

실하게 두어야 한다. (대한민국헌법 제4조 참조)

2. 배타적(排他的)이고 폐쇄적(閉鎖的)인 독재정권과 개방된 자유민주주의정권의 영구적인 평화공존은 불가능하다. 하나의 민족(ein Volk)에 의한, 하나의 나라(ein Reich), 즉 통일국가에서는 공정자유선거로 정당하게 선출된 사람만이 통치 권력을, 법에 따라서(法治), 그것도 법정기간 동안만 행사하여야 한다. Hitler와 같은 독재자를 하나의 지도자(ein Führer)로 섬겼던 독일은 지구상에서 사라진 지 오래다.
3. 자라나는 후세에게 과거사를 왜곡(歪曲) 없이 가르쳐야 한다. 이미 왜곡된 역사에 의하여 세뇌(洗腦)된 사람들의 계몽(啓蒙)을 서둘러야 한다.
4. 김일성·김정일의 정권과, 우리의 불쌍한 동포들인 북한 주민을 확실히 구별(區別)하여야 한다. 우리가 주는 쌀은 군량미(軍糧米)로, 질소비료는 (가공 후) 폭약으로 전용(轉用)될 수 있다.
5. 우리는 우리의 변영의 원동력이었으며, 백성의 인권을 보장하는 자유민주주의 체제를 지키기 위하여,
 - (가) 선군(先軍)정책을 쓰는 김정일의 정권보다 우세한 군사력을 유지하고, 미국과의 군사동맹을 강화하여, 김정일의 오판(誤判)을 사전에 예방(豫防)하여야 한다.
 - (나) 국가보안법을 사문화(死文化)하지 말고 이 법(法)의 집행(執行)을 엄격히 하여야 한다. 대한민국의 국가보안법은 자유민주주의 체제를 보호하는 것이고, 이와 대칭적으로 잘못 인용되는 북한의 가혹한 형법(刑法)은 김정일의 독재 권력을 유지 보호하는 것이다.
6. 중국의 잠재적(潛在的) 간섭을 예의(銳意) 주시(注視)하고, 대책을 사전에 세워두어야 한다. 그들은 한반도의 평화통일을 방해한 전례(前例)가 있다.
7. '우리의 소원'인 통일은 서둘지 말고 느긋하게 기회를 기다려야 한다. 현재는 대한민국의 내실(內實)을 온 국민이 합심해서 다져 나가야 할 때이다.

지구 온난화 단상

자연과학대학 생명과학부 명예교수 김 준 호

머리글 - 난폭해지는 기후

지난 3월의 지구 평균 기온은 129년 만에 가장 더웠다고 한다. 이러한 통계 숫자가 아니더라도

도 요즘 봄꽃이 예사롭지 않게 빨리 피고, 봄이 왔다 하면 곧바로 여름의 녹음이 짙어지는 등 지구가 더워지고 있음을 피부로 느낀다. 이러한 지구의 溫暖化는 1970년대 중반 이후 시작하였다. 외국의 어떤 기상학자는 70년대 초반에 『氷河期로 치닫는 地球』라는 책을 냈고, 또 우리나라에서는 가을에 비가 冷害를 받아 농사를 망친 일이 있었으니 분명 그 무렵까지 날씨가 추웠던 것은 사실이다. 하지만 날씨는 점점 더워져서 1998년의 지구 기온은 지난 1000년 이래 가장 더운 해로 기록되고, 2005년에도 기록을 세웠다. UN 정부간기후변화위원회(IPCC)는 2007년에 20세기의 100년간 지구 평균 기온이 0.75°C 상승하였다고 보고하였다. 밤낮의 일교차가 15°C 이상 벌어지는 일기예보에 익숙한 우리들은 100년에 그 정도 높아졌다는 기록을 대수롭지 않게 생각하기 쉽다. 하지만 평균 기온이 약간만 높아져도 지구의 한편에서는 폭우가 쏟아져 洪水-亂離를 치르고, 다른 편에서는 심한 가뭄이 와서 凶年-飢餓로 고생한다.

기상학자들은 무서운 기상재해가 1990년대 이후 이미 시작되었다고 주장한다. 예를 들면, 2002년 8월 강릉에 태풍 ‘루사’가 들이닥쳐 이틀 동안 870mm의 비를 쏟아내 68명의 인명 피해와 8,000억 원 이상의 재산 피해를 냈고, 2003년 6월에는 태풍 ‘매미’가 하루에 358mm의 비를 쏟아 부어 4명의 목숨과 2,300억 원의 피해를 입혔으며, 전국적으로 5조 원 가까운 재산 피해를 냈다. 한편 2003년 8월에는 서유럽에 40°C에 가까운 暴炎이 2주간이나 지속되어 초과 사망자(평년의 사망자를 초과한 사망 수)가 3만 5,000명에 이르렀다. 이 폭염은 유럽에서 기기 관측(1780년)을 시작한 이후 220여 년만의 최고 기록을 갱신하였고, 이 기간의 사망자는 주로 75세 이상의 노인들이었다.

제도권 학자들은 지구의 氣溫上昇 원인을 온실가스(greenhouse gas)의 증가와 관계가 있다고 주장한다. 온실가스는 문자 그대로 온실에 햇빛이 비치면 溫室效果가 나타나 더워지듯이 미량의 가스가 태양 에너지를 흡수하여 온도를 높이는 기체를 말한다. 그 기체로는 자연계에 존재하는 이산화탄소, 메탄 및 아산화질소 그리고 인위적으로 합성한 염화불화탄소류(플레온가스)가 이에 속한다. 온실효과라는 말은 1827년에 프랑스의 물리학자 Foulie가 처음으로 사용하였고, 이산화탄소에 온실효과가 있다는 사실은 1860년에 영국의 물리학자 Tyndall이 실험으로 밝혔으며, 스웨덴의 노벨상 수상자 Arrhenius는 1896년에 말하기를 “만약 인류가 화석연료를 많이 불태우면 공기 중의 이산화탄소가 2배로 증가하고, 그때의 지구 평균 기온은 5°C 상승할 것이다”라고 전망하였다. 최근의 내로라하는 연구자들이 모델을 구사하여 계산한 이산화탄소 2배 증가 시의 지구 평균 기온이 2.4~5.4°C 상승임을 감안하면 Arrhenius가 얼마나 탁월한 학자였는가를 짐작할 수 있다.

대기 중의 온실가스 농도는 높으면 지구가 더워지고 낮으면 추워진다. 현재의 온실가스 농도를 유지하는 지구 평균 기온은 영상 15°C이다. 그래서 현대의 기후는 안정되어 있어 모든 생물이 살기 알맞으며, 인류 문명은 고도로 발달하게 되었다. 그런데 대기 중에서 온실가스를 모조리 제거한 상태의 지구 평균 기온을 계산하면 영하 18°C로 내려가서 지구 표면은 얼음으로 덮이게

된다. 이것이 온실가스 농도를 안정하게 유지해야 하는 이유이다. 한편 제도권 밖에서는 지구온난화의 원인을 온실가스, 특히 이산화탄소 증가와 관계가 없다고 주장하는 학자도 있다(龜田 敦, 2007). 이산화탄소 농도가 증가해서 지구가 더워지는 것이 아니고 지구의 기온이 상승하니까 이산화탄소가 증가한다는 주장이다. 과거 75만 년 동안 氷河期와 間氷期(온난기)가 8번 되풀이 되었는데 추운 빙하기에는 이산화탄소 농도가 낮고 더운 간빙기에는 농도가 높았던 까닭을 기온의 상승-하강에 뒤따라서 이산화탄소 농도의 증가-감소가 일어났다는 것이다. 닭-달걀의 선후 관계처럼 현대의 과학으로는 풀리지 않는 과제이다. 하지만 이산화탄소를 비롯한 온실가스에 햇빛을 비추면 더워지는 것은 사실이다.

이산화탄소 계측의 선구자

요즈음의 기온 상승 원인이 온실가스(CO₂) 농도의 증가에 있다는 근거는 대기 중의 농도가 서서히 증가하고 있음이 밝혀졌기 때문이다. 그 일을 시작한 선구자는 미국에서 해양학을 전공한 Keeling이라는 박사후과정의 애송이 청년이었다. 그는 하와이의 Mauna Loa 산(표고 3,400m)에서 1957년부터 이산화탄소 농도를 연속 계측하여 왔다. Mauna Loa 산은 도시나 공업단지에서 멀리 떨어져 있어 전 지구의 평균 농도를 대표하는 背後地로 지목 받고 있다. 3~4년간 자신이 계측한 자료를 검토한 그는 매년 약 1.5ppm(1ppm은 100만 분의 1 부분)씩 꾸준히 증가하고 있음을 발견하였다. 이처럼 이산화탄소 농도가 높아지는 원인을 찾으려고 지구상의 화석연료 연소에서 배출하는 이산화탄소량을 집계해 보니 농도와 양 사이의 수치가 맞아떨어졌다. 그래서 Keeling은 현재의 지구온난화의 원인으로 이산화탄소설을 주장한다. 그는 50여 년간 이산화탄소를 계측하여 인류가 당면한 환경문제인 지구온난화의 원인을 규명하는 데 진두지휘를 하여 왔다. 필자는 Keeling에게 노벨상이 안겨지지 않는 데 내심 의아하게 생각한다.

Mauna Loa 산의 이산화탄소뿐만 아니라 지구상의 이산화탄소 농도는 점점 증가하고 있다. 예를 들면, 산업혁명 이전의 농도(280ppm)보다 지구상의 49개 관측소에서 2005년에 계측한 평균 농도(379ppm)는 무려 35%나 증가하였다.

한국에서는 서울대학교 지구환경과학부의 김경렬 교수팀이 1990년부터 고산(제주도)에서, 기상청 지구대기감시센터가 1999년부터 안면도에서 이산화탄소 농도를 계측하고 있다. 그 결과를 보면 고산의 농도는 매년 1.9ppm씩 증가하고 안면도의 농도는 2.6ppm씩 증가하여 Mauna Loa 산(1.5ppm)보다 높다. 고산은 공장이 전혀 없는 제주도의 서단(중국에서 부는 편서풍의 영향을 받지만)에 위치하지만 안면도는 육지에 가까울 뿐만 아니라 서산-당진의 공업벨트의 영향을 받았다고 해석할 수 있다. 20세기 중에 상승한 전 지구의 평균 기온(0.75°C)보다 한반도(1.5°C)가 2배나 더 높았다는 근거를 이산화탄소 농도에서 뒷받침한 셈이다.

모호한 이산화탄소의 수지 계산

이산화탄소는 주로 토양과 생물의 호흡, 화석연료 연소 또는 시멘트 생산에서 발생하므로 그 發生源(source)을 비교적 소상히 파악할 수 있다. 지구상에서 1년간에 배출하는 이산화탄소량은, 탄소(C)로 환산하여, 1980년대(54억C ton), 1990년대(64억C ton) 및 2000~2005년(72억C ton)으로 시간이 지날수록 증가하고 있다. 하지만 이산화탄소의 흡수는 주로 해양과 녹색식물에서 이루어지므로 정확히 파악하기가 쉽지 않다. 대기와 해양 사이의 1년간의 이산화탄소 유동량은 대기에서 해양으로 약간 많이 흡수하고(92억 2,000만 ton), 해양에서 대기로 약간 적게 방출(90억 6,000만 ton)한다(IPCC, 2007). 이처럼 대기와 해양 사이의 흡수-방출의 양 차이(1억 6,000만 ton)는 크지 않다. 하지만 대기-해양의 흡수-배출은 주로 물리화학적으로 이루어지므로 정확히 계산할 수 있다. 바닷물 양이 엄청나게 많고 알칼리성인 해수의 특수성 때문에 해양은 이산화탄소를 무제한으로 흡수할 것이라는 예상과는 달리 약 100m 깊이까지만 제한적으로 흡수하기 때문에 기대한 것보다 많지 않은 것이다.

문제는 녹색식물의 광합성에 의한 이산화탄소 흡수에 있다. 초등학교생들조차 광합성을 하면 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출한다는 사실을 안다. 그래서 지구온난화를 저지하려면 나무를 심어야 한다는니, 이산화탄소를 흡수하는 열대림은 지구의 허파라느니, 현재의 화석연료 연소와 시멘트 생산에서 나오는 이산화탄소를 모두 흡수하려면 印度 넓이만큼의 면적에 조림을 해야 한다는니 하고 주장한다. 모두 옳은 말들이다.

그런데 어린 나무는 광합성을 하여 줄기가 굵어지지만 100~200년 이상의 늙은 것은 눈에 띄게 굵어지지 않는다. 조림한 지 40~50년이 지난 한국의 森林은 幼齡林이므로 이산화탄소를 흡수하여 지구온난화 저지에 기여하는 것이 사실하다. 실제로 한국의 삼림에서는 1년에 탄소(C) 15,000ton을 흡수한다(Choi and Chang, 2004). 하지만 老齡林은 樹幹이 굵어지지 않은 채 잎과 잔가지가 자라고, 자란 것들은 2~3년 후에 떨어져 분해하여 공기 중에 이산화탄소로 배출된다. 지구의 허파로 일컬어지는 열대림의 純生産量은 전 지구의 32~36%를 차지하는데, 새로 자라는 양과 枯死하는 양이 거의 같아서 순생산량(줄기)은 1년에 ha당 1.11ton밖에 되지 않는다(Clark, 2002). 이에 비하여 한국 森林의 순생산량은 1년에 4~12ton이나 된다. 장기간 순생산량에 저장된 이산화탄소만이 지구온난화 沮止에 이바지 할 수 있다. 더구나 아시아와 아프리카에 분포하는 열대림의 순생산량은 마이너스(-)라는 연구결과도 있다(Phillips et al., 1998). 하물며 농작물은 자라는 동안 이산화탄소를 흡수하지만 3~4년 뒤에는 농산물이 거의 분해되므로 지구온난화에 기여하지 못한다.

물론 열대림은 지구온난화의 저지에 기여한다. 열대림을 벌목하면 이산화탄소를 흡수하지 못할 뿐만 아니라 임상식물과 뿌리와 토양의 유기물이 빠르게 분해되어 많은 이산화탄소를 방출하

기 때문이다. 여기에 열대림을 보존하여야 하는 당위성이 있다. 陸上生物圈(주로 삼림)으로 이산화탄소가 지금은 유입되고 있지만, 근래에 와서 열대림이 빠르게 벌목(연 12.3%)되고 있음을 감하면 21세기 중엽에는 대기 중의 이산화탄소가 육상생물권으로 오히려 유입할 것이라는 전망이 나오고 있다.

메탄 발생원의 새로운 발견

메탄(CH_4)은 자연계에서 발생하는 가스로서 많은 유기물이 썩는 늪지에서 거품으로 발생하기 때문에 늪기(沼氣)라고 부른다. 메탄이 온실가스라는 사실은 1970년대에 비로소 밝혀졌다(Wang et al., 1976). 메탄은 대기 중에서 농도가 낮지만 같은 몰(mole) 농도에서는 이산화탄소보다 무려 21배의 온실효과를 발휘한다. 메탄은 자연계에서 濕地, 벼논, 생물체 연소, 흰개미, 반추동물의 트림 등에서 발생하고, 인간 활동에서 화석연료 연소, 천연가스와 송유관의 누출, 육류가공 등에서 발생한다. 벼논은 중요한 메탄 발생원이기 때문에 서양 사람들은 동양의 벼 재배를 지구온난화의 입장에서 곱게 보지 않는다.

앞에서 언급한 메탄 발생원 이외에 녹색식물의 잎과 낙엽에서 메탄이 발생한다는 사실이 최근에 밝혀져 화제를 모으고 있다. 독일의 Max-Planck 연구소의 Keppler 등(2006)은 옥수수(C_4 식물)나 밀(C_3 식물)과 같은 초본식물과 목본식물(물푸레나무와 너도밤나무)을 통틀어 생엽이나 낙엽이 好氣 條件에서 메탄을 발생한다는 증거를 실험적으로 밝혔다. 메탄은 식물체에 붙은 잎이나 절취한 잎에 관계 없이 발생한다. 그들은 실험재료에 γ 선을 照射하여 잎에 묻은 미생물을 죽인 채 실험하였다.

메탄 발생률은 생엽 g(건조량)당 1시간에 12~370ng(100만 분의 1g)씩 발생하고, 30~70°C의 온도에서 10°C 상승할 때마다 3~5배로 증가하여 최고 870ng에 이른다. 더 나아가 잎이나 낙엽에 直射光線을 비추면 4~5배로 증가하고 광선을 차단하면 다시 감소한다. 안정탄소동위원소 비($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)를 측정한 결과 식물 잎에서 발생하는 메탄은 습지나 벼논에서 배출하는 기존의 것과 다르다는 확증을 얻었다. 메탄발생의 메커니즘은 아직 확실하지 않지만 식물체에 많이 함유된 펙틴이나 리그닌에서 탄소 1개의 메틸기가 분리하여 만들어지는 것으로 생각되고 있다. 그들은 사과 과육의 펙틴에 직사광선을 비췌었을 때 메탄을 발생하는 현상을 확인하였다. 이처럼 호기조건에서 식물 잎이 메탄을 발생하는 현상은 식물생리학자에게 충격으로 받아들여지고 있다.

이 발견이 이루어지기 1년 전에 Frankenberg 등(2005)은 메탄관측계를 탑재한 인공위성으로 지구 대기를 관측하면서 열대림 위의 대기에 메탄 농도가 유독 높음을 발견하였지만 왜 높은가를 언급하지 못하였다. 그런데 Keppler 등이 마침내 열대림의 잎과 낙엽에서 메탄이 발생한다는 증거를 제시한 셈이다.

대기 중의 메탄 농도는 1800년보다 2005년(1,774ppb)에 2배 이상 증가하였다. 연 증가율은 1980년대에 빠르게 증가하고(연 1%) 1990년대에 느리게 증가하다가(0.25%), 2001~2005년에 거의 0%를 유지하여 안정 상태에 접어든 것으로 보고 있다. 이러한 메탄 농도의 안정화를 Keppler 등은 1990년 이후 열대림을 많이 벌목하였기 때문이라고 해석하고 있다.

백인들이 무서워하는 온실가스

인위적으로 합성한 염화불화탄소류, 일명 클로로플로오로카본류(chlorofluorocarbons, CFCs)는 산업혁명 이전에는 존재하지 않았지만 1920년대 말 합성에 성공하여 1930년대부터 널리 이용하여 왔다. 이 물질들은 인체에 독이 없고 불연성이며 실온에서 증발하는 가스로서 냉장고의 냉매, 절연체, 반도체의 세정제, 화장품 스프레이 등으로 이용되고 있다. 화학적으로 안정하기 때문에 수명이 100~200년으로 대단히 길다.

CFCs는 두 가지의 심각한 환경 문제를 일으킨다. 하나는 비록 대기 중 농도가 낮기는 하지만 같은 몰(mole)의 이산화탄소보다 무려 5,000~10,000배의 지구온난화 효과가 있다. 다른 하나는 성층권의 오존층을 파괴하는 데 있다. 오존층은 햇빛의 자외선을 흡수함으로써 지구상의 생명체를 보호하고, 백인들이 앓기 쉬운 피부암을 예방한다. 염소(Cl)를 함유하는 CFCs가 성층권에 도달하면 자외선의 작용으로 유리된 염소는 오존(O₃)과 반응하여 오존층을 파괴한다. 염소는 촉매作用으로 오존과 반응하기 때문에 오존층이 점점 감소되어 오존홀(ozone hole)이 생긴다. 1985년에 Farman 등이 남극에서 오존홀을 발견하자마자 다른 과학자들이 오존층 파괴의 원인으로 CFCs를 지목하였다.

오존홀이 발견된 2년 후에 몬트리올(1987년)에서 재빠르게 국제회의가 열리고 CFCs 제조를 규제하는 의정서가 채택되었다. 백인들이 주도하는 선진 공업국은 의정서를 즉시 실천에 옮겼기 때문에 1980년대에 최고 농도에 달하였던 CFCs 농도가 1990년대 중반을 고비로 감소 추세에 들어 갔다. 우리나라는 CFCs의 생산·소비량을 연차적으로 매년 5%씩 감축하여 2010년에 완전히 생산을 정지할 예정이다. CFCs 농도의 저하는 인류의 노력으로 온실가스를 감축시킨 모범 사례로 꼽힌다. 백인들에게 발병하기 쉬운 피부암이 자외선에 의하여 생긴다는 사실을 그들은 잘 알았기 때문에 재빠르게 감축 효과를 거두게 된 것이다. 이에 비하여 이산화탄소 농도의 저감 노력은 미국과 같은 공업 대국의 경제성장과 맞물려서 효과가 나타날 징후가 보이지 않는다.

지구 온난화와 경제 전망

자연과학자들이 지구온난화를 연구하여 온실가스, 특히 이산화탄소와 기온 상승 사이에 밀접한 상관성이 있음을 시사하고, 미래의 지구온난화와 그에 따른 極限氣候(extreme climate)를 전망하는 연구를 하는 한편 경제·사회학자들은 미래의 기후 변동에 따른 사회 변화와 경제 전망에 관심을 기울이고 있다.

현재와 같은 속도로 온실가스가 증가한다면 기후 변동은 필연적으로 온다는 의견에 異議가 없다. 인류가 번성하면서 생존하려면 기후 변동에 適應(adaptation)을 해야 하는데 그 방법은 온실가스 배출 감축이 첩경이다. 그렇게 하기 위해서는 효율적인 에너지 기술 개발, 정치 지도자의 강력한 저감 의지, 이산화탄소 저감 인프라 구축 및 국제협력이 필요하다고 주장한다(Hansen, 2006). 기후 변동의 위험을 회피하는 이산화탄소 농도는 450ppm 이하를 유지해야 한다는 데 의견이 모아지고 있다(2005년의 농도는 379ppm). 이 농도를 유지하려면 세계총생산(WGP) 중에서 0.4%를 이산화탄소 감축에 투자해야 한다고 한다(Edenhofer et al., 2006). 이 정도의 투자는 뜻을 모으면 충분히 가능하다는 견해가 지배적이다. 만약 지구 기온이 현재보다 3°C 상승하면 세계 경제는 1~3% 후퇴하기 때문이다(Nordhaus, 2006).

변동한 기후는 緩和(mitigation)를 시켜서 인간이 생존을 지속해야 한다. 완화에는 재정이 필요하다. 따라서 富國은 기후 변동에 대비하여 쉽게 완화하고, 貧國은 그렇지 못하는 비극을 안고 있다. 예를 들면, 똑같은 크기의 태풍 피해를 받았을 때 부국은 재력과 기술을 투입하여 재빠르게 복구하여 주민의 생계를 안정시킬 수 있지만 빈국은 복구를 못하여 주민에게 영구히 고통을 안겨줄 수 있다. 기후 변동에 대한 완화에는 우선순위가 중요하고, 완화가 불가능한 부문은 과감히 폐기하는 정책이 긴요하다고 한다.

기초 어휘에서 맴도는 어문생활(Zipf의 法則, Zipf의 曲線)

공과대학 전기컴퓨터공학부 명예교수 안 수 길

‘같은 내용의 글을 재탕할 수는 없다.’ 그러한 생각이 있기 때문에 이미 설명한 바 있는 단어, 또는 개념을 다시 소개하고 해설하는 것에 주저가 없을 수가 없었다. 그러나 모두의 원활한 의사소통을 위해서도 있어야 하고, 개인이 생각을 하는 데에 있어서도 두고두고 편리할 그 개념을 간