

에너지 사용과 환경영향

本稿는 지난 6月25日 한국소비자연맹 주최로 열
진 “환경과 에너지에 관한 세미나”에서 발표된 내
용을 수록한 것이다.



金 明 子
〈숙명여대 이과대학장〉

1. 에너지의 역사

고대로부터 에너지는 역사의 원동력이었다. 전쟁의 역사 속에서도 그러했다. 아득한 옛날 에너지를 모았다가 대번에 풀어줌으로써 멀리 쏠 수 있는 화살을 궁리해 내었고, 싸움터에서 칼을 쓰는 사람을 이겨낼 수 있었다. 기름 또한 요긴하게 쓰이고 있었다. 알렉산더 대왕은 석유 불로 그의 군단의 코끼리들을 부렸고, 기원 7세기 후반에 콘스탄티노플에 나타났던 ‘그리스 화약’도 그 주된 원료가 증류한 석유였다. 이 비장의 무기는 바다를 일시에 불바다로 만들었다. 십자군 전쟁 때에는 역청과 나프타를 연료로 화염무기 ‘도깨비불’을 만들어 전쟁을 치루었다. 그리고 중세의 대포의 출현은 봉건제를 무너뜨리는 데 한 몫을 했던 것으로 기록된다.

18세기 산업혁명 이후 영국은 증기기관의 발명에 의한 대량생산의 제품들을 내다팔 시장과 그 원료를 구할 필요에 직면하게 되었다. 그러한 활동에 소요되는 석탄의 산지를 확보하는 것도 필연적 과업이었다. 영국이 온 세계로 그 제국주의적 야심을 펼쳐 나갔던 것은 에너지의 변화와 산업화에 따른 요구와도 긴밀하게 관련되었던 것이다.

제2차 세계대전 중에 아돌프 히틀러가 그의 승리에 희망을 걸고 있었던 것은 공군과 기갑부대였다. 독일은 이들의 원동력인 석유를 자급자족하는 방도를 찾게 되었으며, 그 결과 전쟁 중에 석탄으로부터 석유를 얻어내는 베르기우스 공정을 개발하게 되었다. 그러나 휘발유를 합성하는 것에 성공한 것만으로는 전쟁의 에너지 수요를 감당할 수 없었고, 연료문제의 해결을 위해 소련의 바쿠 유전을 장악하려 하였으나 실패하고 말았다(1942년).

그나마 그들이 액체연료를 보급받고 있었던 루마니아의 플로에시티 유전도 미 공군의 공습에 의해 파괴되고 말았다(1944년 5월). 알베르트 스피어 군비장관은 이 폭격을 계기로 ‘기술면에서의 전쟁은 판가름이 났던 것’이라고 적었다. 뒤이어 발지 전투를 감행하기에 이르나(1944년 12월), 벨기에의 안트워프를 점령함으로써 연합군의 허리를 자르면서 동시에 연료창고 등을 탈취하려 했던 이 공략 또한 실패로 끝장나고 말았다. 게다가 후방의 합성연료공장마저 폭격을 당하게 되자, 독일의 군수장비들은 꼼짝도 할 수 없는 무용지물이 되고 말았던 것이다.

2. 재생 에너지에 관하여

지구상의 에너지 자원이라고 하면 나무를 비롯하여 수력, 풍력, 태양열, 지열, 해양열, 조력 등과 더불어 석탄, 석유, 가스, 원자력에너지를 꼽게 된다. 그리고 전자의 것들을 재생가능한 에너지라 한다. 뿔감으로서 역사상 최초로 쓰이기 시작한 것은 나무였다. 사람들은 잘 타는 나무를 써서 햇빛을 밝히게 되었다. 그리고 짐승과 식물의 기름에 섬유질을 담구어 심지로 사용할 줄도 알게 되었다. 촛불을 켜던 최초의 기록은 기원전 3천년 무렵의 미노스 문명에서 발견된다. 중세의 가난한 사람들은 갈대고갱이를 기름에 담가서 곱풀초를 켜고 지냈다. 근세에 이르러는 향유고래의 경납으로 부터 양질의 초를 만들 줄 알게 되었고, 따라서 향유고래초에서 비롯되어 밝기의 단위인 '촉광'이란 용어가 나타나게 되었다(1860년).

나무는 백년전까지만 해도 선진 산업사회에서도 가장 중요한 연료였다. 그런데 아무리 묘한 방법을 쓴다 해도 생태계의 탄소동화작용처럼 에너지를 저장하는 과정을 개발하기는 힘들 정도로 식물은 자연스럽게 편리하게 에너지를 저장하고 있다. 식물을 말린 것은 예컨대 역청탄 무게의 절반 가량의 무게로 역청탄과 비슷한 양의 에너지를 간직하고 있다.

'70년대부터 바이오매스를 에너지원으로 이용하려는 노력은 여러 모로 나타났다. 이를테면 플라타너스, 소나무, 포플라 등 쭉쭉 잘 자라는 수종의 농장을 세워 뿔감을 공급하자는 계획도 나왔고, 사탕수수와 해바라기 같은 일년생초들을 재배하는 방법도 제안되었다. 또한 바다에 커다란 뗏목을 띄워 해초를 길러내는 방법도 제시되었으며, 실제로 미국의 세인트루이스에서는 하수도에서 물수산화물 키움으로써 하수처리까지도 하는 일거양득의 효과를 보여주기도 했다.

바이오매스를 직접 태우는 이외에 이들로부터 메탄올, 에탄올 등의 물질을 얻어 연료로 쓰는 방법도 연구되었다. 그 좋은 예로서 미국의 산타 클라라 대학의 공학자들은 알코올로 가는



자동차의 가능성을 증명해 보였으며, 네브라스카주에서는 가솔린과 에탄올의 혼합물인 가솔홀로 움직이는 자동차의 가능성을 증명해 보였다. 그러나 농작물을 식량으로 쓰지 않고 에너지원으로 이용한다는 것에는 경제적으로 실용성이 없어 보인다. 다만, 화석연료가 아닌 대체 연료의 이용에 관한 연구는 이로 인해 크게 활성화되었다.

인류가 동력원으로 사용하기 시작한 것은 인력, 축력 다음으로 물의 힘을 빌리는 장치였던 것으로 나타난다. 원시적인 물방아는 '페르시아의 바퀴'로서 커다란 바퀴의 가장자리에 물통들이 달려 있고 바퀴에 수직 톱니바퀴가 맞물려 돌아가는 장치였다. 기원전 85년에 그리스의 시인 안티파테르는 이 장치가 손으로 곡식을 빻는 고생으로부터 여인들을 해방시켰다고 찬양한 것으로 보아, 다른 곳에도 퍼지고 있었던 것으로 보인다. 로마에서는 비트루비우스가 기원전 27년에 수직 물방아를 고안해 내었다. 이러한 수차는 기원전 수세기에 중국과 인도에서 먼저 나타났던 것으로 추측되며, 적어도 서기 1세기 이전에 중국에서 수력에 의한 수평식 뿔돌을 쓰고 있었다.

수직형 수차는 로마로부터 나타나서 유럽 전역으로 퍼져 나갔다. 기원 4세기 경에 개발된 수직 수차는 그 용량이 약2W정도로써 이전의 수평 수차(동력 용량 약 0.3W)에 비해 성능이 우수하였다. 서기 536년에 고트 사람들이 로마를 포위하고 방앗간에 물을 대는 물길을 봉쇄하는 일이 벌어졌을 때, 로마의 벨레사리우스 장군은 물위를 떠다니는 방아를 만들어 티베르

강에 띄웠다. 이 물레방아는 두척의 배 사이에 수직수차를 달고 배위에서 맷돌을 돌리도록 만든 것이었는데, 그 뛰어난 성능으로 해서 이내 티그리스 강 등 여러 곳에서 그 모습을 나타내게 되었다. 그러나 수차가 널리 퍼지기 시작한 것은 산업의 발달과 더불어였고, 가장 널리 보급되었던 때는 18세기였다.

산업혁명이 진행되던 이 무렵에는 가내 수공업이 기계의 등장으로 밀려 사양길을 걷고 있었다. 1760년대 이후의 갖가지 직물용 기계들, 즉 다추 방직기, 수력 방직기, 직조기 등의 발명으로 해서 직물산업은 물레방아를 동력으로 하는 공장의 모습으로 바뀌고 있었다. 이러한 변화는 수력학이 하나의 학문으로 자리잡으면서 예컨대 왕립학회에서도 수력학의 논문들이 발표되고 있었던 분위기 속에서 이루어지고 있었다. 그러나 수력의 동력시설은 제임스 왓트가 1769년에 증기기관의 효율을 높이는 응축기의 특허를 낸 뒤 1782년에 그 운동방식을 회전운동으로 바꿈으로써 증기기관에 밀려나게 되었다.

이렇게 한풀 꺾였던 수력은 전기의 발전산업과 더불어 다시 활기를 찾게 되었다. 수력 터빈이 개발됨으로써 높은 데서 낮은 데로 쏟아지는 물의 힘을 이용할 뿐만 아니라, 발전한 곳으로부터 멀리 전기를 수송할 수 있는 길이 트였기 때문이었다. 수력발전에서 얻어내는 얻을 수 있는 동력의 크기가 유효낙차에 비례하는 까닭에 낙차에 따라 배수관과 터빈 등의 시설비가 크게 달라진다. 세계적으로 프랑스, 노르웨이, 스위스, 이탈리아 등이 수력발전에서 유리한 여건을 갖춘 것으로 나타난다. 낙차가 작은 곳에는 프로펠러형 터빈 등의 장치가 개발되어 있으며, 천연낙차를 이용할 수 없는 경우에는 댐 방식의 발전소를 세워 인공낙차를 이용하기도 한다.

풍차(風車)는 수차보다 늦게 10세기 말에서 11세기 초에 프랑스, 영국, 네덜란드등지에 출현하였으며, 곡물의 제분, 광산으로부터의 광물의 운반 및 양수(揚水) 등의 여러 가지로 용도에 사용되었다. 그리고 수kW에서 12kW정

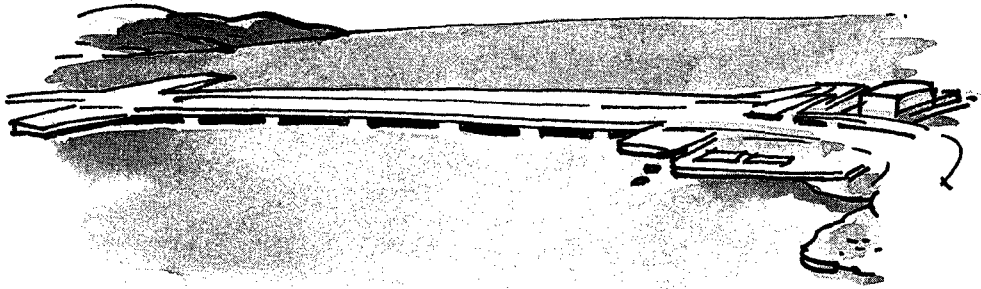
도로 출력이 큰 편이었으나 바람이 있을 때에만 돌릴 수 있다는 한계 때문에 수차만큼 광범위하게 보급되지는 못했다.

조수의 힘을 동력으로 이용하려는 시도도 일찌기 나타나고 있었다. 일례로서 11세기 도버 근처의 앵글로 색슨들은 조수를 이용하여 곡식을 빙고 있었다. 금세기에 들어서서는 1961년에 프랑스에서 랑쓰 조력 발전소의 건설이 착공되었다. 1만 킬로와트짜리 발전기 24대가 설치된 이 곳에서는 전기의 대부분이 썰물을 이용하여 생산된다. 즉 밀물 때에 수문을 열어 댐의 안쪽에 물을 채운 다음 썰물 때에 물을 빼기 시작하여 터빈을 가동시키는 방식이다. 그러나 이러한 조력발전이 널리 보급되지 못하고 있는 것은 대체로 시설에 필요한 막대한 경비와 아울러 해양 생태계에 미칠 영향이 문제되기 때문으로 나타난다.

특히 바다로 둘러싸인 나라에서 파도의 에너지를 동력화해 보려는 시도는 금세기 후반에 나타나고 있었다. 파도의 성질을 과학적으로 연구하게 된 계기는 제2차대전 중의 노르만디 상륙작전과 관련되었다. 연합군은 공격에 앞서 작전의 상륙시간에 그 장소에서 파도의 상태가 어떠한 것인지를 미리 예측하기 위한 사전작전을 폈던 것이다. 즉 먼저 특공대가 지질채집을 감행하는 한편, 미국의 해양학자는 파도의 특성에 관한 실험을 거쳐 파도의 높이와 주기를 예측했던 것이다.

영국은 파도에서 전기를 얻으려는 구체적인 연구에서 가장 앞서고 있었다. 70년대 말에는 에딘버러 대학에서 실험용 탱크가 건설되는 등 여러 군데에서 파도에 대한 기초연구를 쌓아가고 있었다. 요컨대 바람을 통해 태양으로부터 바다로 옮겨진 액체상태의 에너지를 사용가능한 에너지 형태로 바꾸는 작업이 과제가 되는데, 파도가 산산히 부서지기 전에 파도에서의 물분자들의 수직 원운동을 전기로 바꾸는 발전 시설이 세워져야 하는 것이다. 과학자들이 이러한 목적으로 개발한 발전기로는 '솔터 덕(Salter Duck)'이 있다. 이 밖에도 바닷물의 표면과 안쪽 사이의 온도차, 즉 열경사도를 이

프랑스의 '랭스, 조력 발전소



용하여 에너지를 얻으려는 시도도 이루어지고 있다.

에너지 위기와 관련지어 대단히 희망적으로 받아들여지고 있었던 에너지원은 태양 에너지였다. 태양 에너지는 그 양이 엄청나다. 예컨대 지구에 도달한 태양 복사선의 에너지를 20여분 정도 모으면 온 세계 사람들이 일년 내내 쓸 수 있는 양에 해당한다. 일년에 지구에 내려찍는 태양 에너지는 7×10^{18} 킬로와트시에 이르고 있다. 그러나 이 가운데 30% 가량은 구름이나 빙산에 반사되어 우주로 되돌아 간다. 그리고 47% 가량은 지구 표면이나 공기층에 빨려들어 생태계의 유지에 필요한 열로 바뀐다. 나머지 23%쯤은 물을 증발시키는 데 쓰인다. 그리고 그 양은 매우 적지만 태양 에너지의 0.2%는 바람, 파도 등의 기상현상을 일으키는 데 쓰이며, 0.02%는 지구상의 생물을 부양하는 광합성작용에 쓰인다.

태양 에너지의 중요성은 태고적부터 인식되고 있었고, 빛에 관한 연구도 오랜 역사를 지니고 있었다. 잉카 유적의 은으로 만든 오목거울, 니네베 유적지에서 발굴된 석영의 볼록렌즈는 햇빛을 모아 성화를 점화했던 장치로 추측되고 있다. 기원전 212년 시라큐즈의 거울을 여러 개 쓴 동력장치로 활이나 겨우 다다를 수 있는 거리에 위치한 함대의 돛에 불을 붙여 적을 격파하고 있었다. 1747년에 프랑스의 자연사학자인 조르주 뷔퐁은 거울 140개를 한곳에 모아 겨울면에서의 반사를 이용하여 60미터쯤 떨어진

곳의 장작더미에 불을 지필 수 있었다. 오늘날의 태양로라는 장치를 생각해낸 최초의 과학자는 프랑스의 앙드레 마드리에르(1772년), 석영 그릇 속에 넣은 여러 기체들을 가열하는데 지름이 1.3미터인 렌즈를 이용하여 태양 에너지를 끌어 모을 수 있었기 때문이다. 후에 과학자들은 포물면의 반사경에 의해 섭씨 3,400도의 온도를 얻을 수 있음을 알게 되었다.

19세기에는 집광거울을 이용한 태양 증기 발전기가 개발되었다. 이것은 움직이는 집광거울에 의해 검게 칠한 파이프 속에 든 물을 증기로 바꾸는 장치로서, 프랑스에서 1870년대에 실용화되고 있었다. 미국에서는 태양력을 이용한 양수장도 건설되었다. 1912년에는 이집트 카이로 근처의 나일강둑에 대규모의 발전시설이 건설되었는데 집열판의 면적이 1,300평방미터에 달했다. 그러나 이 시설은 경제성에 있어 다른 양수기들과 경쟁이 되지 않았기 때문에 제1차 세계대전 중에 문을 닫고 말았다. 결국 태양열을 이용하려는 초기의 시도들은 실패작에 그치고 말았다.

그러나 인공위성이 출현하면서 태양열에 대한 관심은 다시 살아났다. 인공위성에서는 구름과 대기권에 의해 복사선이 흡수되는 것을 피할 수 있기 때문이었다. 또한 미국과 소련의 우주개발계획에서 나타났듯이 빛을 전기로 전환시키는 실리콘 기관으로 된 태양전지도 개발되었다. 그러나 태양전지는 비용과 효율성 때문에 땅에서는 널리 보급되지 못하고 있다. 2

천년대에는 이러한 태양전지를 사용하는 인공 위성 태양력 발전소가 60개 정도 건설될 계획이라고 한다. 계획대로라면 출력이 약 5백만 킬로와트짜리 발전소가 지구 상공 3만5천8백 킬로미터 상공에 띄워져서 햇빛을 전기로 바꾸어 마이크로파로 지구에 수송하게 될 것이라는 얘기이다.

그러나 여기서 분명히 드러나는 것은 이러한 기술은 지극히 대규모의 거대과학의 성격을 지니고 있음으로 해서 경제적인 여력이 부족하고 과학기술의 축적이 빈약한 후진국 또는 개발도상국으로는 추진하기가 매우 난감할 수 밖에 없다는 사실이다. 그리고 전반적으로 태양열의 이용에 있어서는 그 에너지의 밀도가 매우 낮은 상태로 지구에 내려쬐고 있는 까닭에, 주로 남향으로 집을 앉혀 햇빛을 더 받아 들인다는 방법에 머물렀던 것이다. 그리고 흐린 날과 밤에는 태양열을 얻을 수 없다는 등의 제한이 따르며, 효율적인 집열장치에 막대한 공간과 비용이 먹힌다는 등의 제한도 있다.

지하세계의 에너지, 즉 지열을 이용하려는 시도 또한 에너지 위기와 더불어 큰 관심의 대상이 되었다. 온천을 찾는 것보다 훨씬 적극적인 방식으로 지열로부터 전기를 상업적으로 생산하는 연구가 실현을 보고 있었던 것이다. 그러나 이것은 지열개발이 가능한 특정지역에 국한되고 있다는 점에서 널리 보급될 가능성은 매우 희박해 보인다. 70년대에 지열 에너지 연구에 가장 앞선 나라들은 이탈리아, 미국, 뉴질랜드 등이었고, 아이슬랜드는 지열을 활용할 수 있는 천혜의 지역으로 알려져 있으나 지열로부터의 전력생산에서는 그다지 활발하지 않았다.

현재로서 세계적으로 에너지 문제의 최선의 해결책은 원자핵의 융합반응을 이용하는 방법인 것 같다. 경제성과 환경영향의 양면에서 가장 유리하기 때문이다. 핵융합의 기본원료는 중수로로서 양도 풍부하고 값도 싸며 반응로의 구조물질을 제외하고는 방사성 폐기물도 내어놓지 않는다. 이제 어떻게 널리 보급되도록 개발되느냐에 달려 있으므로 가장 가능성 있는

대안이라 할 수 있다.

3. 에너지 사용과 환경에의 영향

인간이 불을 피우기 시작한 이래 작물재배와 목축을 위해 삼림과 초원은 계속 파괴되어 갔다. 신석기시대로부터의 농업혁명과 금속 농기구로의 혁신은 토양의 유실 등 자연의 파괴를 더욱 가속화시켰다. 중세 유럽의 기술혁신(십자쟁기, 3포 농법, 말의 사용 등)은 11세기에 이르러 수력, 풍력 등의 자연동력의 이용과 더불어 일어났다. 그리하여 이전에는 노예나 소가 돌리던 연자매를 손쉽게 탈곡하고 제분할 수 있었다. 나아가서 이들 동력은 염료업과 광산업에서도 유용했으며 영국의 직물공장 등이 서북부로 이동한 것도 수력을 활용하기 위함이었다. 또한 용광로의 풀무를 작동시키는데 이용되어 우수한 품질의 쇠를 생산하고 있었다.

그러나 이미 산업화의 부정적 측면은 엿보이기 시작했다. 라인강은 ‘깨끗한 중세 기술혁신’이란 말에서 유래한 이름이었지만 13세기에 이르자 그 물은 끓여 먹지 않으면 탈이 날 정도로 더럽혀지게 되었다. 13세기와 16세기 사이에 걸쳐 서부유럽에서는 생활의 근간이었던 주 에너지원인 나무가 차츰 귀해지고 있었다. 땅은 과도하게 경작되고 있었으며 삼림은 계속 파괴되어 갔다. 인구증가는 이러한 부족 현상을 더욱 악화 시켰다. 결국 사람들은 나무를 때 대신 오염이 더 심하고 더 많은 비용이 드는 데도 불구하고 석탄으로 대처하지 않을 수 없게 되었다.

상업이 활발해지자 나무의 고갈은 더욱 심해졌다. 당시의 새로운 유리 산업이나 비누 공업은 많은 나무재를 필요로 했다. 가장 큰 수요처는 철의 생산과 선박제조였다. 16세기 혹은 17세기 초엽에 이르러 영국에서 나무 위기가 극에 달하게 되었다. 영국의 야금공장들은 나무를 때고 있었으므로 그 주변의 나무는 남김없이 벌목되었고, 결국 땀감이 없어져서 철공업은 점차적으로 쇠퇴되고 있었다. 그러나 중세 유럽의 자연훼손현상들은 대체로 전쟁이나 홍



수, 대기근 같이 예외적인 경우를 제외하고는 자연의 치유능력에 의해 회복되는 것이었다. 오늘날과 같이 환경문제가 인간의 생활에 지속적으로 직접적인 영향을 미치게 된 것은 산업혁명으로 공업의 규모가 매우 커지고 이에 따라 화석연료가 이전과는 비교할 수 없을 정도로 대규모로 소비되면서부터였다.

에너지의 역사에서 화석연료는 일찌기 등장하고 있었다. 다만 연료로서는 천대받고 있었던 것이다. 고대 그리스의 식물학자인 테오프라스트스는 당시의 대장간에서 나무가 아닌 '까만돌'이 쓰이고 있었다고 기록하고 있으며, 고대 로마의 유물에서도 석탄의 자취가 발견되고 있다. 그리고 동양에서도 기원전 1세기 무렵 중국에서 이미 석탄이 나타나고 있었다고 전해진다. 13세기 말에 중국에 머물렀던 마르코 폴로는 그의 여행기에서 중국인들이 이미 오래 전부터 검은 돌을 캐내어 쓰고 있었다고 기록하였다.

영국에서는 늦어도 13세기초엽부터 석탄이 쓰이기 시작했다. 지층 사이에서 얇은 층을 이루고 있었던 석탄이 바닷물에 쓸려 나와 바닷가에 드러나거나 바다 밑에 깔리게 되었고, 이런 것을 태웠던 까닭에 바다석탄(sea coal)이라 불리고 있었다. 석탄의 채굴권을 최초로 주기 시작한 것은 헨리 3세 때인 1239년이었으나, 1307년 에드워드 1세 치하에서는 참나무 대신 석탄을 땀 사람을 포고령 위반이라는 죄목

으로 처형하는 일까지 있었다. 그리하여 대체로 13세기까지만 해도 런던에서는 석탄의 사용이 금지되고 있었으며, 16세기에도 여전히 석탄사용금지가 채천명되고 있었음을 보게 된다. 결국 영국은 1700년경에 이르러서야 캐고 가공하기가 훨씬 힘든 '까만돌'의 연료로 옮겨갔던 것이다.

석유 또한 오랜 옛적부터 사용되기 시작하였다. 가령 성경에 쓰인 '낮에는 구름기둥, 밤에는 불기둥'이라는 표현에서도 불기둥은 시나이 유전지대에서 새어 나온 천연가스의 불길이었을 것으로 추측되고 있다. 고대 페르시아와 메소포타미아 지역에서는 원유를 증류하여 등잔기름, 비단 등 옷감의 드라이클리닝 등에 사용했던 것으로 알려져 있다. 중국에서도 석유 사용의 흔적은 적어도 기원 3세기 경으로부터 나타난다. 중국인들은 소금을 얻기 위해 소금 우물을 파면서 동시에 석유시추를 했던 것으로 밝혀져 있다.

현대적 석유산업이 시작된 것은 19세기 중엽이었다. 1850년 무렵 스코트랜드의 제임스 영은 역청탄과 혈암으로부터 석유를 증류하는 방법을 고안해 내었다. 그러나, 석유 공급에 있어 이 방법은 액체석유를 유정으로부터 직접 퍼올리는 것에는 여러 모로 비할 수 없었다. 그 뒤 미국 펜실바니아에서 1859년 에드윈 드레이크가 유정으로부터 석유를 시추하는데 성공하게 되자, 이를 계기로 석유생산은 급격히 늘어



나기 시작하였다. 19세기 후반에는 러시아가 석유시추법을 개량함으로써 미국과 나란히 석유공급 국가로 겨루게 되었고, 동인도가 다시 이 대열에 끼어 들었다. 더불어 차츰 원유의 정유와 수송을 본격화하기 위한 대규모 석유회사가 나타나면서 석유산업은 점차 거대한 모습을 갖추기 시작하였다.

그러나 석유 등의 화석연료가 인류의 가장 중요한 에너지원으로 자리하게 된데에는 이들 연료의 에너지를 효율적으로 일로 바꾸는 기관이 출현하는 것에서 비롯된 것이었다. 이들 기관은 대체로 증기기관, 내연기관, 디젤기관, 회전기관, 그리고 제트기관 등으로서 이러한 기관의 출현이 산업문명의 원동력이 되었던 것이다. 그러나 그러한 긍정적 측면의 다른 한편에서 환경에 미치는 부정적인 영향이 심각한 문제로 대두되는 양면성을 띠게 된 것은 주지의 사실이다. 다음은 환경오염의 주제별로 역사적 사실과 현황을 살펴 본 것이다.

3.1. 대기오염

멜감의 연소에 의한 검댕이에 대해 불평하고 있었던 기록은 이미 아득한 고대로부터 발견된다. 기원전 3세기 경 아리스토텔레스의 제자가 석탄 냄새가 불쾌하다고 불평했다던가 고대로마의 귀족들이 흰옷이 매연으로 더럽혀졌다고 화를 냈다는 얘기도 전해진다. 그리고 영국 헨리 3세의 엘리노아 왕비는 1257년 런던 시내

의 매연을 피하여 스콜틀랜드의 노팅검 궁정으로 이사하였다고 전해진다. 이것은 아마도 대기오염의 기록으로는 거의 최초의 것으로 보인다. 그 13년 뒤 영국의회는 유연탄의 사용을 금지하는 법령을 제정하고 있다. 이러한 석탄 에피소드는 삼림자원의 고갈로 인해 마지 못해 새로운 에너지원으로 옮겨가는 에너지 역사의 한 과정을 보여준다. 결국 우여곡절을 겪으면서 17세기 초엽 나무 에너지 위기가 극에 이르게 되자 캐고 가공하기가 훨씬 힘드는 “까만 돌”(선탄)을 연료로 채택하게 된다. “귀족들의 방까지도 더러운 석탄으로 불을 때야 하다니...”라고 그들은 탄식하였다.

미국에서 대기오염 방지 조치로서 처음 등장한 것은 1876년 세인트루이스에서 공장의 굴뚝을 이웃 건물 보다 적어도 20 피트 이상 높게 뿔도록 규제한 것으로 기록된다. 시카고에서는 1881년 “매연(Dense Smoke)”을 뿜는 행위에 대해서는 5~50불의 벌금형에 처하도록 규정하게 됐다. 그러다가 20세기 중반에 이르러는 미국에서 1955년에, 그리고 영국에서 1956년에 깨끗한 공기를 위한 법안까지 마련되고 강화시키는 쪽으로 수정을 거듭하고 있다.

대기오염의 직접적 원인이 되는 주된 오염물질로는 대체로 다섯가지를 꼽게 된다. 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 황산화물, 그리고 분진이 그것인데, 이들이 대기오염의 90% 이상을 차지하며, 나머지는 부유성 유기물질, 연기

등의 오염원이 차지한다. 이들 일차적 오염물질은 다시 복잡한 과정의 반응을 거쳐 또다른 이차적 오염을 일으키는 것이 또한 문제가 된다.

일산화탄소는 대기 중에 0.1ppm 정도 들어 있다. 그런데 일산화탄소 오염은 석탄이나 석유의 연소과정에서 집중적으로 배출되는 것이 문제로서, 자동차 배기가스가 그 중 첫째가는 오염원이 된다. 미국의 경우 1971년도 도시 대기 오염에서 자동차 배기가스가 차지하는 비중은 60% 정도였고, 우리나라의 '89년도 자료에 의하면 자동차 배기가스가 대기 오염원의 40%를 차지했을 뿐만 아니라 급속히 증가되고 있다는 보고이다.

한국의 자동차 대수의 증가율은 엄청난 신장세를 보이고 있다. '60년도의 3만3백대로부터 '80년도에는 52만8천대로 늘어났고, '85년도에는 3월말로 일백만대를 돌파함으로써 그 5년전의 갑절이 되었다. 그러던 것이 '89년도에는 2백7십만대를 넘어섰다. 자동차의 증가와 함께 걸잡을 수 없이 늘어나는 대기오염을 완화시키려면 지하철 등의 대중교통수단에 대해 과감한 투자를 벌이는 등의 여러가지 비상대책이 마련되지 않으면 안될 것이다.

한국은 '69년 12월부터 휘발유와 경유를 사용하는 자동차에 대해 일산화탄소와 매연의 배출 농도를 규제하기 시작하였다. 그런데 한국의 여건은 도로에 비해 엄청나게 많은 대수의 차량이 도시에 편중되어 있으며, 외국의 차량에 비해 하루 평균 주행 거리가 훨씬 길다. 자가용 차량은 보통 200~300km, 영업용 차량은 400km 정도로서 외국의 경우보다 3~5배를 달린다는 추산이다. 그러므로 한국적인 상황, 즉 저질의 기름, 노후된 자동차, 정비불량, 극심한 교통체증 등등의 요인들은 대기오염을 더욱 가중시키고 있다는 결과가 된다.

따라서 관련규제가 더욱 엄격하게 설정되고 더욱 철저하게 시행되지 않으면 안된다. 그러나 현실적으로는 그 반대로서, 예컨대 자동차 배기가스의 배출기준치에 있어서도 미국, 일본 등의 선진국 수준과 비교하면 항목에 따라 10

여배까지 완화된 기준을 보이고 있다. 앞으로는 자동차의 제작에서부터 공해를 일으키지 않는 디자인(엔진의 설계, 정화장치 부착 등)으로 바꾸고 보다 엄격한 배기가스 배출기준에 맞추어 출고 및 운행과정이 규제되지 않으면 안될 것이다.

차가 많이 밀리는 서울의 길가에서는 보통 일산화탄소의 농도가 16ppm 이상으로 조사되어 있으며, 서울의 주부들을 대상(670명)으로 오염된 공기에 관해 설문조사한 결과에 따르면 85% 정도가 대기오염으로 인해 목이나 눈에 신체적 장애를 느낀다고 응답하고 있다. 검은 연기를 화통처럼 뿜어대는 버스의 뒤를 따르며 숨쉬는 사람이라면 별 도리없이 140ppm 이상의 일산화탄소를 마시게 된다. 그런데, 이쯤해서는 누구나 호흡곤란, 현기증, 두통 등의 증세가 나타나는 것이 정상적인 반응으로 알려져 있다. 담배를 피울 때에도 뿜혀진다 해도 수백 ppm의 일산화탄소를 마시게 되는게 보통이므로, 담배 유해론은 일산화탄소의 관점에서도 분명하다고 하겠다.

50ppm 정도의 일산화탄소에서도 사람들은 신체 기관의 기능 장애를 일으키게 마련이고, 25ppm 정도만 돼도 중추신경계에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그 까닭은 일산화탄소가 혈액의 헤모글로빈과 반응하여 착물을 만들어 버리기 때문이다. 즉 산소와 결합해야 할 헤모글로빈이 극히 미량 존재하는 일산화탄소와는 2백십배 이상더 안정한 생성물을 만들므로써 산소 공급이 차단되기 때문에 질식에 이르게 된다. 일산화탄소의 중독증상은 뇌조직과 신경계에 가장 크게 피해를 입혀서 시력·청력·뇌기능 등이 손상을 입게 된다.

대도시나 공단 지역에서는 시골에 사는 경우보다 백배 이상의 일산화탄소를 마시게 된다. 그런데 대기 중의 일산화탄소의 농도에 관해서는 흥미있는 사실이 관찰되고 있다. 즉 자연의 분해과정에서 일산화탄소가 꾸준히 방출돼 왔음에도 불구하고, 전 지구적으로는 그 농도가 일정한 값을 보인다는 결과가 그것으로서, 그 중 대기중에서의 화학적 또는 광화학적 반응에

의해 일산화탄소가 이산화탄소로 전환되는 과정이 발견되었다. 그리고, 흙속에 사는 곰팡이나 박테리아가 그 대사과정에서 일산화탄소를 이산화탄소로 바꾼다는 사실이 밝혀졌고, 살균한 흙에서는 일산화탄소의 재건 기능이 상실된다는 실험결과가 확인됐다. 잔디 가운데도 이렇듯이 일산화탄소의 제거 능력을 갖춘 것이 알려져 있다. 사람들이 아스팔트가 아니라 땅을 밟고 살아야 하는 이유는 이러한 자연의 섭리 때문인 듯도 싶다.

대기오염 물질 가운데는 대기 중에 에어로졸 상태로 떠 있는 액체 또는 고체의 미립자 오염물인 분진(particulate matter)이 큰 몫을 한다. 분진으로 인한 오염도는 1 입방미터에 들어있는 양을 마이크로그램 단위로 표시한다. 분진을 다시 나누면, 먼지(1 마이크로 이상 크기)이외에 fume mist·smoke 등으로 분류될 수 있다. 이 중 매연(smoke)은 연소 등의 과정에서 생기는 검댕(soot)의 탄소성 다공질 알갱이로서 공장지대 오염의 대표적인 원인이 된다. 분진의 주요 배출원은 제철, 제련, 시멘트 공장과 화력 발전소 등으로 밝혀져 있다.

부유 분진의 경우, '89년도 우리나라의 조사치는 163 마이크로그램으로서 한국의 환경 기준치 150을 넘어섰고, 세계보건기구 기준치인 90에 비교하면 1.8배를 기록하고 있다. 그러나, 보건환경연구원이 '90년에 발표한 자료에 의하면, 서울의 주택가 공기에서 벤조피렌(담배 연기의 한 성분)이 21 마이크로그램이 검출되는 등 방향족 탄화수소의 강력한 발암물질이 새롭게 검출되고 있고, 그 배출원이 자동차로 밝혀짐으로써 나날이 쏟아져 나오는 자동차로 인한 공해의 심각성을 증명해주고 있다.

분진 입자는 대개 0.1~20마이크로미터로서 육안으로 보이지 않지만, 한데 모여 햇빛을 산란 또는 흡수하는 까닭에 뿌옇게 시야를 흐려 놓는다. 분진으로 인한 오염에서는 다른 오염물, 즉 황산화물, 질소산화물, 습기와 복합적으로 작용하여 생태계는 물론 건축물에까지 심각한 피해를 입히는 것이 특징이다. 인체에 미치는 영향 또한 심각한 수준이다. 분진은 호흡기

로 침투하여 내벽의 세포를 손상시키는 것으로 알려졌는데, 분진 속에는 대체로 니켈, 수은, 납, 비소 등의 맹독성 미량 오염물이 섞여 있어 더욱 유해하다. 특히 지름이 10 마이크로미터 이하인 알갱이는 인체의 상기도(上氣道)를 넘어 기관지나 폐포까지도 도달하게 된다. 그리하여 체액에 용해되기도 하고 녹지 않는 것은 조직에 결합되기도 한다. 이러한 오염물의 영향은 발암성으로 나타나거나 유전적인 변이를 일으킬 수 있어 염려되는 것이다.

탄화수소(알칸, 알켄, 방향족 등)는 동식물의 부패과정에서 자연적으로 발생하는 것이 많다. 그러나, 오염에서 문제가 되는 것은 일산화탄소의 배출과 마찬가지로 자동차의 배기가스에 섞여 쏟아져 나오는 경우인데, 1970년도 미국의 통계에 의하면 하루에 자동차들로부터 배출되는 탄화수소의 양은 약 2만5천 톤으로 추정된 바 있다. 우리 나라의 통계로는 자동차 배기가스의 총 오염물의 양이 '85년도의 경우 약 138만톤으로 추산되었으므로, 현재의 수준은 자동차 대수의 증가로 미루어 오염 또한 3배 이상 증가되었으리라 추측된다.

자동차로 인한 오염 가운데 지나칠 수가 없는 것이 만성 납중독 증세이다. 납의 화합물은 2백가지 이상 사용되고 있으나, 가장 큰 비중을 차지하는 것은 축전지의 제조와 자동차 휘발유에 첨가되는 녹킹 억제제(antiknocking agent)로 쓰이는 것이다. 휘발유의 옥탄가를 높이기 위해 사에틸화납(Tetraethyl Lead)이 사용된지 수십년 후 자동차 배기가스에 섞인 납이 드디어 남극과 북극에 내리는 눈에까지 섞여 내리는 변을 겪기에 이른 것이다.

도시에서 사는 사람들이 시골에서 사는 사람들보다 납에 더 많이 오염되었으리라는 것은 충분히 짐작이 간다. 우리나라의 경우 실제로 머리 카락 시료를 분석한 결과 도시인은 3배에 이르는 더 높은 오염치를 보였으며, 서울시민의 모발에 함유된 납의 오염도가 미국인의 값보다 11배나 높았다는 조사결과가 나온 적도 있었다. 외국에서 얻어진 연구결과에서는 이미 70년대부터 이러한 만성적인 납 중독 현상이 사



람들의 폭력성향과도 관계되며, 특히 어린이들의 행동에 직접적인 영향을 미친다고 보고하고 있다. 예컨대, 감옥에 수감된 사람들, 그리고 지진아들의 혈액에 납의 함량이 높았다는 조사뿐만 아니라, 보통 학습의 학생을 대상으로 조사한 결과에서도 납의 혈중 농도가 높은 아이들은 끈기나 이해력이 부족하고 주의가 산만하며 성급하고 거칠게 행동하는 것으로 나타난다는 것이다.

'91년 5월 미국의 매스컴이 전하는 바 또한 위의 결과와 비슷한 줄거리를 담고 있다. 놀라지 않을 수 없는 사실은 미국의 여섯살 이하의 어린이 가운데 여섯명 중 하나 꼴로 만성의 납 중독증에 걸린 것으로 추산된다는 것이다. 여기에는 휘발유의 녹킹억제제가 문제될 뿐 아니라 낡은 집의 벽에서 흘러져 나오는 페인트 먼지 등이 중요원인인 것으로 알려지고 있다. 또한 미국에서는 일년에 4천명 정도의 신생아가 이미 모체로부터 납에 중독된 상태로 태어난다고 보고되고 있다.

우리나라에서의 연구(김동준, 이화여대, 1973년)에서도 납의 오염상태가 태아의 경우에서 더욱 심각한 것으로 보고된 바 있다. 서울 시내에서 산모 73명의 태아를 대상으로 태출, 혈액 중의 납의 함량을 분석한 결과 산모의 경우 20 마이크로그램인데 비해 태아의 것은 24 마이크로그램을 넘고 있었다는 것이다. 납의 오염수치가 40 마이크로그램 정도에 이르면 심한 빈혈증, 무력증, 불면증 등등의 증세가 나타난다. 그런데 납의 오염문제에 있어서 어린 나이에 납에 노출되는 경우 뇌와 신경계에 결정적인

손상을 입게 되어 치유가 불가능하며, 그 증세는 학습능력과 집중력 등의 현저한 저하로 나타나는 것으로 밝혀져 있다. 사회의 전반적인 난폭 성향에 관련지어 더욱 염려스러운 것은, 이런 아이들은 나중에 어른이 됐을 때 반사회적인 행동을 하게 된다는 것이다.

3.2. 스모그 현상

스모그(Smog)란 단어는 연기(Smoks)와 안개(Fog)의 합성어로서, Dr. H. A. Des Voeux에 의해 창안됐다. 스모그에는 런던형과 로스앤젤레스형의 두 가지가 있다. 대기 오염으로 인한 이들 두 가지 연무현상은 그 오염원과 구체적 오염물질, 증세, 하루 중 절정을 이루는 시간 등에서 차이가 나는 까닭에 이렇듯이 두 형태로 분류되는 것이다. 이 중 "killer smogs"라는 별명을 지닌 런던형은 이미 1880년 부터 런던에서 일천명 이상의 희생자를 내면서 악명을 떨친 오랜 역사를 지녔다. 한편, 광화학적 스모그라 불리우는 로스앤젤레스형은 1944년도에 식물에 대한 큰 피해로 인해 처음으로 알려지게 된 후발의 대기오염 현상이다. 그러나, 오늘날에 이르러는 이 두 가지 형태가 모두 웬만한 산업국가의 웬만한 도시나 공장지역에서는 다 심각한 양상의 피해를 일으키고 있어 세계 도처의 환경문제가 되고 있다.

20세기에 들어 발생한 커다란 대기오염 사건의 원인과 피해 상황은 다음과 같다. 런던형 스모그는 20세기 들어 런던에서만도 1952년, '56년, '62년에 걸쳐 각각 4천명, 일천명, 칠백명의 생명을 앗아간 치명적 대기오염 사건을 일

으켰다. 구체적으로 1952년 12월 영국 런던에서 발생했던 스모그 사건은 1954년에 일어난 로스엔젤레스 사건과 더불어 대기오염 사건의 대명사로 알려져 있다. 당시 런던의 온도는 약 10℃였고 안개가 뒤덮혀 상대 습도가 거의 100%인 저온 다습한 상태였다. 설상가상으로 바람도 거의 불지 않아 공장과 건물에서 배출되는 유해물질이 순환되지 않은 상태가 12월 5일부터 9일까지 계속되었다. 이렇게 해서 생성된 스모그 현상으로 인해 약 4천여명이 스모그가 지속된 일주일 간에 사망하고 이 기간 중에 발생한 환자 8천여명이 그 후 한달 동안에 사망하는 참사가 빚어졌던 것이다.

이때 런던 전역에서의 이산화황(아황산가스, SO₂)의 일평균 최고 농도는 0.75ppm이었으며 순간 최고 농도치는 이산화황이 1.34ppm, 매연이 4.46mg/m³이었던 것으로 보고되었다. 당시의 사망자의 병력을 보면, 80~90%가 호흡기 및 심장계통이 약했던 사람들이었고, 예순살 이상의 환자가 60~70%에 이르고 있었다. 한살 미만의 사망자수는 보통 때의 두배였다. 이러한 사고를 계기로 영국 정부는 1953년에 대기오염조사 위원회(의장 Beaver경)을 발족시키고 사태를 분석한 결과로서 '56년 '대기청정법'을 탄생시키게 되었다. 이 법령은 어느 공장의 어느 굴뚝을 막론하고 시간당 10분 이상 링겔만 차트의 2도 이상에 해당하는 매연을 발생시켜서는 안된다고 규정하고 있었다. 이러한 대책이 마련되었음인지, 1962년도에 발생한 런던 스모그 사건 때에는 10년전 보다 피해가 줄어든 750명 정도의 환자를 발생시켰다.

위에서 보는 바와 같이 지형에 기인되는 오염사고의 사례는 굽직한 것만 해도 여러 건이 발생했다. 예컨대, 1930년 벨기에의 뮤우즈 계곡(Meuse Valley)에서는 깊이 백여 미터, 길이 25킬로미터 되는 지형에 화력발전소, 황산 공장 등의 제조공장이 위치한 상태에서 안개, 온도반전, 무풍현상 등의 악조건이 사나흘간 겹친 결과로서 5,910명이 호흡기, 심장질환으로 발병하고 60명 정도가 사망하는 사고가 빚어졌다. 이밖에도 1948년 10월, 미국 펜실바니

아주의 도노라(Donora)계곡에서의 20여명 사망에 6천여명 환자 발생의 사건이나, 멕시코의 (Poza Rica)사건, 1963년 미국 뉴욕의 3백여명 사망 사건 그리고 1946년 일본의 요코하마에서 일어났던 사건 등은 20세기에서의 대기오염에 의한 대표적인 사고 에피소드라 하겠다. 일본의 근대화도 상당한 시행 착오를 거쳤다. 예컨대 일본의 요카시(四日市)에는 '54년부터 석유 콤비나트 지역으로 변모되고 있었는데, 그와 더불어 '61년 말부터는 천식 증세의 환자가 크게 늘어나게 됨으로써 '四日市 천식'이라는 기관지 천식증이 작명되었던 것이다.

런던형 스모그는 주로 겨울날 이른 아침, 상대습도가 높은 조건에서 햇빛에 의한 화학반응이 없는 상태에서 일어나게 되는데, 가장 치명적인 오염물질은 이산화황으로 밝혀졌다. 앞에서 본 바와 같은 런던 스모그의 치명적인 피해는 습기 존재하에서 황산이 분진 입자에 흡착되어 인체에 흡입됨으로써 호흡곤란이 유발되는 것에 연유한다. '50년대 당시의 런던 인근에는 석탄에 의존하는 화력발전소가 있었고, 또한 가정 난방용으로도 석탄이 다량 사용되고 있었던 까닭에 이로 인한 황산화물, 분진의 배출이 높은 습도와 더불어 오염을 증폭시킨 결과였던 것으로 이 사건은 분석된다.

한편, 광화학적 스모그인 로스엔젤레스형은 대체로 기온이 높은 화창한 날 처음에 청명하고 습도가 낮은 상태에서부터 차츰 발생하는 것이 특징이다. 그러나, 겨울날 따듯할 때도 생기고, 대체로 대낮에 그 절정을 기록한다. 이 경우의 오염물질은 주로 자동차가 내어뿜는 산화질소, 탄화수소, 일산화탄소 등이다. 그러나, 광화학적 스모그 현상에서 일차적 오염 못지않게 문제가 되는 것은 이들의 광화학 반응의 결과로서 오존과 이산화질소 등이 이차 오염물질로 나타난다는 사실이다.

광화학 스모그에서 사람들이 불편하게 느끼는 증상으로는 우선 눈과 목이 시리고 아픈 것이다. 그러나 광화학적 스모그는 장기적인 안목에서 기상이변의 원인이 되는 것으로 밝혀지고 있다. 광화학적 스모그의 경우에도 온도반

산성비로 인한 삼림의 황폐화.



전 현상(대기 윗층의 공기가 덥고 아래층의 온도가 더 낮아지는 현상)으로 오염물질이 확산에 의해 날아가지 못할때 빈번히 발생하는데, 로스앤젤레스 같은 분지 지역은 그 지형상 여름날의 거의 80%가 온도반전 현상을 일으키는 것으로 집계된다.

3.3. 온실효과

위에서 살펴본 대기오염 사건은 어느 한 지역에 국한되어 나타난 문제들이었지만 현재 전 지구적으로 문제되고 있는 것은 온실효과에 의한 지구 기온상승 현상이다. 실제로 '80년대 이후 지구의 온도는 0.5도 이상 올라간 것으로 드러나고 있다. 지구의 대기를 형성하는 기체들의 구성비율은 산업화 이전과 이후 상당한 차이를 나타내고 있으며, 산업화 이전에는 존재하지 않았던 합성물질인 CFCs가 첨가되어 지구의 온실효과를 거두고 있다. 현재 대부분의 과학자들은 지구의 기온 상승이 이들 기체들에 의한 온실효과에 의한 것이라 믿고 있으며, 이대로 계속 방출되는 경우 21세기말 지구의 평균 기온은 2.5~5.5도 상승할 것이라고 경고하고 있다.

역사적으로 온실효과에 관해 처음으로 설명한 과학자는 프랑스의 푸리에(Baron Jean Baptist Fouries)였던 것으로 보인다. 그는 지구 바깥의 대기권이 마치 투명한 유리 뚜껑처럼 작용하리라는 추론을 하고 있었다. 실제로 19세기의 실험결과들은 대기권에 이산화탄소나

수증기 같은 기체들이 쌓이고 그 농도 편차에 의해 빙하시대와 같은 기상변들이 나타났을 지도 모른다는 생각을 뒷받침해주고 있었던 것이다. 1891년 스웨덴의 아레니우스(Svante Arrhenius)는 언젠가는 산업화에 의한 환경오염이 대기권내의 이산화탄소의 양을 두배로 증가시킴으로써 지구의 온도가 5도 정도 상승될 가능성이 있다고 점치고 있었다.

최근들어 과학자들은 지구의 기온상승에 기여하는 물질이 비단 이산화탄소뿐만 아니라 그 외에도 여러가지가 있다는 것을 깨닫게 되었다. 예컨대 습지기체(marsh gas)라는 별명의 메탄가스, 이산화질소(nitrous oxide), 오존(ozone), 그리고 프레온(chlorofluorocarbons), 할론(halones) 등이 그들 화합물이다. 그런데 이들 온실성 기체의 발생을 규제함에 있어서는 자연적인 공급원에 대해 손을 쓰는 것은 상당히 제한 될 수 밖에 없다. 그리하여 거론되는 것은 화석연료의 연소를 극소화하는 것에 의해 이산화탄소를 비롯한 오염물질의 방출을 최대한 억제해야 한다는 주장이 된다.

그러나 원자력발전에 대해 반대 입장에서 있는 사람들은 이산화탄소가 온실효과에 관계되는 부분은 일부이므로 화석연료의 감소방안은 결정적인 기여를 할 수 없다고 주장하기도 한다. 아무튼 분명한 것은 오존층에 구멍이 뚫렸다는 사실, 그리고 더 이상의 파괴를 막기 위한 적극적인 대책을 세우지 않으면 안된다는 사실이라고 하겠다. 이것을 위해서는 결국

CFCs 등의 인공적 화합물의 사용에 화살이*들려질 수밖에 없는 것이다.

미국의 환경보호청(EPA)의 보고서는 지구의 평균 기온 상승으로 인해 2100년 경에는 지구의 해수면의 상승이 평균 0.5m~2m에 달하리라고 예측하고 있다. 지구의 평균 해수면이 1m 정도 상승한다고 하더라도 그것이 미칠 경제적, 사회적 영향은 실로 엄청나다. 네덜란드의 경우 해수면이 1m 상승한다고 가정하더라도 해발 5m이하의 모든 지역에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 예컨대에 대한 해수의 침범, 해일 등의 영향을 고려한다면 5백만 km²의 지역이 위협을 받으리라 예상된다. 이 면적은 세계 육지의 3%에 불과한 것이나, 전 세계 경작지의 1/3에 해당되는 땅으로서 10억 인구의 생활 터전에 해당하는 것으로 추산된다.

3.4. 오존층의 파괴

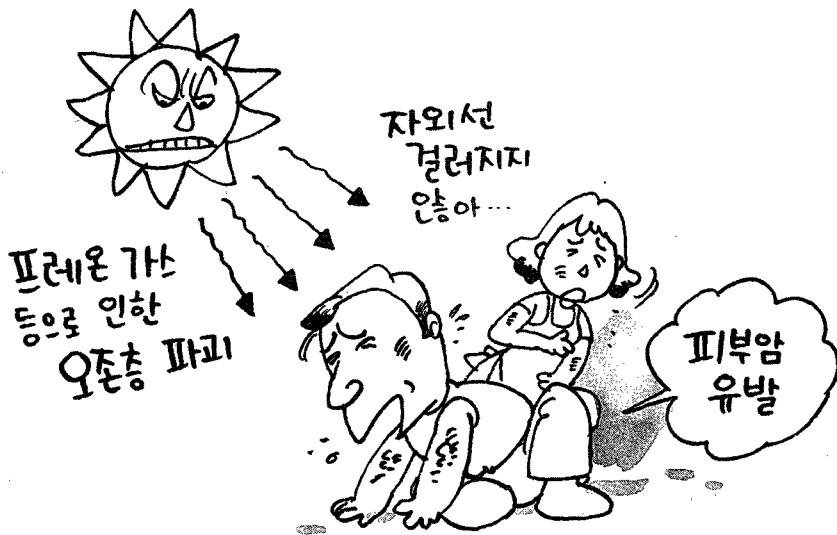
오존은 대기 중에 극미량(해면 기준으로 0.02 ppm 정도) 존재한다. 오존은 자유라디칼을 만드는 까닭에 반응성이 매우 커서, 공기 중에 정상 농도 이상 존재하는 경우 생체 분자와 반응함으로써 독성을 나타낸다. 대도시의 공기 중에는 오염물질 사이의 반응으로 인해 오존의 농도가 0.2ppm까지 올라가는 것이 보통이라서 오염의 문제가 된다. 오존 등의 산화제의 농도가 0.15ppm 이상 되면 대부분의 사람들은 눈이 시리는 등 자극을 느끼게 된다. 오존은 주로 자동차 배기가스 중의 탄화수소와의 반응으로 시야를 뿌옇게 흐려 놓는데, 스모그에 의한 폐의 손상에서도 오존이 관여하는 것으로 알려졌다.

이렇듯이 우리가 숨쉬는 대기 중의 오존은 오염물질로서 부정적인 작용을 나타내고 있으나, 다른 한편 성층권에 존재하는 오존층은 지구상의 생태계를 자외선의 악영향으로부터 보호하는 필수적인 역할을 하고 있다. 그런데, 이러한 오존층의 보호막이 대기 오염물질에 의해 파괴되고 있다는 사실이 최근 들어 특히 환경 파괴의 문제로서 심각하게 인식된 것이다. 성층권에서는 햇빛 중의 자외선의 작용과 화학반

응에 의해 일정한 양의 오존층이 유지돼 있고, 이러한 오존층은 햇빛 가운데 생체에 극히 해로운 짧은 파장의 자외선을 차단시키는 중요한 구실을 수행해 왔다. 단파장 영역의 자외선이 특히 피부의 노화는 물론 변이를 일으켜 피부암의 직접적 원인이 된다는 사실은 이미 확립됐을 뿐만 아니라, 오존층의 파괴로 인한 성층권의 온도 변화가 결국 지구상의 기상이변을 초래하리라는 가능성은 오존층의 파괴가 환경 문제에 있어 매우 중요한 이슈임을 말해주고 있다.

지구로부터 고도 25km 정도의 성층권에는 수ppm 수준의 오존을 포함하는 '오존층'이 존재한다. 그 양은 대단치 않아서 성층권의 오존 전량을 지표 둘레에 쌓는다고 하더라도 두께로는 3mm 정도 밖에 되지 않는다. 그러나 이 보호막은 지상에서 생존하는 생태계의 존립에 지대한 영향을 미치는 장치이다. 오존층의 파괴에 대한 대책을 논의함에 있어서는 '85년도까지만 해도 어느 정도는 '설마'하는 의구심이 깔려 있었던 것으로 보인다. '85년 빈회의 때만 하더라도 이미 오존파괴성 물질에 대한 제반조치를 취한 나라들이 있기는 했으나 구체적인 규제를 즉각적으로 실천에 옮기기 보다는 다소 유보적인 입장이었기 때문이다.

그러나 같은 해 영국의 남극관측소로부터 남극 상공에 오존층의 큰 구멍이 뚫렸음이 확인되었다는 보고와 함께 '87년에는 국제조사단에 의해서 오존층의 소멸 원인이 인공적인 화합물 때문이라는 사실이 확인되자 이 문제에 대한 접근은 상당히 적극적인 방향으로 바뀌게 되었다. '87년 겨울에는 북극 상공에도 똑같은 구멍이 뚫리기 시작하는 징조가 나타났다. 북극 주변 지역에는 남극에 비해 많은 사람들이 살고 있는 까닭에 이러한 현상은 더욱 걱정거리 뉴스가 된다. '88년 초 미국 NASA의 오존 관측반이 조사한 바에 의하면 북극 성층권의 오존 농도는 최근 2십년 사이에 3% 내려간 것으로 계산되고 있다. 그리하여 '88년도에는 오존층이 고갈된 정도가 2020년의 예상치를 웃도는 심각한 현상이 벌어지고 있는 것이다.



1987년 몬트리올에서 프레온 사용규제안이 채택되고 이에 대체하는 물질이 최근 개발되고는 있으나, 프레온에 의한 오존층 파괴는 계속될 전망이다. 대기중의 프레온량이 계속 늘어나고 있고, 이것은 천천히 상승하여 빠른 것은 수년안에 오존층을 파괴시킬 것이며 느린 것은 수십 년에서 일세기에 걸쳐 오존층을 계속 파괴할 것으로 예상되기 때문이다. 이대로 가면 아무리 규제를 엄격히 한다 해도 오존층을 파괴하는 염소 농도는 2075년에 이르면 3배에 달할 것으로 추정되고 있다.

오존구멍(Ozone Hole)의 발생에 관해서는 대략 세가지의 이론이 대두되었다. 그 첫째는 이른바 염소설로서 프레온 가스에서 나오는 염소가 오존을 감소시킨다는 이론이다. 이 설에서는 성층권 하부의 미세한 얼음 알갱이로 이루어진 구름이 중요한 구실을 하게 된다. 즉 프레온에서 생긴 염소화합물이 이들 알갱이 속에 갇혀 있다가 봄이 되어 햇빛이 비칠 때 그 속에서 증발돼 나온다. 다음에 햇빛에 의한 분해반응의 결과 오존을 없애게 된다. 또하나의 이론은 산화질소설이고, 다른 하나는 대기의 움직임에 의해 오존구멍이 생긴다고 보는 학설이다. 즉 봄이 되면 오존은 자외선을 흡수하여 성층권을 따뜻하게 만들므로, 극소용돌이 내부에서 상승기류가 형성되고 그에 따라 오존농도가 낮은 성층권 하부의 공기가 이동한다는 설이다. 그런데 '87년의 관측결과에서 과학자들

은 염소설이 가장 유력한 것으로 결론짓고 있다.

그런데 이러한 화합물에 의한 파괴와는 비교조차 할 수 없는 심각한 오존 상황은 '핵겨울'에서 나타나리라는 것이 과학자들의 예견이다. 미국 과학아카데미가 발표한 보고에 따르면 전면적인 핵전쟁의 발발은 오존층을 완전히 파괴시킴으로써 모든 생물은 자외선에 그대로 노출되어 종말을 맞게 되리라는 것이다. 1메가톤 이상의 핵폭발이 일어나는 경우 그에 따르는 불덩어리의 화구(火球)는 대기권을 뚫고 상승하여 성층권에 오를 것이다. 그리하여 산화질소가 엄청나게 만들어져서 오존을 고갈시켜 버릴 것이다. 그에 따라 생명체에 해로운 단파장의 자외선이 몇 갑절 더 많이 지구상에 내려지게 됨으로써 생물체의 핵산이나 단백질은 그대로 파괴될 것이다.

오존층의 파괴로 인한 자외선의 과다한 조사(照射)의 피해는 피부암이라는 대표적인 증상과 관련된다. 즉 그 영향은 누구에게나 DNA를 손상시키고 세포를 죽여버릴 수 있다. 자외선의 일련의 작용은 인체의 면역체계를 파괴시키며 눈에도 장애를 일으키게 된다. 생물이 잘 자라지 못하며 따라서 농산물의 경작이 어려워지게 된다. 해양에서의 피해도 심각한 문제가 된다. 왜냐하면 플랑크톤을 비롯하여 오류, 조류 등의 생존이 위협받기 때문이다. 결국 문제는 먹이사슬의 고리에 근본적인 붕괴가 불가피하

다는 결론에 이르게 되는 것이다. 그리고 오존의 소멸은 기상이변과도 관련된다. 오존은 자외선을 흡수하고 햇빛 에너지를 열로 바꾸어 주는 역할을 하고 있는데, 이것이 교란됨으로써 성층권의 온도구조가 붕괴되고 그에 따라 대기 순환이 영향을 받게 될 것이기 때문이다.

3.5. 산성비

“산성비”라는 현상이 정식으로 문헌에서 언급된 것은 1872년도 영국에서 발간된 “화학적 기후학의 시초”(The Beginning of a Chemical Climatology)라는 책에서였던 것으로 보인다. 환경오염의 염려가 없는 지역에서 내리는 자연스런 비도 그 액성은 산성을 띤다. 그 까닭은 대기 중의 이산화탄소(탄산가스)가 빗물에 녹아들기 때문이다. 지표에서는 여지껏 쉽없이 이산화탄소가 방출돼 왔는데(단위면적당 50킬로그램 정도), 이 중 대부분은 바다물에 녹아 들어가고(단위 면적당 27그램꼴), 대기 중에는 바다물에서 녹은 양의 1/60에 해당하는 이산화탄소가 남는 것으로 추정된다(단위 면적당 0.45그램꼴). 그러나, 이런 이유로 해서 띄게 되는 빗물의 산도는 pH 7보다 좀 낮은 정도라서, 대체로 평균잡아 pH 5.7 근처로 알려져 있다.

오늘날의 산성비의 문제는 '90년대에 즈음하여 세계적으로 손꼽히는 다섯 가지의 심각한 환경문제(인구 폭발, 온실효과, 오존층 파괴, 산림의 황폐, 산성비)중에 끼일 정도로 관심을 모으는 주제가 되고 있다. 구체적인 예를 들면, 1970년대 미국의 뉴잉글랜드(New England) 지방에 내린 눈과 비의 pH는 평균하여 4정도였고 때때로 pH2.1이라는 강한 산성이었다고 한다. 그리고, 독일의 루르 계곡(Ruhr Valley) 근처의 비도 pH 2.8까지 내려가는 일이 잦았다는 사례와 아울러 남미의 아마존 유역도 pH 4짜리 비를 기록하고 있다는 보고 등은 산성비가 세계 도처에 산재하는 문제임을 말해주고 있다.

산성비의 원흉은 석탄, 석유 등의 화석연료를 태울 때 따라나오게 되는 황의 산화물과 질

소의 산화물이다. 우리나라에서 많이 들어오는 중동산의 원유는 값이 싼 대신 황 함유량이 높은 편에 속한다. 보통 저질유는 황의 함량이 1~2% 가량으로서, 오염의 심각성을 깨닫게 되면서 정유공장에 탈황 시설을 갖추도록 조치하고는 있다. 그러나, 석탄에 함유된 황은 제거가 거의 불가능하므로, 화석연료로부터 에너지를 얻는 한 황의 산화물은 쓰레기로 나올 수밖에 없다.

황의 주요 산화물(약 98%)인 이산화황은 전세계적으로 연간 대충 1억톤 이상 방출되는 것으로 추정된다. 그런데, 이것은 습기와 반응하여 아황산을 만들기도 하고, 대기 중에서 더 산화된 뒤 수증기와 반응하여 황산을 만들게 된다. 이렇게 생긴 황산은 예러로졸 상태로 공기 중에 떠돌다가 비에 섞여 산성비가 되어 땅에 떨어지게 된다. 또한 연료의 연소과정에서는 불순물과 상관없이 고온에서의 질소와 산소의 반응에 의해 여러가지 질소의 산화물(산화질소, 이산화질소 등)이 배출되게 마련이다. 이렇게 나온 이산화질소는 대기 중의 습기와 반응하여 질산을 만들게 되는 까닭에, 황의 산화물과 마찬가지로 산성비를 만드는 원인이 된다.

만성적인 산성비의 피해는 우선 고대 유적의 훼손으로부터 뚜렷하게 밝혀져 왔다. 예컨대, 그리스의 파르테논(Parthenon) 신전이라던가 아크로폴리스(Acropolis) 같은 유적의 경우, 지난 이십세기에 걸쳐 손상된 것보다 지난 사십여년간 훼손된 바가 훨씬 더 큰 것으로 조사돼 있다. 특히 대리석이나 석회석은 탄산칼슘이 주성분으로서 황산과 작용하여 황산칼슘, 물, 이산화탄소를 만들게 된다. 따라서 이들 건축자재는 대기오염에 희생되어 허물을 벗듯이 또는 구멍이 뚫리면서 부식된다. 뿐만 아니라, 황산은 옷감은 물론 피혁, 종이 등을 변질시키며 금속이나 페인트에 대한 부식성도 크다. 대기오염에 의한 이들 노후 현상을 늦추기 위해 이미 기원전 1세기에 돌을 데워 왁스를 입히는 공정까지 궁리해 냈고, 오늘날은 수지나 실리콘으로 처리하는 방법 등을 동원하고 있으나



가속적인 오염을 이기지 못해 효과가 별무인 것 같다.

황의 산화물인 이산화황은 식물계에도 큰 피해를 입히는 것으로 알려져 있다. 0.5ppm의 농도로도 대여섯 시간 이내에 식물의 잎사귀를 떨굴 정도로서, 사과 나무, 배나무에도 피해가 크고, 울산, 진해 공업단지 주변의 농작물을 망치는 데에도 큰 몫을 한다. 그게 어디 식물에 뿐이라. 사람에게도 눈을 자극시키며 특히 호흡기 질환과 관계가 깊다는 사실은 이미 밝혀져 있다. 이산화질소의 경우에도 마찬가지로 식물, 동물, 인체 할 것 없이 모두에 해로운 것은 물론이다. 그 농도가 수 ppm만 되어도 식물의 잎에 반점이 생기면서 고사하고 만다. 산성비에 든 질산도 황산과 마찬가지로 부식성이 강하다.

산성비에 의한 피해가 최초로 나타난 것은 북부 유럽 등 일부 지역에서였다. 그 중 스웨덴은 1964년부터 피해가 나타나기 시작한 것이 현재로서는 스웨덴의 호수 중 약 4,000여개가 산성비에 의해 죽음의 호수로 변할 정도가 되었다. 산성비에 의한 피해가 구체적으로 눈에 보이게 되자 스웨덴 정부는 이에 적극적으로 대응하여 현재 전력생산에서 화력발전소가 차지하는 비율을 5% 정도로 줄이는 조치를 취했다. 화석연료로부터 탈피하는 에너지 정책을 추진시키게 된 것이다. 그러나 스웨덴 정부의 이 같은 노력에도 불구하고 산성비의 피해는 그치지 않고 있다. 이는 산성비를 유발시키는

대기오염 물질이 스웨덴이라는 한 국가에서만 배출되는 것이 아니라 인접한 서독이나 영국 등에서 배출되어 대기의 기류를 타고 스웨덴으로 이동하고 있는 탓으로 설명된다.

그러므로, 산성비의 문제를 해결하는 방안은 대기오염의 원인이 되는 폐기물의 배출을 줄이는 길 밖에 없어 보인다. 예컨대, 공단 지역의 오염 문제를 해결한다고 대기오염 방지의 묘책으로서 굴뚝을 하늘 높이 뽑아올려 뿔어내 보았자, 결국은 오염원을 이웃으로 날려 보내는 결과를 초래하고 있음이 밝혀지고 있으니, 이러한 체험적 사실은 궁극적으로 이 문제의 해결이 근원적인 차원에서 찾아져야 한다는 교훈을 일러주는 것이라 생각된다.

3.6. 방사능 오염

1954년 소련, 1956년 영국에서 원자력발전을 시작한지 삼십여년이 지난 1989년말 시점에서 전세계의 원자력발전소는 26개국에서 425기가 동중에 있어 전세계 에너지생산량의 3%, 발전량의 약 30%를 차지하고 있다. 환경오염 가운데 가장 첨예한 관심사 중의 하나는 원자력 발전에 방사능 오염유발의 가능성 문제이다. 1979년 미국의 TMI(Three Mile Island)와 1986년 소련의 체르노빌(Chernobyl) 원자력발전소의 사고는 원자력발전소의 안전성에 대한 의문을 제기하고 방사능 오염이라는 새로운 형태의 환경문제에 대한 경종을 울린 사건이었다.

인간을 비롯한 지구 생태계는 그 시초부터 지각의 방사성 물질과 우주를 둘러싸고 있는 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선에 노출되어 왔다. 여기에 더해 원자력발전 이후 연료의 제련이나 생산과정, 수송과정, 방사능 폐기물의 축적과정에서 방사선이 추가로 지구 환경에 부가되고 있다. 예컨대 우주선으로부터 생기는 탄소-14를 음식을 통해 흡수하게 되고, 토양에 포함된 방사성 원소인 라듐 또한 식품과 음료를 거쳐 흡수할 수 있다. 보통 사람이 일년에 걸쳐 받게 되는 방사선의 양은 대략 자연 방사선 80mrem, 의료용 방사선 91mrem, 그리고 그 밖의 원자력발전 등에 의한 피폭량이 2mrem, 핵실험에 의한 것이 5mrem 정도인 것으로 추정되고 있다.

여기서 체르노빌 사고에 관해 간단히 살펴보자(“원자력 이야기”, 이용수 지음, 1990년 참조). 86년 4월 26일 새벽 1시 23분경, 소련 체르노빌 원자력발전소의 육중한 지붕이 무서운 섬광과 함께 산산히 흩어지고 방사성 물질이 하늘을 뒤덮기 시작했다. 사고의 피해는 사망 31명, 중상 2백3명, 경상 2백37명에 재산피해 34억불 정도라고 집계되었다. 그리고 환경보호국은 암의 발생률이 0.014%증가하여 앞으로 70년간 최고 320명의 암환자가 발생하리라 예측했다. 이날의 사고는 갑자기 정전되었을 때 터빈의 관성을 이용하여 발전이 가능한지 여부를 시험하는 과정에서 발생한 것으로 알려졌다. 이 때 전기기사가 원전의 안전운전에서 반드시 지켜야 할 수칙 가운데 자그마치 여섯가지를 무시한 채 실험을 강행하다가 원자로의 노심을 녹여 버리는 사상 최악의 원전사고를 빚었다는 것이다. 국제원자력기구(IAEA)와 소련당국의 조사결과는 제어되지 않은 핵분열에 의해 급격히 가열된 연료봉이 파열되면서 핵연료의 피복관이 물과 반응하여 빚어진 결과로 분석하였다.

또 하나의 대형사고는 '79년 3월 28일 새벽 4시, 미국 펜실바니아의 TMI 원자력발전소에서 일어났다. 이 섬에 세워진 원전은 90메가วัต트짜리 2기였는데, 그 해 1월에 상업운전에 들

어갔던 2호기에서 사고가 터졌다. 여기서도 핵연료봉이 완전히 파열되고 핵연료가 완전히 녹아 내렸으나, 체르노빌의 경우와는 달리 방사성 물질이 외부로 유출되지는 않았던 것이다. 이러한 비교는 일단 유사시에 대비하는 설계와 사고의 사후수습 능력에 따라 그 피해상황이 엄청나게 달라질 수 있음을 분명히 보여준다고 하겠다. 사고 즉시 레이건 대통령의 특명을 받은 사고대책반이 출동하여 조사를 벌인 결과 인근지역의 주민들이 받은 방사선의 양은 1.65 밀리렘으로서 법적 기준인 연간 5백 밀리렘을 훨씬 밑도는 것을 확인하였고 따라서 주변지역의 인명피해는 없는 것으로 결론지었다. 재산상의 피해는 10~18억불로 추산되었다.

체르노빌 발전소의 원자로는 비등경수형 원자로(BWR)로서 우리나라에서 가동되는 영광이나 울진원전과 비슷한 1천 메가와트 수준이다. 그러나 한국과의 차이는 이 사고 발전소에는 핵분열을 조절하는 제어봉을 흑연으로 사용한다는 것과 사고발생에 대비하는 방호건물 시설이 갖추어지지 않았었다는 것이 국내 원전과의 차이이다. 우리나라에서 운전 중인 원전은 현재 9기이고 3기가 더 건설될 예정이다. 이 가운데 10기가 가압 경수로형인데, 이것은 미국의 원전과 같은 형으로서 적어도 설계의 개념상으로는 현재로서는 가장 안전한 원자로에 속하는 것으로 평가된다. 그러나 같은 가압경수로라고 할지라도 세부 설계에서는 상당한 차이가 날 수 있으며, 따라서 미국의 여러 회사와 프랑스, 캐나다 등의 설계와 기술을 들여온 형편에서 그에 따르는 세부적인 차이가 따를 것은 당연하다. 그리고 이러한 도입과정에서 설계의 안전성과 운전의 효율성을 도입기준으로 삼았는가에 대한 불신과 관련되어 상당한 논란의 여지를 남기고 있는 것으로 보인다.

국내의 원전사고에서 최초의 것은 '84년 11월 25일 경북 월성 원자력발전소에서 일어났다. 압력보호밸브를 점검하던 검사원이 기기를 잘못 다룸으로써 냉각재인 중수가 원자로 용기로 누출되기 시작한 것이다. 5분뒤 터빈은 정지되고 제어봉이 핵연료 다발 속으로 꽂히면서



핵분열 반응이 정지되고 원자로 내의 냉각재 온도는 섭씨 310도로부터 50도로 낮춰졌다. 만일 냉각재가 다 빠져 나갔더라면 섭씨 1천8백도가 넘는 원자로 내의 열 때문에 노심이 녹아 내림으로써 필경 TMI사태로 번져갔을 것이었다. 이때 누출된 증수는 23,475톤이었는데, 그중 22.19톤이 회수되었다. 증수로원자로 발전소에서 증수의 누출은 가장 흔히 일어나는 사고로 알려져 있다. 그런데 누출된 증수(고급 위스키 값과 맞먹는)는 대기로 나가는 것이 아니라 격납용기 안에 갇히도록 설계되어 있다. 따라서 회수가 가능하다. 그러나 여기에는 베타선을 방출하는 삼중수소(반감기 12.3년)가 들어 있으므로 피해야 함은 물론이다. 이 최초의 사고에 대한 한국원자력연구소와 한국전력측의 조사결과는 노출사고의 영향이 거의 없는 것으로 결론을 내렸다.

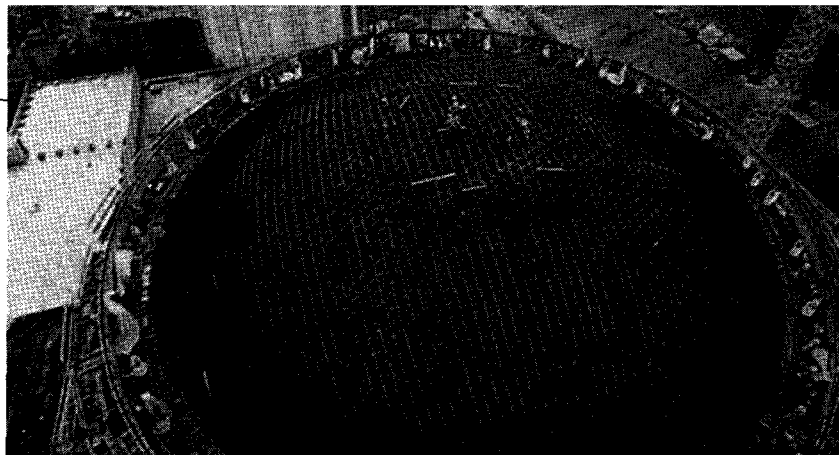
한국에서 '78년 4월 고리 1호기 원전이 상업적인 가동에 들어간 이후 '88년 10월말까지 발생한 원전의 발전정지 건수는 2백31건으로 기록되고 있다. 여기에는 핵연료의 장전이나 발전소의 정기보수에 따르는 계획정지 37건이 포함되며, 나머지 184건은 불시정지에 해당한다. 그 원인으로는 기기고장에 의한 불시정지가 약 65%, 인적 실수가 약 14%, 기타원인이 24%로 나타나 있다. 고장으로는 터빈계통이 49건 직한 에너지원이라 할 수 있다. 그러나 이들 에너지원은 아직 우리의 일상생활에 널리 보급되어 가장 많고, 다음이 전기계통 35건, 원자로 계통 30건, 계기계통 25건이 된다. 원전의 불시

정지 자료를 외국과 비교해보면, 예컨대 '87년의 경우 미국 2.7건, 일본 0.2건, 한국 3.7건으로 한국이 비교적 잦은 것으로 나타난다.

4. 에너지 위기의 본질

산업화를 추구하는 한, 에너지원의 확보와 사용은 정도의 차이가 있을 뿐 세계 모든 나라의 공통된 문제가 되고 있다. 현재로는 산업사회의 선진화에 비례하여 화석연료(석탄, 석유, 천연가스)와 원자력에 의존하는 경향이 큰 것이 특징이다. 에너지 자원 가운데, 수력, 생체 자원(나무), 태양열, 지열, 풍력, 조력, 해양열 등의 재생 에너지(renewable energy)는 환경오염이나 안전성의 차원에서 볼 때 가장 바람직 만큼 실용화 단계에 들지 못하고 있다는 것이 문제인데, 그 원인은 이들 자원의 실용화가 상당한 과학기술적 난제이기 때문으로 귀결된다. 현재 활용되는 재생에너지 자원은 주로 수력발전과 목재연료로서, 그중 수력발전은 전 세계 발전량의 20%를 차지한다.

오늘날의 에너지 문제는 단순히 화석연료 에너지원의 고갈(35년 정도 더 버틸 것이라는 학술 등 추측이 구구한 상태)로 인한 확보의 어려움(1995년, 전 세계는 페르샤만 연안 산유국과 OPEC 회원국의 원유 공급량에 45~60% 의존케 되리라 예상)과 가격상등의 차원에 그치는 것이 아니라, 인간의 건강과 나아가서 생태계 질서의 보존을 위협하는 심각한 국면으로 번져 화석연료의 사용으로 인한 환경문제가 시



급한 대책을 요구하는 시점에 이르렀음을 부인하기가 어렵다. 이런 상황에서 고도 산업사회에서의 끝없는 경제성장의 욕구는 필연적으로 막대한 양의 에너지를 요구하고 있으므로, 에너지 문제의 해결은 중차대한 과제가 아닐 수 없다.

최근의 에너지 환경을 살필 때, 고갈돼 가는 화석연료의 대신 급속한 증가일로의 에너지 수요를 충족시키는 대체 에너지원으로서 핵에너지가 가장 현실적인 대안으로 등장하고 있었다. 예컨대, '79 "원자력 및 대체에너지 시스템 위원회"의 평가에 의하면, 각종 에너지 생산기술의 영향과 위험성을 분석한 결과에서 전력발전의 경우 석탄 화력발전에 따르는 부작용이 가장 크며, 석유 및 원자력발전은 그에 비해 안전하고, 천연가스를 쓰는 방법이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 원전의 긍정적 측면을 강조하는 자료의 하나로서, 경제성에 있어 원자력발전의 단가는 한국의 경우 27.4원/kWh('87년 기준)인데 비해, 석유 화력발전의 단가는 112.4원/kWh으로서 화력발전 쪽이 훨씬 비싼 것으로 나타나고 있다. 물론 원자력발전의 시설비용만을 고려한다면 화력발전의 경우보다 훨씬 높은 것이 사실이지만, 화력발전에 대해 탈황시설을 의무화한다고 할때 시설비용의 차이가 대폭 줄어드는 것 또한 틀림없는 사실이다.

실제로 화석연료의 공급이 원활치 못한 국가들은 원자력발전에 크게 의존하는 경향이다. 좁은 국토에 인구가 많고 부존자원이 한정된 나라에서 원전에 의존도는 큰 것으로 나타난다. 전체 발전량에 대한 원전 비율이 큰 나라의 순서로 보면('87년 기준), 프랑스 70%, 한국

53%, 대만 49%, 스웨덴 45%, 서독 31%, 일본 27%, 영국과 미국이 약 18%, 소련 11%이다. 한편 발전용량의 순위로 보면 '86년 미국이 90.5GW, 프랑스 37.5GW, 소련 27.8GW 등의 순위로 나타난다. '86년 현재 가동 중인 원자력 발전소는 세계 30개국에서 370개이며, 150개가 건설 중, 100개 이상이 건설계획 단계에 있다.

'70년대까지만 해도 원자력에너지는 값싸고 오염의 위험없는 에너지원이라 여겨졌다. 그러나, TMI 사고에 이은 Chernobyl 원전 사고는 안전성에 관한 경각심을 크게 자극시켰고, 세계적으로 원전건설의 열기에 찬물을 끼얹은 형국이었다. Chernogyl 원전사고(31명 사망, 만 8천명 부상)는 방사능 유출에 따르는 재난의 심각성을 현실로 부각시킨 최악의 사고였으며, 앞으로도 그 비극의 후속 편이 어떻게 이어질는지 알 수 없는 형편이다. 체르노빌사건으로 인해 원전에 대한 사람들의 반응이 어떻게 달라졌는가 예를 들면, 1986년 미국 ABC방송국이 실시한 여론조사에서 국민의 20%만이 원전을 더 건설하는데 찬성함으로써(80%는 반대), 이전 1975년 조사에서 65%가 찬성했던(20%는 반대) 것과 엄청난 차이를 보였다.

원자력에너지의 사용에 있어서는 언제 어느 곳에서 어떤 이유(실수, 고의 또는 천재지변)로 발생될는지 모르는 방사능 유출사고가 치명적이고 사회·정치·경제적으로 엄청난 재난이라는 문제의 어려움이 있다. 그 위험성을 극소화하는 것이 원자력에너지 이용의 열쇠이다. 그리고, 방사능 폐기물의 처리와 우라늄광의 광원, 원자력발전소의 종사자들의 안전을 도모할 수 있는 방법도 철저한 대책을 필요로 한다. 현재로서 핵분열에너지의 안전성을 증진시키기

위한 과실허용 컴퓨터, 정밀 감지기, 로봇트 공학 등의 연구가 진행되고 있으나, 여지껏은 이 상적인 대책이 마련됐다고 보기는 어렵다.

1990년도 세계의 원전 동향을 살펴보면 다시 새로운 국면을 맞는 것 같다. '90년 4월 세계 20개국 관계자가 참가한 일본 원자력산업회의 년차대회에서 언급된 내용 가운데 몇가지를 추려본다. 미국은 다른 나라보다 원전 운전비가 2배 가량 비싼데, 그 까닭은 환경문제에 대한 비용과 부대적인 시설투자비용에 기인되며, 이번에 대기정화법안을 제정한 것은 앞으로 원전 쪽에 유리하게 작용하리라는 분석이다. 프랑스는 현재 발전량의 10%를 영국, 이탈리아, 스위스에 수출하고 있으며 앞으로 더욱 다변화될 추세이고, 원자력청의 조직개편으로 새로운 모델 개발 우라늄 농축·폐기물 처리·폐로 문제 등의 산적된 연구과제를 효과적으로 추진토록 조치하였다. 한편, 소련은 원자력의 안전문제를 신속·엄격하게 관리할 수 있도록 원자력 관련 행정조직을 개편하여 원자력발전성과 기계공업성을 통합하였고, 민간단체로 소련원자력협회를 발족시켰다.

한국 국민의 원자력발전에 대한 관념은 어떠한가? 1991년 3월에 한국과학기술진흥재단이 “과학기술에 대한 국민의식조사”에서 얻은 결과에 의하면 원전에 관한 국민들의 반응은 한마디로 요약해서 “필요성에 대해서는 67.6%가 인정하고 있지만 안전성에 대해서는 62.3%가 불안감을 갖고 있는” 것으로 드러나고 있다 (18세 이상 성인남녀 2천명을 대상으로 조사). 즉 조사 대상자의 67.6%는 우리나라의 여건상 “자원이 부족한 현실로 보아 값싸고 안정적인 전력공급을 위해 필요하다”고 보고 있으나, “사고의 위험성과 방사성 폐기물 관리의 문제점 때문에 필요없다”고 응답한 비율이 22.2%로 나타나고 있다.

여지껏의 논의에서 드러나듯이, 우리는 지금 화석연료와 원자력에너지 사이에서 그 어느 것도 무리없이 밀고 나가기가 어려운 상황에 처해 있다. 그리고, 무한한 에너지원이 될 수 있을 핵융합 반응의 실용화나 재생에너지 같은

제3의 주요 에너지원이 실용화되기에는 아직도 기초연구를 위한 엄청난 투자와 오랜 시간이 요구되는 실정이다. 좀더 솔직히 말한다면 그러한 에너지 혁명을 성취할 수 있는 경제적 여유와 과학 기술적 능력과 의지가 우리에게 있는 것인지 자체에 대해서도 장담하기는 쉽지 않다.

그렇다면 이러한 에너지 환경 속에 사는 사람들의 의식은 에너지 현실을 얼마만큼 이해하고 있는가도 짚어보아야 할 것 같다. 에너지의 소비량에 비례해서 사람의 능률이 향상되고 정신적·물질적 생활이 풍요로워지는 것인가? 에너지를 비롯한 물질적 풍요가 우리 사회를 참으로 행복하게 바꾸고 있는가? 이 물음에 대해 그렇다고 대답할 사람은 몇이나 될는지 알 수 없다. 오늘날의 과도한 물질주의가 우리 사람들의 행동을 어떻게 변화시키고 있는가에 대해서는 그 부정적 측면을 결코 외면할 수 없는 상황이기 때문이다. 에너지 위기 극복의 지혜라고 한다면, 사람마다 적정량의 에너지 범위에서 생활하는 것을 익히고, 그럼으로써 제한된 화석연료 자원을 태우는 대신 보다 효율적인 생산품의 원료로 할애하며 동시에 환경을 덜 오염시키는 일에 기여할 수 있다는 사실을 인식하는 것이다.

에너지 위기의 극복의 지혜가 그 어느 때보다도 절실히 요구되는 에너지의 전환기라고 생각된다. 이 시점에서 옛부터 인간의 소비활동에 귀감이 되고 있었던 몇가지 경우들에 대해서 한번 생각을 돌리는 것은 어떨까. 고대 그리스 델포이 신전에 새겨졌다는 “지나친 많음에는 아무 것도 없다.” 유교의 “지나침은 모자람이나 같다.” 유대교의 “저에게는 가난도 부도 내리지 마십시오.” 도교의 “자신이 충분히 가졌음을 아는 사람이 부자이다.” 불교의 “이 세상 사람 누구나 자신의 욕망을 극복한다면 마치 연꽃에서 물방울이 굴러 떨어지듯이 모든 고통이 떨어져 나갈 것이다” 등등이 여전히 진리라는 것을 깨닫는 노력이 요구되는 시대인 것 같다.