

「지구환경변화」 그 위기와 기회¹⁾

이 길 재²⁾
농업기술실용화재단

산업혁명 이후 인류는 경제발전과 함께 에너지소비가 급격히 증가하게 되었고 이에 따른 온실가스 배출이 증가하면서 이상기후 및 자연재해가 눈에 띄게 증가하고 있다. 지난 100년 동안 지구평균 기온은 0.74°C 상승하고 해수면은 17 cm 상승하였으며, 기후시스템의 변동은 지구의 물 순환구조에도 강력한 영향을 미쳐, 현재의 기후변화 양상이 지속될 경우 20년 안에 아시아지역 농지의 30%가 사막화될 것으로 전망하고 있다(IPCC, 2007). 그리고 인류가 환경보전 및 저탄소패러다임을 전혀 고려하지 않고 경제발전을 유지하는 시나리오를 적용할 경우 금세기 말

에는 기온이 최대 6.4°C 상승하고, 해수면은 59 cm 상승할 수 있다고 예측하고 있으며, 이 경우 생물종의 95%가 멸종 위기에 빠질 것으로 경고하고 있다.

자연 상태에서 생태계는 광합성을 통해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 나무와 토양에 탄소를 저장하고, 식물호흡과 미생물호흡, 발효 등을 통해서 이산화탄소와(CO₂) 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 등 온실가스를 방출한다. 일반적으로 성장을 지속하는 어린 군락일수록 계내에 저장하는 탄소가 방출되는 탄소보다 많고, 군락이 성숙되면 탄소의 흡수와 방출이 평형을 이루게 된다. 국내 산

표 1. 평균온도 상승에 따라 예상되는 지구환경 영향
Table 1. Global environmental effects of increasing temperature

| 상승온도 | 지구환경 영향 |
|------|--|
| 1°C | √ 툰드라 지역 영구동토층 해빙 : 토양기원의 이산화탄소 및 메탄발생 증가로 지구온난화 가속화 √ 10%의 생물종이 멸종 위기에 다다름 |
| 2°C | √ 남아프리카와 지중해 지역 물 공급량 20~30% 감소 √ 아프리카인 최대 6000만 명 말라리아에 노출 |
| 3°C | √ 물 부족 심화 : 10억~40억 명이 물 부족에 노출 √ 최대 50% 생물종이 멸종 위기에 처함 |
| 4°C | √ 물 부족으로 아프리카 농작물 생산량 15~35% 감소 √ 해수면 상승으로 해안지역 인구 최대 3억 명이 홍수피해 증가 |
| 5°C | √ 해양 산성화 가속, 해양 생태계 변화 √ 해수면 상승으로 뉴욕, 도쿄 등 해수면이 낮은 도시 수장 |

출처 : The Economics of Climate Change : The Stern Review (2007).

1) 「Global Environmental Change」 the Risks and Opportunities

2) LEE, Gil-Zae, Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer

림 생태계의 경우 수령이 30~50년 정도의 산림이 주종을 이루고 있기 때문에 비교적 왕성한 탄소흡수 능력을 갖고 있을 것으로 예상되지만 산림파괴, 토지이용변화 등 다양한 교란요인이 존재하는 개발 지역은 탄소가 대기 중으로 방출되어 탄소소스(carbon source)로 전환 된다. -세계적으로 산림파괴로 인한 이산화탄소 배출은 전 세계 탄소배출량의 20~23%에 달한다(Al Gore, 2010)-.

기후변화는 탄소순환의 견지에서 볼 때 심각한 생태계 교란요인 중 하나이다. 물론, 기온 및 대기 중 이산화탄소의 증가는 식물의 광합성능력을 키우기도 하지만, 기존의 기후 환경에 맞춰서 안정화된 대부분의 생태계는, 기온의 상승으로 인한 광합성증가 보다 식물 호흡 및 토양분해 속도의 증가가 두드러지게 되고, 강수량 변화는 수분스트레스로 작용하는 경우가 많아 식물의 광합성능력이 저하되는 등 생태계의 탄소흡수 능력을 떨어뜨리게 된다. 또한, 기후변화의 대표적인 특징인 기상이변(이상고온, 이상저온) 및 기상재해(태풍, 한발, 홍수 등)의 빈도 증가는 자연생태계 뿐만 아니라 농업생태계 및 사회간접자본 등에도 악영향을 끼치며, 기상재해와 같은 대규모의 생태계 교란은 엄청난 양의 온실가스를 대기 중으로 방출하게 된다. 비록-가능성은 희박하지만-기후변화가 커다란 기상재해의 증가 없이 점진적인 변화로만 이루어진다고 하더라도 적정수준 이상의 기온변동은 지역의 기후시스템 자체의 변화로 인한 생태시스템의 변화를 촉발한다(생태계의 경우 변동기온 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이상). 이 경우 농업생태계 등 기상변화에 민감한 생태계는 품종변화 및 제반인프라의 재구축 등으로 인한 경제적 부담이 크게 증가된다.

기후변화는 단순히 자연생태계와 산업시스템에 국한되는 문제가 아닌 인류의 생존과 직결되는 문제로 반드시 극복되어야 하는 도

전과제이기도 하다. 이러한 이유로 국제사회는 1992년 리우회의에서 ‘기후변화에 관한 유엔 기본협약(UNFCCC)’을 채택하여 기후변화에 대한 국제사회 공동의 대처를 천명하였고, 1997년 제3차 당사국총회에서는 ‘쿄토의정서’가 채택되어 2005년부터 의무감축국을 중심으로 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 실질적인 활동이 수행하기 시작하였다. 이시기에 온실가스 감축목표를 효과적이고 시장경제 친화적으로 해소하기 위해서 실행된 방안이 ‘탄소시장’을 통한 탄소배출권거래의 시작이다.

탄소시장이란 현재의 사회시스템을 포기할 수 없는 인류가 선택한 기후변화 대응 대안으로, 산업 시스템을 유지하면서 최대한 효율적으로 탄소배출을 억제하고 탄소를 시장경제 논리에 따라 거래하는 시스템이다.

탄소시장은 지역에 따라 탄소감축에 필요한 비용 및 감축효과가 차이가 있음을 인정하고 비용효과적인 방법으로 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 발생되었다. 탄소배출권 거래는 그 유형에 따라 총량제한거래(Cap and Trade) 방식과 감축인증권거래(Baseline and Credit) 방식으로 운용되고 있는데, 총량제한거래는 온실가스 감축의 의무가 있는 배출원(국가 또는 기업 등)에게 지정된 온실가스에 대한 배출한도를 부여하고 실제 배출량이 그 이하인 배출원은 감축된 양을 탄소시장에 판매할 수 있도록 하는 제도이다. 감축인증권거래는 프로젝트 단위로 탄소거래가 발생되며 감축의무가 없는 배출원도 참여가 가능하고 법적인 강제보다는 탄소감축 노력에 대한 인센티브를 통하여 자발적인 온실가스 저감 노력을 유도하는 제도이다.

한국은 온실가스 배출량 증가속도로는 OECD국가 중 가장 높고 전 세계 배출량 순

위 10위에(2005년 기준) 달하는 높은 온실가스 배출국이기 때문에, 향후 의무감축국이 될 가능성이 매우 높다. 정부도 이에 대응하기 위하여 2020년까지 2005년 대비 4% 감축(BAU기준 30% 감축) 목표를 설정하고, 산업 및 에너지 분야를 대상으로 온실가스 감축을 위한 다양한 정책들을 추진하고 있는 중이다. ‘저탄소녹색성장기본법’에 의해서 2010년 4월부터 목표관리제가 실시되고 있으며, 2013년부터는 탄소배출권거래제가 시행될 예정임(지경부). 지금까지 한국의 탄소시장에서의 역할은(의무감축국이 아니므로) CDM(Clean Development Mechanism) 등 감축인증권거래 방식을 위주로 단위 사업자가 탄소거래에 참여하는 수준이었다. 그러나, 목표관리제의 실시에 따라 2011년부터 목표관리 대상기업에 감축의무가 발생되면 향후, 총량제한거래 방식에 따른 배출권거래 방식도 도입될 예정이다(2013년 도입 예정, 지경부).

국제/국내의 기후변화 대응을 위한 온실가스 대책은 주로 에너지산업에서 발생하는 온실가스의 관리에 집중되어 있으며, 아이러니하게도 대표적인 녹색산업인 농업과 임업 등 자연계를 대상으로 하는 산업은 현재 고려 대상에서 빠져 있다. 그 이유는 첫째, 온실가스 감축 정책은 지원 보다는 규제를 위한 제도 마련에 초점이 맞춰져 있기 때문이다. 즉, 지구온난화에 직접적인 영향을 끼친 산업계에 일차적인 책임을 묻고 그 해법 역시 같은 곳에서 풀고자 함에 있다. 둘째, 농업, 임업, 축산업 등 생명산업의 온실가스 감축 노력은 에너지효율화 및 산업공정 개선에 의한 온실가스 감축 효율 보다 현격하게 작기 때문이다. 셋째, 자연 현상에서의 탄소 방출 및 흡수를 정량적으로 측정하고 검증하는 것이 과학적으로 어렵고 높은 비용이 발생하기 때문이다. 이러한 이유로, 대표적인 감축인증권거래인 CDM 등에서 농축임업 분야

는 다른 사업 분야보다 그 수가 현격하게 적고 적용 방법론도 소수에 그치고 있다(<http://cdm.unfccc.int> 참조). 그러나 기술개선으로 탄소저감 효율을 높이고 비용 효율적인 검증 방법이 개발되면 미래의 탄소경제 체제하에서 녹색산업인 농축임업은 그 역할이 크게 증가할 것으로 예상된다.

현재, 자연생태계에서 적용할 수 있는 대표적인 탄소배출권 확보 방법은 신규 산림(목본)의 관리를 통한 유기탄소 증가분을 크레딧으로 인정받는 것이다. 이 경우 목질부의 성장에 따른 유기탄소 증가분은 배출권으로 인정받으나, 생태계의 토양유기물 증가에 따른 탄소저장량은 인정받지 못하고 있다. 그 이유는, 토양탄소 증가량을 과학적이고 객관적으로 입증할 수 있는 축적된 데이터가 없고, 관련된 연구 역시 일관적으로 분류된(수종 및 지역에 따른 일관성) 결과를 생성하고 있지 못하기 때문이다. 최근 미국을 중심으로 무경운(no tillage) 및 바이오숯(bio-char)을 활용한 토양탄소 증가분을 탄소배출권으로 인정받기 위한 움직임이 있으나 유럽연합 및 일부 국가들이 부정적인 입장을 고수하고 있어 국제적으로 인정받기까지는 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다.

농업은 인공생태계인 논과 밭에서 작물을 재배하고 이를 상품화하는 대표적인 녹색산업으로 일반적으로 탄소싱크(carbon sink)로 작용되고 있을 것으로 인식되고 있으나, 이러한 인식과는 상반되게 농산업은 매우 높은 탄소배출 구조로 되어 있다. 기후변화정부간위원회(IPCC)는 농업용 토지이용으로 배출되는 메탄가스와 아산화질소의 양이 전체 온실가스의 12%를 차지하고 있다고 보고하고 있으며, 여기에 농산물 생산을 위하여 투입되는 농약, 비료, 농자재의 제조 에너지 및 농산물 운송에 필요한 에너지를 포함하게 되면 농산업의 온실가스 배출비율은 급격하게

증가된다. 즉, 농업은 기후변화에 매우 민감한 분야임과 동시에 엄청난 양의 온실가스를 배출하고 있는 산업이기도 하다.

높은 에너지사용 및 고탄소배출 구조를 갖고 있는 현대 농업은-1 cal의 농산물을 생산하기 위하여 투입되는 에너지는 약 10 cal 가 필요함(Al Gore, 2010)-기후변화 시대의 저탄소·녹색경영 패러다임과 정면으로 대립하는 산업구조로 발전되어 왔으나, 다행스럽게도 최근에는 지구환경보호와 식품안전성 문제, 에너지가격 급등 등 사회적 환경 변화로 인하여 고투입·저효율 경영에서 탈피하여,

저탄소·친환경 미래농업으로 구조를 변화하려는 움직임이 활발하게 일어나고 있다. 또한, 최근에는 이러한 사회적 환경 변화를 기회로 삼아 1차 산업인 농업을 제조, 서비스, 컨설팅 등 3차 산업의 영역으로 확장시키려는 움직임 또한 활발하다.

저탄소·친환경 미래농업기술의 예로는 논의 지능형 물관리, 녹비작물 재배, 축산폐기물 및 음식폐기물의 재활용, 지열히트펌프 등 다양한 기반기술이 있으며, 이들 기술을 융합하여 시너지효과를 극대화하는 복합기술도 현재 적극적으로 도입되고 있다.

<저탄소경영을 위한 미래농업기술>

[단일기술 기반]

1. 지능형 물관리

- 논의 혐기성미생물에 의해서 발생하는 메탄 배출을 최소화하기 위한 물관리 매뉴얼로 관리 방법에 따라 논에서 발생하는 메탄배출량이 2배 정도 차이가 난다(상시담수 시 메탄발생량 : $2.37\text{CH}_4\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$, 간단관개 시는 약 절반배출)

2. 축산/음식 폐기물 처리

- 유기성 폐기물의 혐기발효를 이용한 바이오가스 생산과 이의 이용 방법에 따른 열 및 전력 생산 : 단, 초기 투자비가 크기 때문에 현 단계에서는 경제성이 매우 작음
- 고농도의 산소를 투입하면서 퇴비발효를 진행시키는 방식인 고산소-퇴/액비제조로 온실가스인 메탄배출을 최소화 하면서 유기비료 생산(CDM 방법론으로 최근 등록)

3. 지열히트펌프

- 지열을 이용하여 시설하우스의 난방 및 냉방을 화석연료의 투입없이 수행
- 시설재배 시 많은 비용이 발생하는 난방에너지 비용을 절감하고, 탄소배출은 없음

4. 녹비작물 재배

- 겨울철 또는 이른 봄에 녹비작물을(헤아리베치, 자운영, 보리류 등) 재배하고 이를 토양으로 환원하여 토양유기물 증가, 토양물성 개선, 화학비료 저감 등의 효과를 얻음

[복합기술 기반]

1. 농촌녹색마을(Zero-Town)

- 신재생에너지(태양, 풍력, 수력)를 활용한 전력생산, 농축임업 폐기물의 유기퇴비화 및 열에너지 전환, 중앙 냉난방시스템 도입 등으로 에너지효율을 극대화시켜 마을 단위의 에너지 자립과 탄소배출저감 시스템을 구축
- 녹색관광과 탄소배출권거래를 통하여 추가 수익이 기대되는 미래형 농촌마을

2. 농축임업 융복합 시스템

- 시설농업과 연계하여 축산퇴액비 활용(화학비료저감), 펠릿난방 도입(열, CO₂공급), 순환림 관리(CO₂흡수)를 병행하는 대규모 농업플랜트 단지 구축
- 농산물의 안정성관리 및 최상의 품질관리가 가능하고, 고에너지효율-저탄소배출로 국내 농산물의 국제적 경쟁력을 강화하는 미래농업 기술

그러나, 미래농업 기술의 보급 및 활성화를 위해서는 극복해야 할 벽이 많다. 우선, 신재생에너지 생산시설의 보급 및 대규모 농업단지 조성 등 복합기술 기반 시스템은 막대한 초기 투자비가 필요하다. 또한, 시장경제 체제의 특성상 소비자가 저탄소농산물 소비에 적극적으로 참여하지 않는다면 생산자는 저탄소관련 기술 적용을 위한 투자를 주저할 수밖에 없다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 정부의 녹색금융지원을 통한 투자확대와 탄소배출권 확보 및 거래를 통한 투자비용 회수, 녹색소비자 교육, *탄소표시제 및 **탄소포인트제의 도입에 따른 녹색소비 활성화가 선행되어야 한다.

작금의 기후변화 위기 극복을 위한 노력은 중요하고도 시급하다는 특징을 갖고 있다. 또한, 산업 분야에서만의 노력만으로 쉽게 극복될 수는 없으며 국가에서부터 개인에 이르는 탄소감축 노력을 필요로 한다. 즉, 미래의 저탄소사회 구축을 위해서는 연구개발, 교육, 생활방식변화 및 경제시스템 재편

성 등 사회 시스템 전반에서 녹색혁명이 필요한 것이다. 기후변화가 자연생태계와 대표적인 녹색산업인 농축임업에 커다란 위기임은 분명한 사실이나, 지금까지 산업개발이란 명제 하에 소외되어 왔던 1차 산업인 농축임업이 탄소표시제, 탄소배출권거래제 등과 결합하여 2차, 3차 산업을 아우르는 새로운 분야로 도약할 수 있는 기회이기도 하다.

인용문헌

- Al Gore. 2010. Our choice(우리의 선택). 알피니스트. Chap 10.
 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: the Scientific Basis. Cambridge University Press. Cambridge. UK. p. 22.
 Martin L. Weitzman. 2007. The Stern Review of the Economics of Climate Change. JEL. p. 29

*탄소표시제란 상품의 생산-제조-소비-폐기에 이르는 전과정동안에 발생하는 탄소배출량을 제품에 표기하여 소비자에게 제품의 탄소정보를 적극적으로 알리는 제도

**탄소포인트제란 소비자가 기준보다 낮은 탄소배출행동(저탄소농산물 구매 등)을 했을 경우 그양을 정량화하여 탄소포인트로 적립하고 이를 인센티브로 활용할 수 있도록 하는 제도