주요 특징

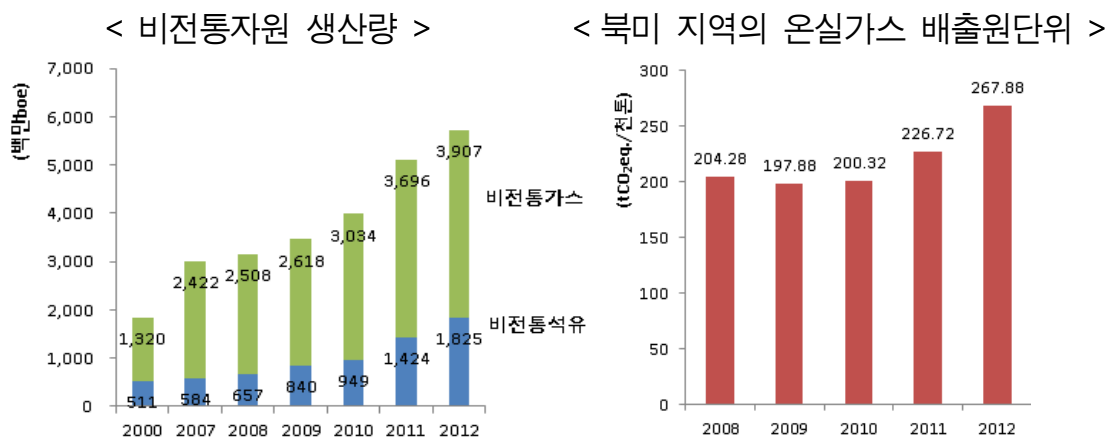
□ 석유·천연가스 탐사 및 생산단계에서는 최종소비단계보다 작지만 상당량의 온실가스를 배출

○ 석유·천연가스 탐사 및 생산 단계에서의 온실가스 배출량은 전 세계 온실가스 총배출량의 약 1~3%를 차지하는 것으로 알려짐(Carbon Trust, 2008).

□ 최근 석유·천연가스 탐사 및 생산부문의 단위생산당 온실가스 배출량은 증가세

○ 지난 10년간(2002~12년) 석유·천연가스 탐사 및 생산부문의 단위생산당 온실가스 배출량은 연 0.5% 증가(OGP, '02) $152t CO_2eq./kt \rightarrow$ ('12) $160t CO_2eq./kt$)

○ 이는 에너지 집약적인 생산회수증진 공정의 사용 증가와 전통자원에 비해 탄소 집약적인 오일샌드, 셰일가스 등 비전통자원 개발 확대, 가스 소각이 많이 일어나는 아프리카 지역의 생산량 증가 등에 기인하는 것으로 평가됨.



주: OECD/IEA와 OGP자료를 기초로 작성

- 온실가스 저감기술개발 및 생산성 증가가 제대로 이루어지지 않으면 향후에도 전통자원에 비해 탄소원단위가 높은 비전통자원 개발사업 확대 등으로 석유·천연가스 탐사 및 생산부문의 온실가스 배출량은 더욱 늘어날 전망
- 특히 셰일가스 생산과정에서는 전통가스와 비교하여 배기와 탈루성 누출로 인한 CH_4 배출이 훨씬 많은 것으로 나타나 온실가스 배출원단위는 더욱 커질 수 있음.
 - * 지구온난화지수를 20년 기준으로 적용시 셰일가스의 전주기 온실가스 배출량이 단위열량당 석탄보다 20%에서 2배 가까이 큰 것으로 나타나(Howarth et al., 2011) 현재 석탄과 비교한 셰일가스 전주기 온실가스 배출량이 논란이 되고 있음.

2. 석유·천연가스 개발사업에 대한 기후변화 리스크¹⁾

- 석유·천연가스 개발사업은 기존의 고유한 탐사 리스크, 경제적 리스크에 더해 기후변화로 과거에는 없던 새로운 규제 리스크와 물리적 리스크, 소비자 행동 변화 등의 리스크에 직면
- 기후변화로 인한 규제(온실가스 감축목표 설정, 배출권거래제, 탄소세, 저탄소연료기준, 에너지효율 및 신재생에너지보급 보급 등) 도입 및 강화, 물리적 기후요인 변화(해수면 상승, 허리케인 증가 등), 소비자 행동변화, 기업평판 하락 등은 석유·천연가스 개발사업의 새로운 리스크 요인으로 대두
- CDP와 미국 증권거래위원회에 제출한 보고서 분석 결과, 대부분의 석유·천연가스 개발기업도 정도의 차이는 있지만 이들 리스크에 노출되어 있는 것으로 평가하고 있음.

1) 본 연구에서는 탄소정보공개프로젝트(CDP; Carbon Disclosure Project)의 기후변화 리스크 분류 기준을 이용하여 석유·천연가스 개발사업에 대한 기후변화 리스크를 분석

- 특히 ExxonMobil, Shell, Chevron, Eni 등 주요 석유개발기업은 기후변화 관련 정책 및 규제가 앞으로 사업운영 및 재정에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상하고 있으며, 이를 향후 투자계획에 반영하고 있음.

□ 이들 리스크는 석유·천연가스 수요 변화, 운영·자본비용 증가, 생산성 감소, 조업 지역 제한 등을 초래해 사업경제성과 확인매장량의 가치 변화, 기업 가치 변화 등을 가져올 것으로 예상되며, 그 영향은 지역, 국가에 따라 다르게 나타날 전망

○ 기후변화 규제와 물리적 기후요인 변화, 소비자행동변화 등은 석유·천연가스 수요 변화(변동성 확대)를 가져올 수 있으며, 이는 석유·천연가스 개발 사업의 매출액 및 자산가치 변동으로 이어져 주요 경제적·재정적 리스크로 작용할 수 있음.

- OECD/IEA(2014)는 산업화 이전 대비 장기간 평균 상승 온도를 2℃ 이내로 억제시키기 위한 강력한 에너지·기후변화정책(규제) 도입을 가정한 450 시나리오 하에서, 2040년 석유 수요는 신(新)정책시나리오와 현(現)정책시나리오보다 각각 32.0mb/d와 44.7mb/d 감소할 것으로 전망*

* 이는 2013년 세계 석유 수요(90.1mb/d)의 각각 1/3과 1/2에 해당

- 천연가스 수요도 450시나리오 하에서, 신(新)정책시나리오와 현(現)정책시나리오보다 2040년에 각각 1.1tcm('12년 세계 천연가스 수요의 1/3에 해당)과 1.6tcm('12년 세계 천연가스 수요의 1/2에 해당) 감소할 것으로 전망

* 다만 한 가지 주목할 점은 450시나리오 하에서도 천연가스 수요는 2040년까지 증가세를 나타내는 것으로, 천연가스가 탄소제약환경에서 과도기적 구실을 할 것으로 평가됨.

○ 기후변화 규제에 따른 추가적인 탄소비용 발생, 물리적 기후요인 변화로 인한 손실비용 발생과 생산성 감소 등은 운영·자본비용 증가로 이어져 사업경제성과 확인매장량의 가치 변화 등을 가져올 수 있음.

* 확인매장량은 지질학적 및 공학적 자료의 평가 결과 현재의 경제적 조건·운영방법·국가의 법체계 하에서 상업적으로 회수가 가능할 것이 합리적으로 확실시되는 평가량을 의미하며, 기후변화 규제 및 물리적 기후요인 변화로 경제적 조건 등이 변화하게 되면 확인매장량의 가치도 변할 것으로 예측됨.

- 탄소세 부과에 따른 석유·천연가스 개발사업의 경제성 변화 분석 결과, 온실가스 $1tCO_2eq.$ 배출당 탄소비용이 80불 부과될 경우 전통원유와 오일샌드의 (내부)수익률은 각각 0.2%p와 0.5%p 하락하는 것으로 추정됨.

* 본 연구에서는 할인현금수지법을 이용하여 경제성 분석을 실시하였으며, 전통원유와 오일샌드의 온실가스 배출량은 boe당 각각 $0.043tCO_2eq.$ 와 $0.138tCO_2eq.$ 로 가정함.

- 기후변화 규제 확산 및 강화로 규제 리스크는 향후 확대될 것으로 보이나, 당분간 규제 리스크는 사업경제성에 직접적 리스크로 작용하기 보다는 석유·천연가스 수요를 변화시킴으로써 그 파급효과가 이들 에너지를 생산·공급하는 석유·천연가스 개발사업에 리스크로 작용하는 형태가 될 것임.

- 석유·천연가스 개발사업의 온실가스 배출량이 증가하고 있기는 하지만 그 양이 여전히 최종소비부문에 비해 미미하다는 점, EU-ETS의 경우 석유·천연가스 개발사업이 탄소누출사업으로 분류되어 2019년까지 무상할당한다는 점 등을 고려할 때, 당분간 기후변화 규제는 석유·천연가스 개발사업의 경제성에 직접적인 리스크 요인으로 작용하지는 않을 것임.

- 향후 배출권거래제가 강화되고 노르웨이의 탄소세와 같은 규제 확산시 석유·천연가스 개발사업의 경제성에 직접적인 리스크 요인으로 작용 전망

* 노르웨이는 자국 대륙붕에서 석유와 가스를 생산하고 있는 운영자를 포함한 모든 CO_2 배출업자에 대해 2014년부터 CO_2 1톤당 25~419크로네(4~69불)의 탄소세를 부과하고 있으며, 해양석유산업이 가장 높은 세금부담을 안고 있음.

□ 물리적 리스크는 석유·천연가스 개발지역이 기후변화에 취약한 해양 및 심해, 초심해로 확대되고, 개발자원이 물 스트레스 지표 변화에 취약한 셰일가스 등 비전통자원으로 확대되면서 더욱 커질 전망

○ 상대적으로 개발이 용이한 육상 유전의 성숙화와 자원보유국의 외국기업에 대한 유망 지역 접근제약 등으로 개발지역이 해양으로 확대되고 있어 물리적 리스크에 대한 대처와 적응방안 마련이 시급

* 해양에는 기술적으로 회수가능한 전통석유 자원량(resources)의 45%(1조 2천억 배럴)가 부존되어 있으며 이중 1/4은 수심 400m 이상의 심해에 부존(OECD/IEA, 2013)

○ 기후변화로 인한 수자원 고갈은 셰일가스, 오일샌드 등 비전통자원 개발에 심각한 리스크를 초래할 전망

* 셰일가스 또는 타이트가스 개발에 가스정(well) 당 수천에서 2만m³의 물이 필요하며 이들 자원은 물이 부족할 경우 생산이 어려울 것으로 전망(OECD/IEA, 2013)

□ 물리적 리스크는 직접적 물리적 손실로 인한 조업중단, 비용증가, 생산성 감소 등과 함께, 물리적 기후변화의 결과로 규제 신설, 지역사회와의 마찰, 평판 하락 등으로 이어질 수 있어 그 파급효과가 클 것으로 평가됨.

○ 물리적 기후요인 변화로 인한 기상재해는 설비안전 및 보건규제 강화로 이어질 수 있으며, 이는 상당한 자본비용 증가를 가져와 상류부문의 경제적 리스크를 심화시킬 수 있음.

○ 또한 이들 리스크에 대한 적절한 대응 실패로 막대한 경제적 손실을 입었을 경우 이는 기업의 운영능력에 대한 평판 하락으로 이어져 투자자들의 외면을 받을 수 있으며 손실책임을 둘러싼 운영권자와 지분참여기업 간 법정 소송으로 번질 수도 있음.

* 실제로 2010년 BP는 기후변화로 인한 사고는 아니지만 미국 멕시코만 원유 유출 사태로 투자자인 미국 오하이오 연금펀드(Ohio pension fund)와 미구 뉴욕주공동퇴직기금(New York State Common Retirement Fund)으로부터 소송을 제기 당함(Ceres, 2012).

- 중동, 아프리카 등 물 부족국가에서는 물이용을 두고 지역사회와의 마찰이나 사회적 소요가 발생하는 등의 국가·지정학적 리스크가 확대될 수 있음.

* 중동 지역('13년말 기준 세계 석유·가스 확인매장량의 46% 차지)에서는 수자원 고갈이 주요 물리적 리스크 요인중의 하나로 평가됨(OECD/IEA, 2013).

□ 기후변화로 인한 소비자 행동 변화, 평판 하락, 불안정한 사회·경제적 환경 등의 리스크는 사업경제성에 직접적으로 작용하기보다는 간접적으로 영향을 줄 것으로 보이며, 단기간에 리스크 요인으로 작용하지는 않을 전망

- 이들 리스크는 간접적으로 석유·천연가스 개발사업에 영향을 줄 것으로 평가되며, 발생가능성과 영향 정도는 지역, 국가에 따라 다르게 나타날 것으로 보임.

- 소비자 행동 변화는 기후변화에 대한 소비자의 인식 및 이해 확산으로 석유·천연가스 수요를 변화시켜 그 파급효과가 이들 에너지를 생산·공급하는 석유·천연가스 개발사업에 경제적 리스크로 작용할 것임.

- 평판 하락은 기후변화 리스크 대응 실패 등에서 비롯될 수 있으며, 이는 기업의 주가 하락, 재원조달의 어려움 등으로 이어져 그 파급효과가 석유·천연가스 개발사업의 투자여력, 재원조달에 부정적으로 미칠 수 있음.

- 기후변화에 대한 소비자와 투자자의 이해가 선진국을 중심으로 확산되고 있지만 경제적 상황 등에 밀려 직접적인 행동 변화로 나타나기에는 많은 시간이 필요할 것이므로 가까운 미래에 영향을 주지는 않을 것으로 보임.

* 메이저 기업인 Chevron은 이들 리스크가 영향을 주는 데 10년 이상이 걸릴 것으로 예측

- 그러나 석유·천연가스 개발사업이 중장기 사업이라는 점을 고려할 때 신규 투자사업 결정 시 이들 리스크에 대한 충분한 고려와 대응 방안 마련은 중요하다고 할 수 있음.

3. 주요 석유·천연가스 개발기업의 대응방안²⁾

□ 석유·천연가스 개발기업도 최근 기후변화 대응에 적극적 방안 모색

- 최근 석유·천연가스 개발기업은 탄소가격을 상류부문 사업성 평가에 고려하고 물리적 기후변화에 대한 상류자산의 취약성을 평가, 적응방안을 마련하는 등 기후변화 대응에 좀 더 적극적인 행보를 보이고 있음.

* 미국의 석유개발기업인 Devon은 2011년부터 $tCO_2eq.$ 당 15불의 탄소 비용을 고려하여 캐나다 오일샌드 사업을 평가

□ 기후변화 대응을 위한 주요 전략

- 기후변화 리스크 및 기회요인을 충분히 분석하여 이를 기업의 전사적 위험 관리프로그램에 통합하여 관리

* Chevron은 전사적 수준에서 기후변화 위험·기회요인을 이사회 산하 공공정책위원회와 HSE그룹, 경영계획, 탄소시장팀, 세브론기술벤처에서 평가하고 있으며, HSE그룹은 운영리스크를 지속적으로 인지하고 내부 위험관리 프로세스를 개발하여 운영리스크를 확인·해결

- 기후변화를 고려한 단기 및 장기 사업전략 수립, 추진

* Total은 2008년부터 기존설비의 자본지출을 포함한 모든 신규 투자결정 시 탄소 비용을 고려하고 있으며, 장기적으로 탄소원단위 감축을 위해 원유와 가스 간, 전통 자원과 비전통 자원 간 균형 있는 자산 포트폴리오를 설정할 계획임.

2) 본 연구에서는 국내 자원개발기업의 기후변화 대응과 정책에 시사점을 도출하고자 Chevron과 Total, Eni, Anadarko, 그리고 대표적인 오일샌드 개발기업인 Suncor의 기후변화 대응전략을 분석함.

- 기후변화 관련 위험을 관리하고 그 영향을 저감시키기 위한 전략으로 모든 설비에 대한 총괄적인 인벤토리 작성과 온실가스 배출자료를 포함한 통합정보시스템 개발을 추진
 - * Chevron과 Anadarko, Suncor 등은 온실가스 배출 인벤토리를 작성하고 온실가스 배출 및 에너지사용량 보고 시스템 개선을 지속적으로 추진
- 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축방안으로 상류부문의 가스 소각 감축을 추진
 - * Total의 사례를 살펴보면, Total은 전체 온실가스 배출의 약 30%가 수반가스의 소각으로부터 발생하고 있어 온실가스 감축에 있어서 가스 소각 감축은 매우 중요하다고 할 수 있음.
- 온실가스 감축과 수익 창출을 위해 에너지효율 개선과 CCS 기술개발을 추진
 - * Total은 에너지효율 개선을 통해 에너지소비를 감소시켜 온실가스 배출을 감축시키는 전략을 추진하고 있으며, 상류부문의 경우 설비의 에너지진단과 다른 형태의 설비들과의 에너지 효율성 비교를 통해 신규 프로젝트 설계의 최적화를 추진하고 있음.
 - * Suncor는 대표적인 오일샌드 개발기업으로 상류부문 온실가스 배출량의 대부분이 오일샌드 개발 및 생산으로부터 발생하고, 향후에도 이러한 추이가 바뀌지 않을 것으로 보여 온실가스 저감 방안으로 에너지효율 개선과 함께 CCS 개발을 적극 추진하는 것으로 보임.
- 오일샌드 개발기업인 Suncor를 제외한 Chevron과 Eni, Total, Anadarko는 기후변화 대응에 있어 천연가스가 주요한 역할을 수행할 것으로 보고 천연가스 생산 증가 및 생산효율성 개선도 추진
 - 예컨대 Suncor와 같이 자산이 대부분 석유로 구성되어 있는 기업을 제외하고는 탄소규제 하에서 천연가스가 경쟁력 있는 에너지원으로 자리매김할 것으로 보고 기후변화 대응전략으로 천연가스 개발 확대를 추진하고 있음.
- 셰일가스 개발사업을 대규모로 추진하고 있는 Anadarko는 운영 과정에

서의 배기와 탈루성 누출로 인한 CH_4 배출을 감소시키기 위해 가스회수 시스템 설치와 공압펌프의 전력원을 가스에서 태양발전으로 대체, 비효율적인 압축기 교체 등을 추진하고 있음.

- 장기적으로는 환류유체로부터 천연가스를 분리하여 판매하는 시스템 개발을 통해 CH_4 배기 배출량을 크게 줄이는 전략을 가지고 있음.
- 이는 새로운 수익원 창출로도 이어질 수 있어 Anadarko에 새로운 좋은 사업기회가 될 것으로 보임.

○ 그 외 재생에너지원 개발과 기후변화 정책입안자 및 산·학·연과의 공조 강화, 기후변화 관련 정보 공개 등을 기후변화 대응전략으로 추진

○ 기후변화 대응방안으로 기업 수준의 온실가스 저감 목표보다는 운영상이나 프로젝트 수준에서 에너지효율 개선을 추진하는 것으로 나타남.

- 배출감축 목표 설정은 중·소규모 기업에는 경제적으로 큰 부담으로 작용할 수 있으며 자칫 사업축소로 이어질 수 있기 때문

* Anadarko는 신규 개발로 인해 향후 5년 간 온실가스 배출이 늘어날 것으로 예측하여 온실가스 배출량 감축 목표를 설정하지는 않고 있음.

- 그러나 이들 기업도 장기적인 관점에서는 기후변화 규제 강화에 대비하여 온실가스 배출감축 목표설정이 필요하다고 판단됨.

Ⅲ. 시사점 및 정책 제언

□ 국내 기업 및 자원개발정책은 기후변화 관련 리스크에 능동적 대응 필요

- 한국석유공사를 제외하고는 국내 기업 대부분의 석유·천연가스 개발사업은 규모가 작는데다 운영권자가 아닌 지분참여형식으로 참여하고 있어, 그동안 기후변화 리스크 관리는 상대적으로 소홀히 다루어져 왔음.
- 그러나 최근 탄소규제압력이 강화되고 있고, 상대적으로 기후변화에 취약한 해양지역과 셰일가스, 오일샌드 등 비전통자원 개발에 대한 국내 기업의 진출이 확대되고 있음.
- 따라서 국내 석유·천연가스 개발기업도 온실가스 배출저감 노력과 더불어, 기후변화에 따라 불가피하게 발생할 리스크 요인을 보다 충분히 평가하고 관리할 필요가 있음.

□ 정책적으로 기후변화 대응 기반 구축을 위한 정보 및 기술개발, 인력양성 등 적극 추진하여 자원개발경쟁력 강화 도모

- 기후변화 관련 정책 및 규제 추진동향과 물리적 기후변화 추이 및 전망, 주요 자원개발기업의 대응전략 등 기초자료를 제공하고, 기후변화 리스크 평가 틀 개발과 정성적·정량적 평가, 향후 전개에 대한 시나리오 분석 등 소프트웨어 측면에서 적극적으로 지원할 필요가 있음.
- 에너지효율 개선과 CCS 등 온실가스 감축을 위한 기술개발과 인력양성을 정부 차원에서 산·학·연과 함께 적극적으로 추진할 필요가 있음.
- 온실가스 감축 등 기후변화 대응기술은 탄소규제하에서 세계적으로 수요가 증가할 것으로 예상되어 새로운 국가 경제수익원이 될 수 있으므로 기

술개발에 인센티브 정책이 도입될 필요가 있음.

□ 기업 차원에서는 기후변화 리스크 요인을 자산평가 및 프로젝트 투자결정에 반영하고, 전사적 수준에서도 기후변화 리스크를 고려한 전사적 위험관리프로그램 구축과 경영계획 수립

- 먼저 현재 보유하고 있는 자산 및 프로젝트에 대한 기후변화 리스크 요인을 파악하고 그 영향 정도를 정성적·정량적으로 평가하여 여기에 효과적으로 대응 및 적응할 수 있는 방안을 마련하여 추진할 필요가 있음.
 - 대응 및 적응 방안은 기후변화 리스크의 영향과 대응방안의 경제성 등을 비교하여 단기적 추진방안과 장기적 추진방안으로 구분하여 마련하는 것이 효과적일 것으로 보이며, 기후변화 리스크 변화를 지속적으로 관찰하고 이러한 리스크 평가과정을 주기적으로 실시하여 리스크를 해소할 필요
- 신규 자산 인수 및 프로젝트 투자 결정에서도 기후변화 리스크 평가를 고려하여 추진할 필요가 있음.
 - 장기적으로는 기후변화를 고려한 자산 포트폴리오 설정도 고려할 필요가 있음. 즉, 자산 포트폴리오 설정 시 탄소원단위 감축을 고려한 원유와 가스 간, 전통 자원과 비전통 자원 간 균형 있는 자산을 구성하거나 물리적 리스크를 고려한 육상과 해상 간의 자산조정, 규제 리스크를 고려한 지역 간 자산조정 등이 필요할 것으로 보임.
- 전사적 수준에서도 탄소규제 및 물리적 기후변화, 소비자 행동 변화 등 기후변화 리스크로 인한 재정적, 운영상의 영향을 예측하여 이를 경영계획에 반영할 필요가 있음.
 - 이를 위해 기후변화 리스크 영향을 평가하는 툴(tool)을 개발하고 탄소가격, 원유가 등을 독립변수로 한 시나리오에 따른 영향 분석이 이루어진다

면 기후변화 리스크 관리가 더욱 효과적으로 이루어질 것임.

- 기후변화 리스크가 전사적 수준 및 자산, 프로젝트 수준에서 효과적으로 관리될 수 있도록 조직 정비도 추진할 필요가 있음.

□ 온실가스 배출 인벤토리 작성 및 감축자료를 포함한 통합시스템 개발

- 온실가스 배출 인벤토리는 모든 설비에 대해 가능하다면 자세하게 작성하고, 에너지사용량, 에너지효율 개선 등을 통한 온실가스 배출량 감축자료를 포함하는 통합정보시스템 개발하여 실행할 필요가 있음.

□ 규제 리스크에 대비한 온실가스 감축방안 마련 및 적용

- 현재 에너지효율 개선, 상류부문 가스 소각 감축, CO_2 를 이용한 EOR 등이 가장 널리 이용되는 온실가스 감축방안이므로, 국내 기업도 이들 방안 적용을 우선적으로 고려할 필요가 있음.
- 에너지효율 개선의 경우, 상류부문 설비에 대한 에너지관리시스템을 구축하여 에너지효율 개선을 추진하고, 신규 프로젝트 추진 시 기존 설비와 다른 형태의 설비들과의 에너지 효율성 비교를 통해 설비의 에너지 효율 최적화를 추진할 필요가 있음.
- 기술개발과 함께, 온실가스 감축방법의 경제성을 평가하는 툴(tool)을 마련하여 평가한다면 더욱 효과적으로 온실가스를 감축할 수 있을 것임.
- 셰일가스 개발사업의 경우 운영과정에서의 배기와 탈루성 누출로 인한 CH_4 배출을 감소시키는 방안을 마련하는 것도 필요할 것으로 보임.
- 최근 셰일가스의 CH_4 배출에 대한 기후변화 영향을 둘러싼 논쟁이 계속되고 있어 향후 기후변화 규제 강화에 대비한 CH_4 배출 감소 방안을 마련하는 것은 중요하다고 할 수 있음.

- 다만 기후변화 규제 도입은 다양한 정치적·경제적·환경적 요인에 영향을 받으므로 실제로 CH_4 배출 규제가 어떤 식으로 도입될지, 얼마큼의 영향을 줄 수 있는지 등에 대해서는 좀 더 면밀한 분석이 요구됨.
- 또한 기후변화로 인한 수자원 고갈이나 수자원 이용 규제에 대비하여 수압과쇄 시 물 이용량을 최소화하면서 회수율을 높일 수 있는 기술 또는 물을 대체할 수 있는 기술을 개발하는 것도 추진할 필요가 있음.

□ 온실가스 감축 및 수익 창출 방안으로 CCS, 천연가스 등의 저탄소에너지원 개발 확대 추진

- CCS는 온실가스 감축뿐 아니라 탄소규제하에서 새로운 사업기회로 작용할 수 있어 국내 기업도 기술개발을 적극 추진할 필요가 있음.
- 국내 발전부문 등에서도 사업수요가 많아 CCS 기술개발을 통한 상용화가 이루어진다면 새로운 수익원 창출이 가능할 것으로 보임.
- CCS 기술개발은 Total 등 주요 기업 또는 연구기관과의 공조체계를 구축하여 공동으로 R&D를 추진하거나 파일럿 프로젝트에 참여하는 것이 더욱 효과적일 것으로 보이므로 선진 기술을 보유한 석유개발기업 또는 연구기관과의 공조체계를 구축할 필요가 있음.
- 천연가스도 탄소규제하에서 중요한 과도기적 역할을 수행할 것으로 전망되므로 국내 기업도 다른 석유개발기업과 같이 천연가스 개발사업 확대를 추진할 필요가 있음.

□ 기후변화 정책입안자 및 산·학·연과의 공조체계 강화

- 기후변화 정책 입안자 및 산·학·연과의 공조체계는 기후변화 정책 및 규제 마련 시 기업의 현실적인 입장이 반영되도록 도울 수 있으며, 기

후변화 대응을 더욱 효과적으로 추진할 수 있도록 함.

- 또한 기후변화 리스크 평가 툴(tool)과 온실가스 감축기술개발, CCS 기술개발 등은 기업 단독으로 추진하기보다는 산·학·연과의 공조체계를 통해 추진한다면 더욱 효과적으로 이루어질 수 있음.

IV. 기대 효과

☐ 자원개발 부문 정책에 대한 기후변화 대응 능력 제고에 기여

- 자원개발 부문에 대한 기후변화 리스크 분석과 대응전략 도출을 통해 장기 자원개발 사업 안정을 위한 정책 대안 제공

☐ 국내 자원개발기업의 기후변화 대응전략 수립의 기초자료로 활용

- 주요 자원개발기업의 기후변화 대응전략 분석 및 시사점 도출을 통해 국내 자원개발기업의 기후변화 대응전략 수립에 기여
- 기후변화를 자원개발 사업 관련 신사업 창출로 발전시킴으로써 자원개발기업의 장기 발전을 위한 성장 기반 구축 기대

< 참고자료 >

1. 석유·천연가스 개발의 주요 온실가스 배출원 및 특성

□ 주요 온실가스 배출원 및 특성

- 석유·천연가스 탐사 및 생산 단계에서 발생하는 온실가스의 주요 배출원은
i) 연료의 연소, ii) 배기, iii) 소각, 그리고 iv) 탈루성 누출로 분류할 수 있음.
 - i) 연료 연소로 인한 배출은 시추(drilling), 수압파쇄(hydraulic fracturing), 천연가스 압축(natural gas compression), 생산, EOR 등의 과정에서 탄화수소를 연료로 사용하는 터빈, 엔진, 보일러 등의 가동으로부터 발생
 - ii) 배기로 인한 CH_4 배출은 석유·천연가스 탐사 및 생산 과정에서 통상적으로 발생하는 것으로, 시추과정에서 발생하는 천연가스의 배기, 공압장치 풍관(pneumatic device vent), 압축기 초기작동과 블로다운(blowdown) 등 으로부터 발생
 - iii) 소각으로 인한 배출은 석유·천연가스 탐사 및 생산 과정에서 상업적 또는 안전상, 기술적 이유로 천연가스 또는 수반가스(associated gas)를 소각하는 과정에서 발생
 - iv) 탈루성 누출은 운영 과정에서 의도하지 않게 CH_4 , CO_2 등 온실가스가 대기 중으로 방출되어 발생
- 이들 배출원 중 온실가스는 주로 연료 연소와 가스 소각으로부터 배출되는 것으로 알려져 있음.
 - 연료 연소와 가스 소각이 탐사 및 생산부문의 온실가스 총배출량의 각각 55%와 32%를 나타내어, 2개 부문이 87%를 차지(OGP, 2013)

2. 석유·천연가스 개발단계별 온실가스 배출원

- 온실가스 배출은 시추, 완결, 생산 등 석유·천연가스개발 과정의 다양한 단계에서 발생
- 육상 유·가스전의 경우, 개발 단계별로 온실가스 배출을 살펴보면 5단계 즉, i) 시추리그이동 및 현장준비, 철수, ii) 유·가스정(井) 시추, iii) 완결리그이동 및 철수, iv) 유·가스정 완결(세일가스의 경우, 수압파쇄와 환류 공정 포함), 그리고 v) 생산단계로 분류할 수 있음.
 - i) 시추리그이동 및 현장준비, 철수 단계와 iii) 완결리그이동 및 철수 단계에서는 주로 수송연료 연소로 인해 온실가스가 배출
 - ii) 시추 단계에서는 주로 탄화수소를 연료로 사용하는 내연엔진을 이용하여 굴착이 이루어지며, 이 과정에서 연료 연소로 인한 온실가스 배출이 발생
 - iv) 유·가스정 완결 단계에서는 완결 유체 및 파이프, 정두 등의 설비수송과 스크린, 튜빙 등 생산설비 설치작업이 이루어지며, 이에 따라 이들 과정에서 각각 수송연료 연소로 인한 온실가스 배출과 내연엔진의 연료 연소로 인한 온실가스 배출이 발생
 - 세일가스 등 비전통 자원개발 사업에는 전통 자원개발 공정에 더해 수압파쇄 등의 공정이 있어 이러한 일련의 과정에서 수송 연료 및 내연엔진의 연료 연소로 인한 온실가스 배출과 파쇄수에 용해되어 있던 CH_4 가스 배출
 - v) 생산 단계에서는 채굴된 원유와 가스, 물의 분리 및 처리공정과 물 또는 공저펌프 등을 이용한 회수증진공정, 생산물 처리시설 보수 및 노후 설비 교체 등의 생산시설 유지 관리 등이 이루어지며, 이 과정에서 온실가스가 배출

< 참고문헌 >

- 기획재정부, 2014. 1, “배출권거래제 기본계획(안)”.
- 김이진, 이상윤, 2014. 10. 24, “주요국의 배출권거래제 추진 현황 및 시사점”, 환경포럼, Vol. 18 Issue 7.
- 김재원, 2013. 10, “탄소배출권 현황 및 가격변동 요인 고찰”, 파생상품 SUMMARY Report, 13-11호, 파생상품연구센터.
- 도현재 외, 2011, 「해외자원개발 전략 연구 - 독립계 자원개발기업의 성장전략 연구」, 에너지경제연구원.
- 류지철 외, 2012, 「비전통자원의 기술진보와 E&P 사업전망」, 에너지경제연구원.
- 송한호, 2014. 7, “수송부문 온실가스 저감을 위한 Well-to-Wheel 분석의 필요성과 이슈들”, 석유와 에너지, 2014년 봄호, Vol. 292, 대한석유협회.
- 이선화 외, 2014. 6, “탄소배출규제에 따른 업종별 산업경쟁력 분석과 보완방안”, 규제연구, 제23권 제1호.
- 에너지관리공단, 2009, 「기업을 위한 CDM 사업 지침서」.
- 에너지경제연구원, 주간 세계 기후변화정책 동향 각 호.
- 정우진·박지민, 2012, 「북한 CDM 사업 잠재력 분석 및 남북 협력 방안」, 에너지경제연구원.
- 정웅태 외, 2014. 2. 7, “화석연료 보조금 감축 또는 폐지에 대한 국제적 논의 동향 및 시사점”, 세계 에너지시장 인사이트, 제14-4호, 에너지경제연구원.
- 한국석유공사, 2013. 1, 「석유산업의 이해」.
- 한국환경정책·평가연구원·서강대학교 산학협력단, 2014. 1, 「발전부문 배출권 할당방안 마련을 위한 연구」, 환경부.

황윤섭, 2014. 6, “배출권거래 시장안정화 : 양적 정책 또는 질적 정책”, 기후변화와 녹색성장, 제7호, 온실가스종합정보센터.

Acclimatise, 2009, "Building Business Resilience to Inevitable Climate Change", Carbon Disclosure Project Report 2008, Global oil and gas, Oxford.

Anadarko, 2013(a), "Annual Report 2012".

_____, 2013(b), "Carbon Disclosure Project's 2013 Response for Anadarko - Investor CDP 2013", CDP.

Australian National University, 2013, "Assessing Climate Change Risks and Opportunities for Investors - Oil and Gas Sector", Investor Group on Climate Change.

BP, 2014, *Statistical review of world energy 2014*.

Broderick, J., et al, 2011, *Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts*, Tyndall Centre, University of Manchester.

Burkett, V., 2011, "Global Climate Change Implications for Coastal and Offshore oil and Gas Development", Energy Policy, 39, pp. 7719~7725.

Burley, S., 2010. 1. 7, "The Exploration and Production Business Lifecycle: Drivers and Timescales", Workshop on Competency Building and Capacity Enhancement of the Emerging Off-shore Gas and Oil Industry in Sri Lanka, University Grants Commission and Petroleum Resources Development Secretariat, January 7~8, 2013.

Carbon Trust, 2008, *Climate Change - a Business Revolution?*.

CDP(Carbon Disclosure Project), 2013, *CDP Global 500 Climate Change Report 2013*.

- _____, 2014(a), *CDP's 2014 Climate Change Information Request*.
- _____, 2014(b), *CDP Global Price on Carbon Report 2014*.
- Ceres, 2012, *Sustainable Extraction? - An Analysis of SEC Disclosure by Major Oil & Gas Companies on Climate Risk & Deepwater Drilling Risk*
- Charpentier, A. D., J. A. Bergerson and H. L. MacLean, 2009, "Understanding the Canadian Oil Sands Industry's Greenhouse Gas Emissions", *Environmental Research Letters*, 4, 014005.
- Chevron Corporation, 2013, *Carbon Disclosure Project's 2013 Response for Chevron Corporation - Investor CDP 2013*, CDP.
- _____, 2014, *2013 Annual Report*.
- _____, 2014. 5, *Independent Review of Chevron's Greenhouse Gas Emissions Inventory*.
- Dexia, 2009, *Pricing carbon in hydrocarbon portfolios*.
- Eni, 2013(a), *2012 Annual Report*.
- _____, 2013(b), *Carbon Disclosure Project's 2013 Response for Eni - Investor CDP 2013*, CDP.
- European Commission, 2014. 10. 27, "Commission Decision determining, pursuant to Directive 2003/87/EC, a list of sectors and subsectors which are deemed to be exposed to a significant risk of carbon leakage, for the period 2015 to 2019". Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32014D0746>.

- Howarth, R. W., R. Santoro and A. Ingraffea, 2011, "Methane and the Greenhouse-Gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations", *Climate Change*, Vol. 106, No. 4.
- IIGCC, Ceres and IGCC, 2010, *Global Climate Disclosure Framework for Oil & Gas Companies*.
- KPMG, 2008, *Climate Changes Your Business*.
- Lechtenbohmer, S. et al., 2011, *Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health*, European Parliament's Committee on Environment, Public Health and Food Safety.
- NYSDEC(New York State Department of Environmental Conservation), 2011, *Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program : Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs*. Available at: <http://www.dec.ny.gov/energy/75370.html>.
- OECD/IEA, 2008, *World Energy Outlook 2008*.
- _____, 2009, *World Energy Outlook 2009*.
- _____, 2010, *World Energy Outlook 2010*.
- _____, 2011, *World Energy Outlook 2011*.
- _____, 2012(a), *Emissions from Fuel Combustion 2012*.
- _____, 2012(b), *World Energy Outlook 2012*.
- _____, 2013(a), *Resources to Reserves 2013: Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*.

_____, 2013(b), *World Energy Outlook 2013*.

_____, 2013(c), *World Energy Outlook Special Report - Redrawing the Energy-Climate Map*.

_____, 2014(a), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2014*.

_____, 2014(b), *World Energy Outlook 2014*.

OGP(International Association of Oil & Gas Producers), 2004, *Environmental performance in the E&P industry 2003 data*.

_____, 2011, *Environmental performance indicators 2010 data*.

_____, 2013, *Environmental performance indicators 2012 data*.

PIW(Petroleum Intelligence Weekly), 2013. 11. 18, "PIW's Top 50: How the firms stack up", Energy Intelligence, Vol. LII, No. 46.

SEC(Securities and Exchange Commission), 2010, "Commission Guidance Regarding Disclosure Related to Climate Change", February 2, 2010.

Shindell, D. F., Faluvegi, G., Koch, D. M., Schmidt, G. A., Unger, N. and Bauer, S. E., 2009, "Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions", Science, 326, pp. 716~718.

Suncor, 2013(a), *2012 Annual Report*.

_____, 2013(b), *Carbon Disclosure Project's 2013 Response for Suncor - Investor CDP 2013*, CDP.

Total, 2009, *Carbon Disclosure Project's 2009 Response for Total - Investor CDP 2009*, CDP.

_____, 2013(a), *Factbook 2012*.

_____, 2013(b), *Carbon Disclosure Project's 2013 Response for Total - Investor CDP 2013*, CDP.

_____, 2014, *Carbon Disclosure Project's 2014 Response for Total - Investor CDP 2014*, CDP.

World Bank, 2014, *State and trends of carbon pricing 2014*.

기후인사이트 <http://www.climateinsight.or.kr>.

네이버 지식백과사전 <http://terms.naver.com>.

외교부 <http://www.mofa.go.kr>.

한국사회책임투자포럼 <http://www.kosif.org>.

Anadarko <http://www.anadarko.com>.

CDP <https://www.cdp.net>.

Eni <http://www.Eni.com>.

Suncor <http://www.suncor.com>.

Total <http://www.total.com>.

정책 이슈페이퍼 14-10
자원개발사업에 대한
기후변화 리스크 분석과 대응방안 연구

2015년 5월 15일 인쇄

2015년 5월 15일 발행

저 자 박 지 민 외

발행인 박 주 현

발행처 에너지경제연구원

681-300 울산광역시 중구 종가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 크리커뮤니케이션 (02)2273-1775
