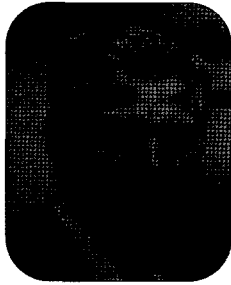


온실가스처리를 위한 재원조달



G. 두셋 WEC 사무총장

이 자료는 지난 6. 23-25 미국 Virginia에서 미국 에너지부 및 국무부가 공동 주최하고 미국에너지협회 USEA가 주관한 '제1차 온실가스처리 지도자포럼' (Carbon Sequestration Leadership Forum)에서 WEC 사무총장이 발표한 원고를 번역 게재한 것이다. — 편집자주

2002. 9월 남아공 요하네스버그에서 개최된 지구정상회의(WSSD)에서 한 가지 재미있는 일이 있었다. 특정 청정에너지기술이 다른 것에 비해 더욱 바람직하다고 주장하는 환경주의자나 단체들의 주장(edicts)에 대해서는 '왕따'를 시키기로 선후진국이 뜻을 모았다.

정상회의는 재생에너지의 글로벌 목표설정을 거부했는데, 청정화석연료든 최신 원자력기술이든 모든 형태의 청정기술이 세계 모든 사람들에게 상업 에너지에 대한 접근을 가능하도록 만드는데 필요할 것으로 보았기 때문이다. 빈곤타파가 정상회의의 초점이었다면, 상업에너지에 대한 접근은 이 문제

를 다루는 중요한 수단의 하나였다. 개도국 대변인의 발표를 인용하면, 재생에너지의 목표설정이란 선진국의 사치일 뿐이며, 절대적으로 가진 게 없는 20억의 빈곤층이 능력을 배양하고 경제적으로 수용 가능한 최소한의 에너지에 대한 접근을 위해 청정기술을 반드시 이용하도록 강요해서는 안 된다는 것이었다.

탄소배출처리(carbon sequestration)도 정상회의에서 청정화석연료시스템에 포함된 기술 중 하나였다. 탄소처리가 모두의 입맛에 맞는 것은 아니었는데 그 이유는 에너지믹스에서 화석연료를 제거시켜야 한다는 환경론자들이 대규모의 숲이 탄소 흡수원 역할을 한다는 인식에 반대하는 것만큼이나 탄소처리에 반대하기 때문이다. 탄소를 포집하여(capture) 처리할(sequester)수 있다면, 지금까지 생각했던 것보다 훨씬 오랫동안 21세기의 지속가능한 글로벌 에너지믹스에서 화석연료를 계속해서 사용할 수 있다. 물론 이것은 환경론자들의 입장과는 맞지 않는다. 그들은 550탄소PPM을 목표라고 주장하며 에너지믹스에서 온실가스배출 제로인 원자력발전도 제외시켜야 한다니 아무리 생각해도 혼란스럽다.

일부 사람들은 무엇이든 자유자재로 할 수 있기를 바라지만 에너지 세계에서는 그게 쉬운 일이 아니다. 선택을 해야 하는 것이다. 지속가능한 개발에서 첫째 이슈가 빈곤타파라면 보편적인 상업에너지에 대한 접근을 달성하기 위해서는 탄소처리 등 모든 청정에너지기술의 사용이 모두의 일이 되어야 한다. 정부도 비용을 최소화할 수 있는 어떠한 탄소저감대책도 인위적으로 제외시켜서는 안 된다.



이렇게 심사숙고하여 열린 정상회의의 결과는 정치선언문과 실천계획에 반영되었으며, 교토의정서하의 배출권거래와 공동이행(JI)에 적용하게 될 규칙결정 협상에 이미 상당부분 영향을 미쳤다. 정부와 산업계는 탄소배출저감에서 마의 550PPM을 기준으로 얘기하고 있는데, 교토의정서상의 시간 일정 속에서는 달성하기 어려울 것으로 보이며 Annex1 국가의 실천계획은 650PPM에 적응하는 것이며, 본인이 생각할 수 있는 방법은 SOS: 흡수 아니면 처리(sinks or sequestration)일 뿐이다!

교토의정서가 아직 필요한 만큼 기준을 받지 못했지만 러시아가 수개월 내에 예상대로 기준을 한다면 미국이 기준을 안 해도 발효가 될 것이다. 교토의정서에 대한 정부 측의 지지가 없는 상황에서도 다수의 미국 기업들은 청정화석연료시스템 기술에서 선도적 지위에 있는데 특히 석탄부문에 서 그러하며, 교토의정서가 법제화될 유럽 캐나다 및 일부 아시아 지역에서 활동하는 미국 기업들은 이것을 준수해야 할 것이다. 따라서 교토의정서의 규칙이 실제에 있어서는 매우 광범위한 영향을 미칠 것이다. 그래서 특정한 형태의 탄소배출저감 방식을 우대하거나 CDM에서 원자력을 제외하는 식의 왜곡된 규칙을 만들어서는 분명히 안 된다. 산업계는 시장의 경쟁에서 살아남을 수 있는 최소 비용의 해결책을 촉진하기 위한 유연성을 가져야 한다.

현재 실질적 문제는 교토의정서 이후의 논의사항이다. 온실가스(GHG) 배출관리를 글로벌하게 적용할 수 있고 세계 최대의 에너지 생산·소비국인 미국의 지지를 받을 수 있는 실행 가능한 규칙을 어떻게 마련할 것인가? 이러한 맥락에서 탄소처리는 모멘텀을 얻을 수 있는 옵션 중의 하나가 된다.

IPCC는 탄소포집 및 처리(carbon capture

and sequestration)에 대한 총괄보고서 준비에 착수했다. IPCC는 금년 2월 파리에서 이 프로젝트를 승인했으며 노르웨이 정부는 7월 오슬로에서 이 연구팀 첫 회의를 개최한다. 캐나다 Regina대학교는 CO₂ 포집을 위한 국제검증센터를 운영하는 데, 이 센터에는 상업화를 위한 대규모 실증시설과 파일럿 플랜트가 설치되어 있다. 한편, 최근 영국의 에너지백서에서는 CO₂ 포집 및 저장의 커다란 역할을 예상하고 조만간 에너지 순수입국이 될 영국의 에너지믹스에서 석탄의 역할이 증대될 것으로 기대하고 있다.

정부와 민간부문 모두 지속가능한 에너지의 미래에서 탄소포집과 처리의 역할에 대해서 관심을 보이고 있다.

WEC의 탄소저감 관련 연구

WEC는 美DOE의 지원으로 '청정화석연료시스템'에 대한 기술위원회를 운영하고 있다. 이 위원회는 동 분야의 발전을 위해 세계 각국의 전문가들을 모으고 청정에너지기술의 췌개도국 이전의 가속화를 위한 수차례의 회의를 개최했다. WEC는 발전소 데이터 수집과 분석 등 성능 개선 프로그램을 수행하고 있는데 이러한 자료들은 벤치마킹을 위해서 사용되고 있다. 이 프로그램은 발전소 운전기법을 개선하여 설비 신규투자 수요를 줄이고 GHG 및 기타 오염배출물을 줄이는데 중요한 역할을 할 수 있도록 기획한 것이다.

탄소포집과 재주입은 석유 및 가스전의 채취율을 개선하기 위해 오래 동안 이용되어 왔다. 그러나 보다 광범위하게 이용하는 탄소저감 전략으로서의 탄소처리(carbon sequestration)는 최근까지도 진지하게 고려되지 못했다. WEC도 이 방법을 최선의 방법이라거나 청정시스템기술로 취급하

지 않았다. 그 이유는 해양처리(ocean sequestration)에 대한 노르웨이와 일본의 연구, 미DOE 연구와 최근 지층저장을 이용하는 캐나다의 연구는 그렇다 하더라도, 이 방식이 짧은 기간 내에 정치적 지지를 확보할 정도로 경제성이 보이지 않았기 때문이었다. 그런데 지난해 지구정상회의에서 여건이 변화되었다.

2000. 9월 UNDP, UNDESA 및 WEC가 공동으로 발표한 '세계에너지보고서'(WEA)는 바다가 포집된 탄소의 최대 흡수원임을 밝혔다. 지구상 배출탄소의 대부분을 이미 흡수하고 있는 해양의 자연법칙을 가속화시켜 화석연료 사용으로 높아지는 탄소 PPM을 낮춰 지속가능한 수준으로까지 만들 수도 있을 것이다. 그 중 한 가지 방법이 바닷속 1,000~1,500m 깊이에 탄소를 주입시키는 것인데, 기존 기술로도 가능하다. 또 하나의 해법만한 방법은 액체 CO₂를 4,000m 수심 속에 주입하는 것으로 현기술로는 어렵다. 천연가스의 지층저장 기술이 가능성이 높지만, 잠재적 처리량 규모에서 해양처리보다는 훨씬 못하다.

'WEA보고서'에서는 최신 화석연료 기술을 이용할 경우 대기오염물질을 거의 제로 수준까지 낮출 수 있다고 보고 있다. 달리 말해 화석연료의 기타 오염물질을 제거할 수 있다면 탄소처리는 사회적 경제적 측면 양면을 만족시키는 방안이 될 있다. 즉, 탄소처리와 청정화석연료시스템이 공존할 수 있다. 금년 가을 발표될 'WEA보고서' 개정판에 의하면 지층저장소에 화석연료 사용으로 발생한 CO₂를 안전하게 처리할 수 있는 규모가 수백년은 될 것으로 보고 있다. 그러나 이러한 전략의 광범위한 적용을 입증하기 위해서는 보다 많은 연구와 대규모의 실증 프로젝트가 있어야 한다.

물론, 석유와 가스 생산 과정, 즉 상류부면에서의 탄소포집과 재주입이 있다. 그리고 하류부면으로

가서 발전소 운영에서 발생하는 CO₂에서 탄소를 포집하고 처리하는 것은 별개의 것이다. WEC는 2001년 에너지총회 당시 발전기술과 21세기에 미칠 영향에 대해 광범위한 분석보고서를 만든 바 있다. 이 보고서가 가설적인 탄소포집과 처리의 소요비용 및 그 영향을 다룬 최초의 작업이었다. 자료는 WEC 홈페이지 www.worldenergy.org를 통하여 얻을 수 있다.

탄소처리에 대한 기초연구

WEC는 2000년 밀레니엄 보고서 "ETWAN"에서 정부가 탄소배출을 포함하는 구체적인 환경목표를 설정하면서 동시에 규제완화를 통한 경쟁적인 에너지시장을 요구할 수는 없다고 주장했다. 시장개혁은 기업들로 하여금 연구 방향을 마케팅이나 소프트웨어 개발 그리고 고객들에게 경쟁력 있는 에너지서비스 제공을 어떻게 할 것이냐에 집중하게 만들었다. 설비규모, 지속 가능한 미래, 그리고 기본적인 장기 연구는 투자재원의 부족으로 경쟁에서 밀려났다. 따라서 탄소처리와 같은 장기 기술에 대한 민간재원의 분배는 현재 더욱 어렵다.

한편 일반적으로 사회적 환경적 측면에서 국가적 지역적 세계적 영향을 미치는 기초에너지연구에 대한 정부지원이 감소했다. 이것이 WEC가 21세기 에너지기술 관련 R&D 자금지원 보고서에서 내린 결론이다.

탄소처리(carbon sequestration)는 정부와 업계가 파트너십 관계를 유지하면서 광범위한 기초연구를 수행하지 않을 경우 부정적인 결과를 초래하거나 가까운 공유편익을 놓치는 것으로 WEC는 인식한다. 정부 규제기관 및 민간기업이 R&D에 대한 새로운 협약을 체결하여 시장상황과 장기적인



지속가능성의 목표를 연계시킬 필요가 있다. WEC는 지중저장소/대수층 또는 심해저장 방식이 정부 지원으로 적극적이고 자원조달이 잘 되는 연구의 일부가 되어야한다고 주장한다.

이 회의 다른 참석자가 자국 정부의 R&D계획에 대해서 발표하겠지만, 이 부문에 대한 자금지원은 수년간 원자력폐기물처리에 노력한 R&D 수준에는 미치지 못한다. 아이러니컬하게도 원전폐기물처리는 다수 국가에서 규제기준에 따라 이루어지고 있어 R&D에 지출된 모든 비용이 발전 전기요금에 반영되고 있다.

두 가지 핵심 이슈가 탄소포집 및 처리에 지출하는 R&D에 대한 정부의 논의를 주도하고 있다. 첫째, 탄소처리는 수송기관이나 기타 분산되어 있는 定置기관(stationary)의 에너지사용에 대해서는 적용할 수가 없다. 둘째, 탄소처리가 장기적으로 석탄을 보다 지속가능한 연료로 만든다면, 에너지부문에서 가장 크고 빠르게 성장하는 인위적 온실가스 배출원인 발전부문에서 석탄의 역할을 더욱 크게 만들 수 있다. 두 번째의 경우 석유가격이나 기타 화석연료와의 경제적 상호관계에 따라 달라지겠지만, 석유의존도를 줄이려는 대부분 선진국의 기대를 무너뜨리게 만든다. 북미, 유럽 중국에는 러시아까지 석유생산이 줄어들면서 OPEC 국가에 대한 의존이 높아질 것이기 때문이다.

따라서 다음과 같이 결론을 내려볼 수 있다. 2020년까지 탄소처리가 탄소배출저감 전략에서 경제적으로 실행 가능한 방안이 되려면 이에 대한 정부의 보다 많은 노력이 있어야 하며, 한편 규제기관들은 정책지침을 마련하여 탄소처리 등 청정 화석연료기술의 모든 비용이 에너지서비스의 가격에 반영되도록 만들어야 한다. WEC가 추정하기로는 일부 재생에너지와 원자력발전에 여지를 주고 탄소처리의 경쟁력이 보다 높아진다는 전제하

에서 추가로 발생하는 비용이 3% 정도는 될 것으로 본다.

탄소가격(value of carbon)

상업적 탄소처리프로그램의 자원조달에 대한 어떠한 논의도 기본적으로는 탄소처리에 비용이 든다는 것을 전제로 하고 있다.

WEC 밀레니엄 보고서에 의하면 1990년대 중반까지 세계 전체적으로는 탄소원단위(carbon intensity)가 계속 하락했다. 이 같은 감소 추세는 1996년 이후에도 중국의 석탄산업 구조조정으로 계속되었다. 1995년 저점을 기록한 이후 선진국의 탄소원단위 감소추세는 개도국의 지속적인 증가와 맞물렸다. 중국 등 체제전환국의 경우 WEC가 최근 조사한 바에 의하면 1997-98년 탄소원단위의 뚜렷한 감소는 중국의 실질 GDP를 과다 계상했기 때문이었다. 구소련만이 탄소배출이 지속적으로 감소했는데, 중국의 엄격한 재평가와 최근 러시아경제의 회복으로 상쇄되어 탄소원단위가 다시 증가하게 되었다.

따라서 세계 에너지믹스에서 탄소원단위는 증가하고 있어 교토의정서 하에서 어떠한 Annex1 국가도 1990년을 기준으로 정한 안정화 목표를 달성하지 못할 것이다. 다수 국가에서의 원전가동 증단은 상황을 더욱 악화시켰다.

국별 지역별 또는 세계 전체적으로 탄소배출에 제약을 가한다는 것은 대기로 배출되는 톤당 탄소가격을 잠재비용으로 보거나 그 가치가 마이너스라는 의미이다. 세계은행 통계에 의하면 톤당 탄소비용이 10-40달러 범주에 들어가고 평균 20달러는 되는 것으로 본다. 낮은 비용을 적용한다 하더라도 어느 정도의 거래가 가능하다. WEC에서도 2000년 기준 20\$/tc를 적정한 가격으로

본다. 미국이 교토의정서에 참여하지 않는다면, 탄소 크레딧에 대한 수요는 더욱 낮아질 것이며, 교토의정서는 현재 10달러 이하의 탄소가격을 지지한다.

석유 생산율을 높이기 위해 CO₂를 주입하는 경우를 제외하고는 이 정도의 가격으로 탄소처리가 경제성을 가질 수 있는 분야가 아직 없다. 반면 지층저장의 경우 이 가격에서 타당성이 있을 수 있다. 탄소처리가 지역단위 또는 세계적 규모로 지속 가능한 탄소저감방안이 될 정도로 일반화된 것은 아니다.

WEC가 주장하는 것은 여기에 대한 규칙이 만들어진다면, 국내 또는 국제적 차원에서 배출권거래가 적절히 규제받는 시장에서 탄소가격이 결정되어야 한다는 것이다. 정부에서 인위적으로 탄소가격이나 탄소세를 결정할 필요가 없다. 위에서 언급한 비와 같이 규제기관은 정책지침에 의거 기업들로 하여금 청정기술을 도입하거나 배출권을 구입해서 온실가스를 직접 처리함으로써 배출목표를 맞추도록 하면 되고, 이러한 비용은 에너지서비스 가격에 반영되도록 만들어야 한다. 결국은 소비자가 선택을 할 때 배출물관리비용 등 모든 연료비용을 인식하고, 정부보다는 기업이 시장에서 결정된 탄소가격에 의해 생성된 재원을 관리하도록 만드는 것이 보다 지속가능한 방법이 된다.

내일의 탄소저감 할인가격이 오늘의 탄소저감 가격과 일치해야 하고 할인율이 산업의 평균수익률과 일치하는, 예를 들어 7% 정도의 기회비용(opportunity rate)은 되어야 한다고 가정해볼 수 있다. 이 경우 탄소가격은 불변가격으로 매10년 2배로 급속하게 상승한다. 2000년 20\$/tc에서 시작한다면, 2010년 40달러, 2020년 80달러가 된다. 교토의정서가 발효될 무렵에는 이 가격이 심해 또는 지층탄소처리를 경제적으로 타당성

있게 만들 수 있는 가격이 된다. 문제는 연구 작업과 파트너십을 위한 준비가 지금 이루어져야 한다는 것이다.

투자와의 자원조달

이 회의에 참석한 일부 전문가들은 석유 및 가스 산업에서의 CO₂ 포집과 처리 관련 상류부문의 경험에 대해 발표할 것이다. 다수의 미국 기업들이 탄소가격을 계산하지 않고도 석유 회수율 증가로 천연의 경험을 가지고 있다. Statoil사의 경우 이미 자체 유전에서 수백만톤의 CO₂를 처리한 경험을 가지고 있으며 외부의 지원이 없는 상태에서 해당 순비용을 감당해야 했다.

탄소포집 및 처리(carbon capture and sequestration) 관련 가장 큰 규모의 투자와 자금 문제는 발전소의 운전 및 건설부문이다. 하나는 포집기술이 잘 개발되어 있지 않고, 또 다른 이유는 발전소의 경우 보통 지층저장소나 해양저장소에서 먼 거리에 입지해 있어 저장소까지 CO₂를 운반해야 한다. 캐나다 온타리오처럼 생산을 중지한 석유 가스저장소를 이용할 수 있는 발전소의 경우 그 비용은 약간 더 낮아지게 된다.

'WEA보고서'에서는 석탄화력 발전 시스템의 CO₂ 제거 및 처리에 대한 8가지 대체기술과 전략의 실행능력 및 비용 계산을 해봤다. 조사 대상 최신 기술 중 최소비용 옵션을 사용할 경우 탄소 비용이 100\$/tc, 또는 kWh당 약 1.5-3센트로 나왔다. 이것은 석탄가스화복합발전에서 사용되는 합성 가스에서 회수한 냉CO₂를 기초로 계산한 것이다. 온CO₂ 회수기술이 개발된다면 결과는 1/4 정도 더 좋아질 것이다.

예를 들어 사우스 웨일즈는 지역에서 생산되는 석탄과 코크를 연료로 사용하고 장기적으로 지층저

리를 할 수 있도록 CO₂를 포집하는 장치를 가진 375백만 파운드의 460MW급 IGCC 발전소를 건설하겠다고 발표했다. 이 발전소는 연료비를 계산하지 않더라도 kW당 건설비가 비싸다는 것을 알 수 있으며, 건설비는 전기요금으로나 아니면 CO₂가 배출되었을 경우를 기초로 오염물배출권을 통해서 회수되어야 한다.

적용 가능한 기술을 기준으로 밝혀낸 톤당 100달러는 2010년에 톤당 40달러라는 계산보다도 높다. 격차가 너무 크기 때문에 의미를 가질만한 규모로 탄소를 포집 처리하고 다른 저비용의 탄소 저감해결방안이 실행되기 위해서는 오랜 시간이 필요하다. WEC는 이 격차를 줄이기 위해 장기 연구를 수행하고 있으며, 이러한 부분의 기초연구를 위한 재원의 대부분은 정부가 지원해야 한다. 현재로서는 탄소처리를 위한 경제적으로 실행 가능한 단일의 기술이나 해결책은 없으며 시장 기능만이 비용과 가격 틀 속에 해결책을 모색할 수 있다.

미국에서 "biomimesis"라는 새로운 연구 분야가 생겨나는 것은 놀랄 일은 아니며, 이것은 칼슘 탄산염을 만들어내기 위해 조개류의 생물학적 과정을 화학적으로 복제함으로써 대량의 CO₂를 흡수하는 방식이다.

향후 연구를 위한 제안

결론적으로 탄소 포집, 수송 및 처리와 관련한 자원조달 원칙 몇 가지를 제시한다.

1. 이 분야의 기초연구는 정부와 업계 공동 책임이다. 이 연구의 목표는 탄소 톤당 시스템 전체비용을 2010년까지 약 40\$/tc 수준까지 낮추어야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해 정부와 화석연료 회사가 협의하여 자금지원을 대폭 늘려야 한다.

2. 교토의정서 규칙이나 정부의 어떠한 에너지정책도 특정 청정기술을 연구 대상에서 미리 제외시키거나 합리적인 탄소저감 방식이라고 자격을 부여해서는 안 된다. 시장에서의 경제성과 정부의 수용가능 목표 즉, 구체적인 배출 목표에 근거해서 결정되어야 한다.
3. 탄소포집 및 처리기술의 비용은 함께 이용된 다른 청정기술의 비용과 동시에 화석연료 가격에 내재화 되어야 하는데, 모든 연료의 전주기분석(LCA)과 일치하는 방향으로 이루어져야 한다.
4. 이 분야의 상업용 기술은 UN이나 세계은행 등 국제기관의 지원으로 對개도국 이전이 촉진되어야 한다. 이러한 차원에서 최선의 실천방안들이 UN이 개도국의 능력 배양을 위해 설립하는 우수센터 임무의 일부로 포함되어야 한다.

(자료정리 : 한국에너지협의회
이성룡 차장)

