

⑥ 탄소격리기술의 개발 방향과 미래 전망

탈산소화 사회 구축 핵심기술로 우뚝 선다

글 | 홍욱희 _ 세민환경연구소 소장 wukheehong@yahoo.co.kr

2007년에 발표된 IPCC 4차 영향평가보고서는 2050년을 전후하여 대기중 온실가스의 농도 안정화를 위한 기반을 구축하는데 국제사회가 동참할 것을 강력히 천명하고 있다. 하지만 이를 위해서는 에너지시스템을 포함한 산업 및 농업 부문에서의 근본적인 변화와 개혁이 필요할 것이므로 현실에 있어서는 이만저만 어려운 일이 아닐 것이다. 기후변화협약 대응기술의 하나로 탄소격리기술이 크게 부각되고 있는 것은 그런 급격한 사회적인 변화를 요구하지 않고서도 기존의 에너지 시스템을 소폭 보완하는 수준에서 온실가스 배출 저감에 기여하는 바가 적지 않을 것으로 기대되기 때문이다.

기후변화협약 대응기술로서 탄소격리기술 개발

탄소격리기술은 화력발전소와 같은 대단위 화석연료 사용처에서 배출되는 이산화탄소를 용이하게 분리하여 이를 대기 중으로 내보내는 대신 땅속이나 바닷물 속에 저장하도록 하는 기술이다. 이 기술은 기존의 화석연료를 사용하는 대규모 보일러들을 개량하거나 또는 주변에 적절한 시설을 설치해서 화석연료 연소 시 발생하는 이산화탄소를 대량으로 포집하는 기술과 그것을 땅속이나 물 속에 안전하게 저장하는 기술을 두 축으로 하는데, 전 세계적으로 현재 상용화를 위한 기술개발이 치열하게 전개되고 있는 분야다. 탄소격리기술은 기후변화협약 대응기술로서는 유일하게 IPCC의 지지를 받고 있는 기술이기도 하다.

탄소격리기술은 대규모 산업설비들에 해당하는 발전소, 제철소,

석유화학공장 등에 두루 적용이 가능하다. 이런 시설의 수명은 대체로 30~50년 정도인 것이 보통이어서 앞으로 10~20년 이내에 탄소격리기술이 상용화될 수 있다면 기존 시설들을 대체하는 신증설이 이루어질 때 대부분 이 기술의 적용이 가능할 것으로 기대된다. 핵융합 발전의 상용화 가능성에 대한 전망이 크게 엇갈리고 있고 원자력 발전에 대한 의구심 역시 사라지지 않고 있는 현실에서 기후변화협약 대응기술로서 탄소격리기술에 대한 기대가 특히 높은 것은 바로 이러한 현실적인 고려에 기인하는 바가 크다고 할 것이다.

그렇지만 탄소격리기술은 아직 미완의 기술인 것도 사실이다. 따라서 세계 각국이 이 기술의 실용화와 상용화를 위해서 노력을 경주하고 있는데 연구진들은 늦어도 2020년까지 상용화 단계의 기술이 모두 개발 가능할 것으로 기대하고 있다. 따라서 향후 10년 정도가 탄소격리기술 개발에서 가장 중요한 시기에 해당한다고 할 수 있다. 우리나라가 이 기술의 개발에 보다 적극적으로 나서야 하는 이유도 여기에 있다.

고비용·비용보상 체계 극복이 관건

지구온난화와 기후변화를 예방하기 위한 제반 기술적 대안들이 다 그러하듯이 탄소격리기술 역시 그것을 실제로 상업화해서 적용하기까지에는 여러 난관들을 극복해야만 하는데 이런 난제들은 크게 두 가지 관점에서 생각해 볼 수 있다.

첫째, 대단위 화석연료 시설에서 이산화탄소를 회수해 격리·처



빙산들이 그린란드 일리사트의 아콕스하븐 피요르트 부근에서 수면에 반사되고 있는 모습

분하는 데 소요되는 비용을 과연 얼마나 감소시킬 수 있는가 하는 문제가 제기될 수 있다. 화력발전소를 예로 든다고 했을 때 여기에서 방출되는 이산화탄소를 포집해서 그것을 지하 깊은 곳이나 심해로 운반·저장하는 데에는 고가의 시설과 엄청난 에너지가 사용되는 것이 당연할 것이다. 현재까지의 검토에 의하면 탄소격리시설이 설치된 화력발전소에서는 발전효율이 대략 8~12% 정도 감소될 것이라고 한다.

그런 발전효율의 감소뿐만 아니라 탄소격리시설의 설치와 가동에 따르는 제반 비용에 대한 고려도 필요하다. 또 포집된 이산화탄소를 저장하는 데 따르는 에너지 비용도 당연히 감안되어야 하는데 이런 제반 비용과 에너지 사용량 등을 모두 합산한다고 하면 표준형 500MW급 화력발전소의 경우 전체발전량의 약 30%가 감소하고 이에 따라 전력생산단가는 약 50% 정도 인상될 것으로 추정된다. 현대의 고유가 추세가 연장되어 앞으로 화석연료 가격이 점차 인상될 것이 명백하다고 한다면 그런 추가적인 전력생산단가 인상은 발전사업자나 소비자 모두에게 그야말로 커다란 부담이 아닐 수 없을 것이다.

탄소격리기술이 다른 기술적 대안들과의 경쟁에서 이기기 위해서는 이런 제반 비용을 크게 줄일 수 있어야만 할 것이다. 따라서 탄소격리기술 개발의 핵심은 새로운 신기술의 개발에 있다고 하기보다 기존 기술의 개선을 통해서 가급적 경제성을 최고로 높이는 데 주어져야 할 것으로 생각된다.

둘째로, 이런 추가적인 발생 비용을 발전사업자나 소비자가 모두 떠안는 것은 일면 불합리하게 생각될 수도 있다. 왜냐 하면 화력발전소에서 이산화탄소 배출이 억제된다고 했을 때 그로부터 얻어지는 '지구온난화 예방'이라는 무형의 혜택은 발전사업자와 전기 소비자에게만 돌아가는 것이 아니라 세계인 모두에게 골고루 돌아가는 것이기 때문이다.

이런 문제는 사실상 기후변화에 대응하는 모든 대안과 정책들에 관련해 전 세계가 공통적으로 안고 있는 과제이기도 하다. 탄소격리기술의 예에서는 그런 시설을 설치·가동하는 모든 이산화탄소 배출원들에 대해서 국제사회가 증가된 에너지 생산비용의 전부나 또는 일정 부분을 보상할 수 있어야 하는데 현재 여러 다양한 보상 체계가 제안되고 있다. 탄소세와 배출권 거래제도가 그런 대표적인

사례라고 할 것이다.

탄소세는 발생원에서 배출되는 탄소에 대해 세금을 부과하는 제도로서 이렇게 걷어진 세금의 일부는 탄소격리기술을 사용해서 실질적인 이산화탄소 배출 저감을 이룩한 화력발전소나 기타 대규모 발생원들에 돌려줄 수 있다. 이 대안은 탄소가격의 투명성이 제고될 수 있으며, 또한 이산화탄소 배출 저감을 원하는 화석연료 사용자가 투자비용을 예측하기 쉽다는 장점을 갖는다. 그러나 이를 통해서 에너지 생산에 소요되는 제반 비용이 바로 생산자에서 소비자로 전가되며, 이산화탄소 저감목표 달성의 가능성이 확실하지 않다는 의구심 역시 따르는 것도 사실이다.

탄소배출권 거래제는 각각의 이산화탄소 배출원별로 일정한 배출허용치를 부여한 이후에 실제 배출량이 허용치에 미달할 경우 남은 배출권을 거래할 수 있도록 하는 제도이다. 배출권 거래제는 배출허용치의 설정을 통해서 이산화탄소 배출량 저감이라는 목표달성에 용이한 측면이 있기는 하지만 배출량 추정 오류에 의한 시장구조의 왜곡을 가져올 수도 있다.

설령 이산화탄소 배출을 획기적으로 저감할 수 있는 신기술이 개발되었다고 해도 그것의 실용화와 상업화에는 여러 경제적, 사회적 제도의 보완과 정비가 뒤따라야만 하는 것이 보통이다. 아직 이런 제반 제도와 정책의 보완이 국내적으로나 국제적으로 크게 미흡하다는 점 역시 탄소격리기술 개발에서 반드시 감안되어야 하는 중요한 난관의 하나라고 할 것이다.

1조원 규모 美 '퓨처젠 프로젝트' 전격 취소

이런 크고 작은 기술적, 제도적인 난관들이 적지 않음에도 불구하고 선진국 여러 나라들은 그 동안 꾸준히 탄소격리기술의 개발을 추진해왔다. 이 기술의 실증 연구에 가장 앞서가는 나라들은 독일, 스웨덴, 노르웨이 등 북유럽 국가를 중심으로 하는 EU 국가들이다. 이런 나라들에서 진행되고 있는 실증사업들에 대해서는 탄소격리기술의 각 요소기술에서 이미 다루어졌기 때문에 여기에서는 미국과 호주에서의 사례를 중심으로 간단히 살펴보고자 한다.

조지 부시 행정부는 미국 에너지산업의 이익을 지나치게 대변하는 것으로 국제 사회에서 악명(?)이 높다. 미국이 아직 교토의정서에 비준하지 않고 있다는 것이 그런 부시 행정부의 반환경적 경향을 여실히 보여준다고 할 것인데, 미국은 그 동안 탄소격리기술의 개발에도 매우 소극적이었다.

그렇다고 해서 부시 행정부가 탄소격리기술과 관련해 아무런 일

도 하지 않았던 것은 물론 아니다. 부시 정권은 2003년 지구온난화 예방에 중요한 역할을 할 것으로 장담하면서 CCS 및 청정대체에너지 개발 사업을 추진했는데 그것이 바로 '퓨처젠 프로젝트'였다. 퓨처젠 프로젝트는 석탄을 사용하는 화력발전소에서 석탄을 연료로 사용하기 이전에 먼저 그것을 가스화해 이 과정에서 얻어지는 합성가스와 수소를 수송용 또는 IGCC 발전용으로 공급하는 기술의 총체적인 개발에 목표를 두었다. 수소생산 과정에서 발생하는 이산화탄소는 분리되어 땅속에 격리시키는 것도 이 프로젝트의 중요한 일부였다. 따라서 퓨처젠 프로젝트는 비교적 풍부한 석탄 자원을 이용하여 이산화탄소를 배출하지 않고 탈탄소화에너지를 공급한다는 면에서 매우 혁신적인 제안이었지만 아직까지 실용성을 검증받지 못한 여러 신기술들이 함께 채용됨으로 해서 상당한 실패의 위험성을 동반한 대규모 에너지기술개발 사업이기도 하였다.

퓨처젠 프로젝트의 수행을 위해서 미국의 에너지부(DOE)는 6억 2천만 달러나 되는 막대한 사업비를 투자하였으며, 참여기업들과 CSLF 회원국들을 통해서도 약 3억 3천만 달러가 조달되었다. 이 프로젝트는 총예산이 9억 8천만 달러(약 1조 원)로 2015년까지 275MWe급 퓨처젠 발전소 및 수소생산설비 1기를 건설하는 것을 목표로 하였다. 우리 나라는 2006년부터 국제 컨소시엄에 참가하여 참가비 1천만 달러의 2차분까지 지불한 바 있다.

퓨처젠 시범 발전소 건설은 공개경쟁에 의해서 그 입지를 선정하도록 되어 있었다. 이 발전소 건설 프로젝트에는 미국 전역에서 12개나 되는 제안서가 제출되었는데 2007년 12월 일리노이 주에서 제출된 한 제안서가 다른 모든 제안서들을 물리치고 최종적으로 선정되었다.

그런데 2008년 1월 미국 연방정부의 가장 막강한 부처 중의 하나인 에너지부(DOE)가 전격적으로 퓨처젠 프로젝트의 취소를 선언하였다. DOE의 전격적인 취소는 크게 두 가지 원인에서 비롯되었을 것으로 회자되었다. 아직 수소경제의 구체적 실현성이 가시화되지 않은 상태에서 수소생산을 목표로 해서 사업이 추진되고 있다는 점과 텍사스 주 출신 부시 대통령의 부적절한 영향력 행사의 가능성이 바로 그것이다. 퓨처젠 사태를 통해서 현재 미국을 중심으로 이루어지고 있는 수소경제의 적절성에 대한 의문이 증폭되었으며, 특히 미국 행정부와 그 정부의 에너지 정책의 신뢰성이 상당한 타격을 입었던 것은 물론이다.

미국과 같이 교토의정서를 비준하지 않았던 호주는 미국과 매우

다른 방향으로 기후변화대응 실증 프로젝트를 운영하고 있다. 호주는 자국 경제의 중요한 일부분을 차지하는 석탄산업이 기후변화에 대응할 수 있는 역량을 확보하기 위해서 독자적으로 COAL21이라는 대규모 탄소격리 실증사업을 기획하여 운영하고 있다.

1999년부터 2005년까지 호주 정부의 연구사업 총책임자 지위에 있던 로빈 배터햄은 석탄산업의 지속가능성을 위해서 일정 규모 이상의 대규모 이산화탄소 감축이 가능한 기술의 실증을 지원할 수 있는 COAL21 프로그램의 설립을 추진하였다. 이 야심적인 연구개발 프로그램에 호주연방정부, 주정부 및 호주석탄협회가 공동으로 약 2조 원의 기금을 제공하였으며, 각각의 핵심적인 탄소격리 기술들은 호주 전역의 연구기관들에 골고루 분산되어 그야말로 범국가적으로 연구가 진행되고 있다.

호주는 COAL21과 같은 적극적인 이산화탄소 감축기술 개발 사업을 등에 업고 2007년 마침내 교토의정서를 비준하였다. 2007년 발리에서 개최된 제13차 기후변화당사국회의에서 많은 국가들의 지지를 이끌어 내기도 하였다. 호주의 이런 사례는 부존자원은 거의 없는 반면 우수한 연구인력을 갖추고 있으며, 또한 국제사회에서 이산화탄소 배출 저감의 압력을 크게 받고 있는 우리나라에 시사하는 바가 자못 크다고 하겠다.

우리나라, 대규모 CO₂ 저장시설 확보 난관

호주의 COAL21 프로젝트는 기후변화협약에 대응하는 기술개발 사업에 대해서 정부와 민간이 어떻게 협력할 수 있는지를 보여주는 좋은 모델이 될 수 있을 것이다. 대단위 실증 사업의 경험이 별로 많지 않은 호주가 자국의 미래를 위해서 범국가적으로 대규모 연구개발 사업을 적극적으로 추진하고 있다. 이에 반해 미국은 충분한 기술력과 자금력을 확보하고 있음에도 불구하고 기술의 진행 방향을 제대로 설정하지 못하고 부적절한 정치적 영향력이 행사되는 등의 이유로 퓨처젠 프로젝트가 좌초되는 아픈 경험을 감수해야만 하였다. 이 두 나라의 각기 다른 사례는 우리나라의 향후 탄소격리기술 개발에 귀감이 될 수 있을 것이다.

우리나라의 탄소격리기술 수준은 국제적인 차원에서 상당한 경쟁력을 확보하고 있거나 또는 그에 근접한 수준에 있다는 것이 일반적인 평가다. 그 동안 세계 최첨단 수준의 화력발전소 건설에서 많은 경험을 쌓아왔던 우리나라는 중공업 분야에서 높은 기술력을 자랑하고 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 이를 바탕으로 그동안 연구되었던 다양한 이산화탄소 회수기술과 이와 관련된 발전설

비 및 제철설비 기술 등을 잘 조합해서 탄소격리기술이라는 시스템 기술로 연계시킬 경우 의외의 성과를 기대해 볼 수도 있을 것이다. 이런 기술개발 사업이야말로 작금의 에너지 공급 위기와 기후변화 위기 속에서 우리 나라의 미래를 담보할 수 있는 새로운 차세대 성장동력 신기술 찾기에 해당된다고 할 것이다.

이런 긍정적인 측면과 함께 우리가 직면한 약점도 함께 직시할 필요가 있다. 우리나라의 국토 조건상 대규모 이산화탄소 저장 시설을 확보하는 일은 현실적으로 매우 어려운 것이 사실이다. 탄소격리기술 개발에 관심을 가진 많은 기업들이 연구개발에 적극적으로 뛰어들지 못하고 있는 데에는 필경 이 문제에 대한 해결 방안이 제대로 강구되지 못하고 있다는 점이 크게 작용한다고 생각해도 좋을 것이다. 이런 대규모 이산화탄소 저장 시설의 확보를 위해서 이웃 나라들과의 공동 연구와 공동 사업 투자에 보다 많은 노력을 경주할 필요가 있고, 특히 북한을 비롯한 주변 개발도상국들에 대해 보다 적극적인 유대관계를 갖는 일이 긴요하다.

마지막으로, 탄소격리기술의 궁극적인 목표는 핵융합에너지의 도래 시까지 탈탄소화 에너지사회를 구축하는 핵심기술로서 기여하는 데 있다고 할 수 있다. 탈탄소화 에너지사회의 주축은 이산화탄소 저장기술, 회수기술, 수소생산기술 및 연료전지를 포함한 수소이용기술 등이 포함되어야 한다. 선진국들에서는 탈탄소화 사회를 구축하기 위해서 그동안 이산화탄소 저장 및 회수 기술, 수소생산 기술과 수소이용 기술의 순서로 기술 개발이 진행되었지만, 기술축적의 역사가 짧은 우리나라의 경우에는 그들과 정반대로 기술 개발이 추진되고 있어서 최악의 경우 도로에 수소연료 자동차가 질주하는 상황에서도 온실가스 배출 감축에는 전혀 기여하는 바가 없는 그런 불행한 사태가 초래될 수도 있다.

무릇 바둑에서는 멀리 앞의 수를 내다보는 것에 못지않게 마무리 짓는 수순 역시 중요하다. 바둑에서와 마찬가지로 대규모 기술개발 사업에 있어서도 각 단위 과제들의 우선순위를 적절히 안배하고, 그렇게 해서 개발되는 단위기술들을 잘 조합해서 하나의 완성된 시스템기술로 엮어낼 수 있는 종합적인 프로젝트 관리의 중요성이 점점 더 강조되고 있다. 탄소격리기술 개발 사업 역시 이런 합리적이고 진취적인 프로젝트 관리가 대단한 진가를 발휘할 수 있는 연구 분야라는 점을 잊지 말아야 할 것이다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 생물학과 졸업 후 한국과학기술원에서 석사학위를, 미국 미시간대학교에서 박사학위를 받았다. KIST 환경공학부 연구원, 미시간대 연구원, 한전 전력연구원 책임연구원 등을 지냈다.