

地球 온실효과의 주범 이산화탄소의 처리

玄 源 福

〈과학저널리스트/본지편집위원〉

기후변화협약이 1994년 3월 21일을 기해 마침내 발효되면서 지구온실효과의 주범인 이산화탄소의 처리문제는 인류가 당면한 가장 중요한 과제의 하나로 다가섰다. 이산화탄소의 발생량을 줄이는 방법중에서 화석연료의 사용량을 줄여서 발생의 근원을 축소하는 것이 가장 효과적인 방법이기기는 하지만 이것은 선후진을 가릴 것없이 여러 국가의 경제발전에 중대한 영향을 미치게 될 것이며 특히 개발도상국가들의 적극적인 협력없이 는 실효를 거두기 어렵다.

그래서 선진국 과학자들은 발생된 이산화탄소를 효과적으로 처리함으로써 대기중에 있는 이산화탄소 양의 증가를 막거나 일정수준으로 유지하는 방법을 모색하고 있다.

기발한 구상들

1994년 2월 18~23일 미국 샌프란시스코에서 열린 세계 최대의 과학자 모임인 미국과학진흥협회(AAAS)의 제160차 연례모임에서는 '미래의 지구공학자들이 한자리에 모여 지구공학

적인 측면에서 온실효과를 해결하는 방안을 모색했다.

온실효과에 대한 규범적인 대응방법은 화석연료의 사용량을 줄여서 발생하는 이산화탄소의 양을 줄이는 것이라는데는 이의가 없었으나 미래의 지구공학자들은 이산화탄소를 제거하는 여러가지 대안을 제시하고 있다. 그중에는 이산화탄소를 발전소에서 직접 바다밑 깊은 곳에 펌프로 보내자는 제의도 있다.

또 새로운 삼림을 키우거나 또는 바다에서 광합성하는 플랑크톤을 키워서 대기속의 이산화탄소를 빨아들인다는 구상도 있다. 또 그 효과를 역작용시키자는 제안도 있다. 예컨대 우주공간에 설치한 거울이나 또는 대기중에 뿌린 먼지가 햇빛을 어느 정도 차단할 수 있다는 것이다. 온실기체는 열을 가뉘 두겠지만 무엇보다도 먼저 온실속으로 들어가는 열의 양을 줄이자는 것이다. 그러나 이런 계획의 흠은 비용이 엄청나다는 것이다. 발전소의 연도(煙道)로부터 이산화탄소를 펌프질 해서 깊은 바다밑으로 보내자면 막대

한 비용이 든다. 그래서 발전단가는 2배로 뛰어 오르고 발전가의 능률은 30%나 줄어든다.

이보다는 비용이 덜 드는 구상도 있다. 예컨대 쇠가루를 뿌려 바다를 비옥하게 만든다는 생각이다. 이 제안을 한 고(故) 존 마틴은 세계의 바다는 철분을 제외한 많은 기본 영양분을 내포하고 있지만 생물은 적다는 사실을 알게 되었다. 만약에 철분의 부족때문에 이런 바다에 생물이 적다면 철분을 좀 보태주면 큰 효과를 볼 수 있게 될 것이다. 그리하여 플랑크톤은 영양분을 게걸스레 먹으면서 이산화탄소도 흡수해 버린다. 이들이 죽어서 바다밑에 가라 앉으면 이산화탄소도 함께 가라 앉아 기후변화의 걱정을 덜어준다는 것이다.

플랑크톤이 필요한 철분은 1만개의 탄소원자에 대해 철원자 1개 정도의 비율밖에 안되므로 많은 금속이 필요한 것도 아니다. 만약에 철을 고루 뿌릴 수 있다면 유조선 2~3척분의 철이면 남극 주변의 바다를 모두 비옥하게 만들 수 있다.

미국 듀크대학의 리차드 바버는 최근 이런 구상을 시험한 결과를 이번 AAAS회의에 제출했다. 바버팀은 태평양의 적도 부근 일부지역에 철을 뿌린 결과 실제로 작은 플랑크톤 식물의 생산성은 늘어났다는 사실을 알게 되었다. 그러나 물속에서 이보다 약간 아래쪽에 사는 작은 플랑크톤 동물은 곧 포화상태가 되고 많은 철분은 덩어리가 되어서 가라앉아 버렸기 때문에 3일 뒤에는 플랑크톤의 손이 미치지 못하게 되었다.

식물로 고정

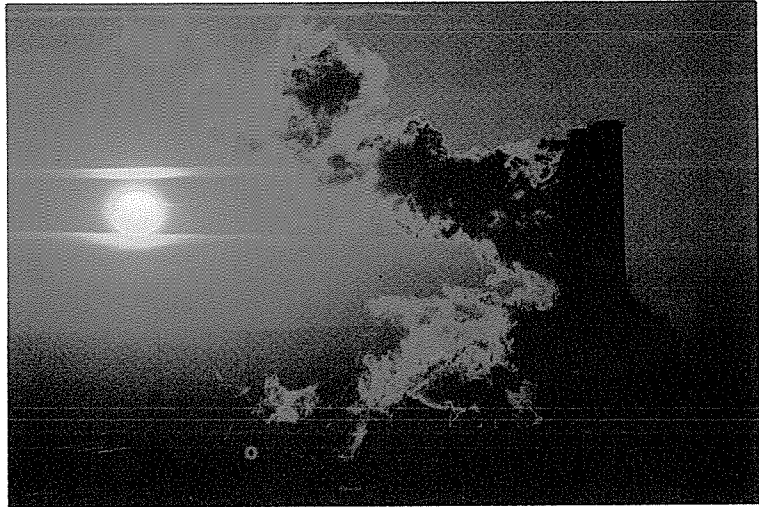
이산화탄소 문제를 해결하는 하나의 방법으로 식물에 대기속의 이산화탄소를 직접 흡수하는 길을 모색하고 있다. 일본과 미국의 연구자들은 유전공학으로 손을 본 생물을 연못이나 바다에 방출하는 것도 대기중에서 늘어나는 이산화탄소의 수준을 낮추는 방법이 될 수 있다고 생각하고 있다.

일본정부의 통상성은 90년 환경문제의 기술적인 해결책을 마련하기 위해 독립연구기관인 지구혁신기술연구소(RITE)를 설립했다.

비현실적이라는 비평도 듣고 있으나 이 연구소의 가장 이상적인 사업은 이산화탄소를 식물조직속에 생물학적으로 고정시킨 뒤 이 조직을 연료용 기름과 동물사료와 같은 제품으로 가공하기 위해 광합성을 조정하는 일이다.

이 연구소의 계획에 따르면 발전소에서 배출되는 이산화탄소를 바다말과 같은 생물을 가득 채운 대형 탱크를 통과시켜 거품을 일게 한다. 한편 광합성을 위한 햇빛을 태양열 수집기로 모아서 집중적으로 쬐어 주고 식물이 이산화탄소를 섭취한 뒤에는 주기적으로 수확한다. 태양에너지는 또 이런 제품을 가공하는 과정에서도 이용한다는 것이다. 이 계획의 입안자이며 도쿄대학 생물전자공학교수인 가루베 이사오는 "이 사업의 목표가 추가로 화석연료에너지를 사용하지 않는다는 데 두고 있다"고 말했다.

이런 비전을 실현시키자면 여러 분야에서 발전이 이루어져야 하지만 가장 중요한 것은 대량의 이산화탄소를



◇ 화석연료의 소비증가와 열대림의 상실로 지구의 온난화는 가속화되고 있다.

재빨리 소화할 능력이 있는 생물체를 찾는 일이다. 가루베교수의 개인 연구소와 해양생물공학연구소는 함께 7천여종의 미생물을 스크린했다고 말하고 있다. 이중에는 종전에 분류되지 않은 미생물도 많이 포함되어 있다.

이런 생물학적 접근법의 문제점은 미생물은 광합성에서 비교적 적은 양의 이산화탄소를 섭취한다는 점이다. RITE의 미야치소장은 최근 발견된 '클로로코쿰 리토랄'의 경우 자연조건 아래서 5백메가와트급 석탄화력발전소가 배출하는 이산화탄소를 처리할만한 이런 바다말을 키우자면 사방 16km 넓이의 연못이 필요하다고 말하고 있다.

이 문제를 해결하는데 2가지의 접근 방법이 있다. 미야치소장에 따르면 자연연못에서 바다말을 키우자면 충분한 양의 햇빛이 필요한데 자연광은 수면 바로 밑 2인치 정도를 침투하는데 그친다는 것이다. 그래서 광섬유를 이용하면 빛을 이보다 더 깊은 곳까지 실고 갈 수 있다. 현재 이런 장치의 원형을 개발했지만 이것을 크게 확장하는데는 많은 비용이 들 것 같다.

해상농장

미국 과학자들은 광대한 공간이 필요한 이 방법의 해답을 육지보다 바다에서 찾고 있다. 미국전력연구소(EPR)가 지원하고 캘리포니아주 골레타소재 네우셀 매리컬처사가 실행중인 한 프로젝트에서는 과학자들이 캘리포니아산 미역으로 만든 거대한 떠있는 '농장'의 개발가능성을 조사연구하고 있다. 이 미역 위에 이산화탄소를 흡수하여 탄화칼슘으로 전환하는 석회질을 가진 바다말의 무리를 붙여준다. 이 바다말들은 이산화탄소를 소화해 가면서 차츰차츰 무거워져 마침내는 농장 전체가 바다 밑에 가라앉아 버리면 다시 새로운 농장이 들어서게 된다.

다른 하나의 시나리오에서는 테크니션들이 영양분이 풍부한 해역에서 떠있는 농장을 만든다. 이곳에서 자란 바다말들은 차츰차츰 해류에 밀려 영양분이 빈약한 해역으로 이동하여 결국 영양이 모자라서 죽으면 바다 밑에 가라앉아 버린다는 것이다.

이런 무인농장을 개발하는 비용은

비교적 경제적인 것으로 보고 있다. 그러나 연구자들은 미역에다 석회질을 가진 바다말을 붙이는데 어려움을 겪고 있다. 또 현재의 이산화탄소 배출량을 다루자면 약 1백만평방마일(1천6백km 사방) 넓이의 해면이 필요하다.

두번째 접근책은 생물이 이산화탄소를 흡수하는 능력을 유전공학기법으로 유발시키자는 것이다. 가루베교수는 이런 방법은 이 사업의 궁극적인 목표라고 설명하고 있다. 그러나 고정율과 배양조건이 향상된다고 해도 생물반응로와 일광수집기를 확장하는 비용 때문에 바다말을 이용하는 시스템의 역할에는 한도가 있다고 보고 있다. 그래서 약 3% 농도의 이산화탄소를 가진 가스를 배출하는 화학공정이나 액화천연가스를 연료로 사용하는 화력발전소와 같이 배출가스의 이산화탄소 농도가 비교적 낮을 때 적용이 가능한 방법이라고 보고 있다.

먼저 쏘는 대포

그러나 플라크톤처럼 생물의 번덕에 의존하지 않는 방법은 보다 단순하고

실효성이 있는 것처럼 보인다. 전투함의 대포를 수직방향으로 발사하여 얽은 먼지층을 성층권으로 올리는 일은 비교적 쉽고 경제적이다. 이 먼지층은 태양으로부터 지구를 성공적으로 음폐할 수 있다는 증거도 있다. 91년 피나투보산의 폭발로 2천만톤의 먼지가 성층권으로 올라갔다. 이것은 한동안 세계를 덮어 컴퓨터모델이 예측한대로 지구 표면을 냉각시킨 것으로 보인다.

미국립연구원의 92년 보고에 따르면 들어오는 햇빛의 1%를 반사하여 매 평방m 당 2~3와트의 열을 줄이자면 2~3년에 한번씩 대포로 피나투보산이 분출한 양만큼의 먼지를 대기권으로 쏘아 올리면 된다고 한다. 그러나 대포를 좋아하지 않는 사람을 위해서는 여객기 배기가스의 첨가물을 이용하여 같은 효과를 볼 수 있다.

한편 캘리포니아대학(어빈)의 랠프 시세론은 이와는 다른 종류의 지구공학을 보여 주었다. 그와 그의 동료과학자들은 냉매와 에어졸 추진제로 사용하는 CFC에서 방출되는 염소가 파괴한 남극상공 오존층 구멍을 뿜질하

는 방법을 모색하고 있었다. 이들은 그 처방의 하나로서 겨울철이 끝날 때 남극의 성층권에 프로판을 보내는 방법을 제안하고 있다. 컴퓨터모델에 따르면 염소는 프로판과의 반응으로 소진되어 오존층만 남게 된다는 것을 보여주고 있다.

시세론과 그의 동료 과학자들은 항공합대가 스토브용의 연료를 남극상공에 뿌리라고 제의하기 전에 보다 상세한 모델에서 그들의 연구결과를 점검했다. 이들은 염소가 프로판에서 벗어날 수 있는 여러 가지 방법을 갖고 있다는 것을 보여 주었다. 성층권은 매우 복잡하기 때문에 수백만톤의 먼지를 성층권에 올릴 사람은 이런 점을 유의해야 한다고 경고하고 있다.

우주의 선스크린

한편 지구와 태양 사이에 대형거울을 거치하면 지구에 도달하는 햇빛의 양을 줄일 수 있다. 알루미늄박을 이용할 수 있는데 지구의 중력을 뚫고 우주공간으로 쏘아 올릴 필요가 없을지 모른다. 달이나 이웃한 소행성(小行星)의 광산을 개발하여 현장에서 제련하면 필요한 원료는 충분히 공급할 수 있을 것이다. 그 비용은 2~3조달러나 될 것이나 화석연료를 전환하는데도 그만한 비용은 든다. 그러나 이렇게 반사된 에너지는 온실가스가 가뭄 등 에너지와 전체적으로 평균했을 때만 서로 맞먹는다고 미국 스텐퍼드대학의 스티븐 슈나이더는 지적하고 있다. 지역적으로 볼 때 그렇게 잘 균형을 이루지는 못할 것이다.

성층권에서 우주로 반사된 햇빛은



◇ 브라질 리오브랑코에서 선전되고 있는 아이스 크림용 홀두는 심빙을 가꾸면 환경은 물론 경제적으로도 가치가 있다는 것을 보여주고 있다.

세계 전역에 고루 영향을 줄 것이다. 성층권은 매우 잔잔하고 매끄럽기 때문이다. 그러나 온실효과의 영향은 그렇게 고루 번지지 않는다. 그보다 아래쪽의 대기는 기상 등으로 변화가 다양하다. 육지는 바다보다 더 빨리 데워지고 혼합되지 않는 상태의 바닷물은 많이 순환하고 있는 곳보다 더 빨리 데워진다. 맑은 하늘을 가진 장소는 구름이 낀 장소보다 온실효과의 영향을 더 많이 받게 된다. 그래서 성층권을 방패로 해서 고루 냉각한다고 해도 지구를 산업혁명 이전의 에텐 동산으로 복귀시키지는 못할 것이다. 평균 온도를 내릴 수는 있어도 지역적인 기상변화에는 제한을 가할 수는 없을 것 같다. 이 방법은 일부 지방은 오늘날보다 더 선선하게 만들지 모르나 예측할 수 없는 방법으로 지역기상패턴을 뒤엎을지 모른다. 이런 주장을 하는 슈나이더박사는 지구공학을 배제하는 것이 아니라 결합과 불확실성을 지적하고 있다.

범지구적 조림사업

이산화탄소를 많이 배출하는 석탄연료의 화력발전소 중에는 조림사업을 통해 이산화탄소의 양을 줄이려고 모색하는 '도덕성이 높은' 발전소도 있다. 예컨대 미국 독립계의 전력회사인 어플라이드 에너지 서비스사(AES)는 88년 파테말라에 5천2백만그루의 나무를 심기로 결정했다. 자라나는 나무들이 이산화탄소를 흡수하게 되는데 결국 미국 코네티컷주에서 가동하기 시작한 석탄화력발전소가 배출하는 이산화탄소의 양도 줄어들게 된다는 것

이다. 이 기업의 데니스 바크사장은 어떤 한 나라에서 발생된 이산화탄소를 다른 나라에서 수거하는 경우 결국 대기 전체로 생각한다면 같은 효과를 거두기 때문에 조림사업을 미국에서 하건 파테말라에서 하건 상관 없다고 말하고 있다. 스스로 환경보호에 앞장서고 있다고 자부하고 있는 미국 뉴잉글랜드전기회사도 말레이시아에서 조림비용을 지불하고 있고 캘리포니아주와 캐나다의 기업들도 AES에게 재정 지원을 할 이와 비슷한 사업을 찾는 데 도움을 요청하고 있다.

한편 네덜란드에서는 국영발전위원회가 FACE라는 재단을 설립했다. 이 재단은 매 가구의 전기료에 연간 1길더(약 4백64원)를 거둬 이산화탄소를 줄이는 사업에 보낸다. FACE는 말레이시아에서 2만5천헥타르, 체코슬로바키아에서 1만6천헥타르의 조림을 돕고 있다. 이 위원회는 동유럽의 악명높은 에너지-비효율 산업계가 배출하는 이산화탄소의 양을 줄이기 위해 네덜란드에 가구마다 다시 연간 1길더씩 지불할 것을 제안하고 있다.

오늘날 나무는 이산화탄소를 가장 효율적으로 제거한다고 알려졌으나 주로 브라질과 서부 아프리카 그리고 인도네시아를 포함하여 전세계에서는 매 분당 50에이커의 삼림이 벌목되고 있다. 그러나 벌목을 막고 나무를 다시 심는 것만으로는 현실적인 해결책은 못된다. 미국립 오크리지연구소의 추정에 따르면 지구의 온실효과를 멈추려면 이산화탄소를 특별히 잘 흡수하는 플라타너스나무를 17억 에이커나 심어야 하는데 이것은 호주의 면적과

거의 맞먹는다. 미국 워싱턴의 미래자원연구센터에 따르면 매년 대기중에 새로 추가 되는 29억톤의 이산화탄소를 흡수하려면 미시시피 서쪽의 미국 각주를 합친 지역과 맞먹는 11억에이커의 새로운 삼림을 조성해야 한다고 보고 있다. 열대지방에서의 조림비용은 에이커당 2백달러, 온대지방에서는 4백달러로 볼 때 세계의 삼림면적을 16% 늘리는데 드는 비용은 약 5천억 달러로 어렵고 있다. 그러나 이런 방법으로 지구의 온난현상을 막을 수 있다면 불가능할 정도로 큰 투자는 아니라는 생각이 지배적이다.

한편 우리나라 산림청 임업연구원의 연구에 따르면 현재 우리나라 산림이 흡수·저장할 수 있는 탄소량은 연간 약 1천3백38만톤으로 추정하고 있다. 이것은 발전과 수송 그리고 산업계에서 연간 대기중에 배출하는 탄소량인 7천8백만톤의 약 17%에 해당된다. 이 밖에도 우리나라 산림에서는 연간 3천5백67만톤의 산소를 공급하고 산림 1헥타르당 아황산가스 12.3kg, 먼지 5.9kg를 흡수하여 약 8조3천7백97억 원에 해당하는 대기정화기능을 갖고 있다고 알려졌다.

그런데 지구공학은 다른 방법과는 달리 범세계적인 합의가 필요없다. 아예 이산화탄소의 배출을 할 수 없도록 하려면 다국간의 절차가 필요하지만 지구공학은 일방적으로 할 수 있는 일이다. 예컨대 초강대국이 햇빛을 반사하여 온실효과를 막기 위해 하늘을 어둡게 만든다는 것은 부도덕하거나 슬기롭지 못한 일이 될지는 몰라도 불가능한 일은 아니다. **57**