

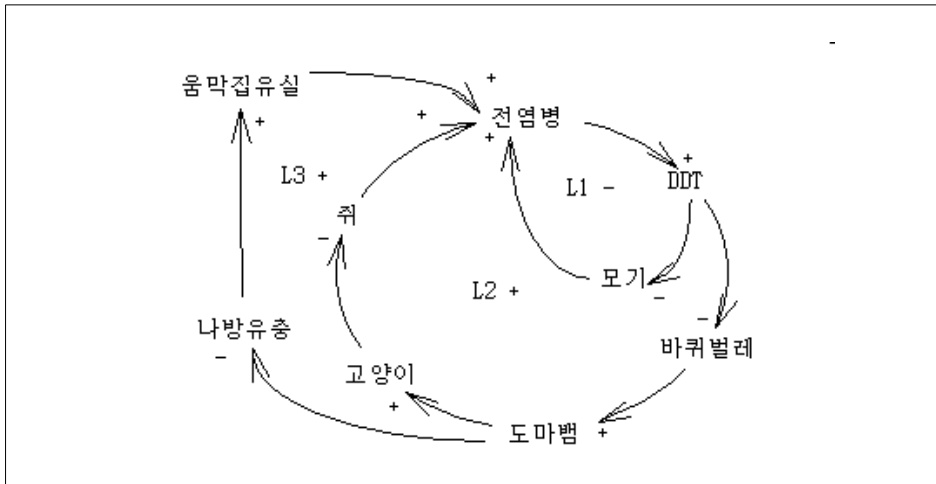
## 제 4 장

### 환경오염 개관

인도네시아 보르네오섬에서 모기로 인하여 말라리아병이 성행한 일이 있었다. 말라리아를 퇴치하기 위하여 보르네오섬의 농민들은 강력한 살충제인 DDT를 그들의 움막집에 살포하였다. 이렇게 하여 모기를 없애고 말라리아를 퇴치하는 데는 성공했지만 이 DDT의 살포로 전혀 다른 질병을 유발시켜 많은 농민들이 죽을 뻔한 일이 있었다. 그 이유를 밝히는 데는 다소 긴 설명이 필요하다. 살포된 DDT는 모기를 죽이기는 하였으나 움막집에 있던 바퀴벌레의 체내에 축적되기 시작하였고, 이 바퀴벌레를 잡아먹은 도마뱀이 갑자기 행동이 민활하지 못하게 되어 고양이에게 쉽게 잡아먹히기 시작하였던 것이다. 그리고 이 도마뱀을 잡아먹은 고양이가 갑자기 죽기 시작하였다. 고양이 체내에 바퀴벌레 체내에 있던 DDT가 옮겨지면서 축적되었기 때문이다. 고양이의 전멸은 재앙과도 같은 것이었다. 고양이가 없어지자 숲속에서 나온 쥐떼가 개간지와 움막집을 습격하였다. 쥐를 잡아먹을 고양이가 없어졌기 때문에 쥐는 기하급수적으로 번식하기 시작한 것이다.



그림 4-1 보르네오섬의 전염병과 DDT



이렇게 되자 무서운 흑사병을 옮기는 쥐로 인하여 전염병에 대한 위험성이 나타나기 시작했다. 흑사병이 말라리아보다 훨씬 더 많은 사람을 죽게 할 수 있는 전염병임은 물론이다. 이 원인을 나중에는 안 농민들은 급기야 고양이를 급히 구해 마을에 투하했고 일단 안도의 숨을 쉴 수 있었다. 그러나 전혀 뜻밖의 일이 일어났다. 이상하게도 마을의 움막집 지붕이 여기저기 주저앉기 시작한 것이다. 이유는 도마뱀은 바퀴벌레뿐만 아니라 이엉이나 지붕 석가래를 갉아먹고 사는 나방의 유충도 잡아 먹는데 이 도마뱀이 없어지자 나방의 유충이 번식하여 지붕이 주저앉을 정도로 지붕 석가래를 갉아 먹었던 것이다(환경청, 1987a:48-50). 이 관계를 순환적인 인과관계의 그림으로 나타내면 [그림 4-1]과 같다.

이 예는 단지 DDT가 자연계에 투입되면서 어떤 교란현상을 연쇄적으로 일으키는가를 보여 줄 뿐만 아니라 우리가 직면하고 있는 환경문제의 일단을 훌륭하게 설명하고 있다. 즉, ‘모든 것은 다른 모든 것에 연결되어 있다’는 자연생태계 법칙의 일단을 말해 주고 있는 것이다. 환경오염의 문제를 이해하기 위해서는 먼



저 자연생태계에 대한 이해가 필요하다.

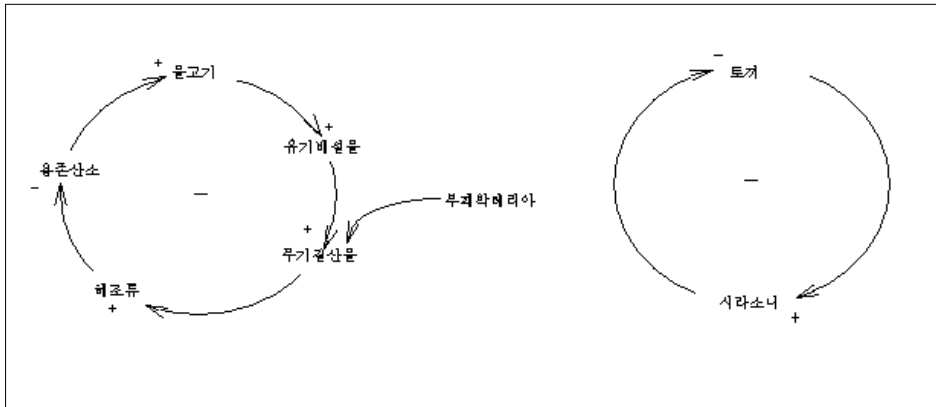
## 생태계의 법칙

「원은 닫혀야 한다(Closing Circle)」의 저자 베리 카머너(Barry Commoner)는 자연생태계가 네 가지 생태계법칙에 의하여 움직이고 있음을 다음과 같이 설명하고 있다(Commoner, 1971 송상용 역).

생태계의 제 1 법칙은 ‘모든 것은 서로 다른 모든 것에 연결되어 있다’이다. 생태계 내에 존재하는 모든 것은 상호 밀접한 순환적인 인과관계의 그물 속에서 존재하며 이들 스스로가 전체적으로 안정적인 관계를 구축하려는 힘을 갖고 있다는 것이다. 간단한 예를 들어보자. 캐나다의 포획기록에 의하면 토끼와 시라소니(lynx)의 수는 10년 주기의 변동을 따른다고 한다. 토끼가 많으면 시라소니가 번창한다. 시라소니의 수가 늘어남에 따라 시라소니의 먹이가 되는 토끼는 그 수가 줄어든다. 토끼가 줄어들면 이제 시라소니가 먹을 식량이 부족하게 되어 시라소니는 점차 죽어 없어지게 되고 토끼의 수는 점차 늘어난다는 것이다. 또다른 예를 들어보자. 물 속의 물고기가 어떤 이유로 이상번식을 하게 되어 그 수가 많아지게 되면 물고기의 배설물 역시 늘어나게 된다. 이 물고기의 유기배설물은 물 속의 부패 박테리아에 의하여 산화되어 무기질산물을 형성하게 된다. 이 무기질산물은 해조류의 영양분이 되므로 해조류가 이상번식을 하게 된다. 해조류의 이상번식은 한편으로는 햇빛을 차단하고 다른 한편으로는 물 속의 산소를 소모하게 되어 결과적으로 물고기 수를 감소시켜 나가게 된다. 이렇게 되면 해조류와 물고기의 수준은 상호간에 지탱가능한 안정적인 상태의 균형으로 돌아간다는 것이다. 이 관계를 그림으



그림 4-2 물고기와 조류, 토끼와 시라소니의 생태적 순환관계



로 나타내면 [그림 4-2]와 같다.

물론 물 속의 생태계는 이 같이 단순하지만은 않다. 물 속의 영양분과 해조류와의 관계는 또 다른 순환관계를 형성하게 된다. 즉, 해조류의 번성이 물고기에게 영양분을 공급하게 되어 물고기가 급속히 번성할 수도 있게 되는 것이다. 여하튼 이 같이 균형적인 관계를 이루며 순환해 나가는 자연계에 진동의 폭이 균형점에서 너무 멀어져 생태계가 그것을 보충할 수 없게 되면 그 생태계는 완전히 붕괴될 위험이 있다. 위의 토끼와 시라소니의 예에서 만약 시라소니가 토끼를 완전히 잡아먹었다고 하면 토끼는 시라소니가 굶어 죽더라도 더 이상 번식할 수 없게 된다. 시라소니 역시 모두 죽어나가게 될 것이다. 또, 물 속의 조류가 지나치게 많아져서 조류층이 두꺼워지게 되면 조류의 광합성에 필요한 산소를 차단하여 조류를 죽이게 되어 유기노폐물이 증가하게 된다. 이 유기노폐물이 분해 박테리아에 의하여 분해되는 과정에서 다시 물 속의 산소는 고갈되게 되고 결국 물 속의 고기는 모두 죽어버리게 된다. 전체 수중계의 순환이 붕괴되는 것이다(Commoner 1971:38).

생태계의 제2 법칙은 ‘모든 것은 어디론가 가야 한다’이다. 이

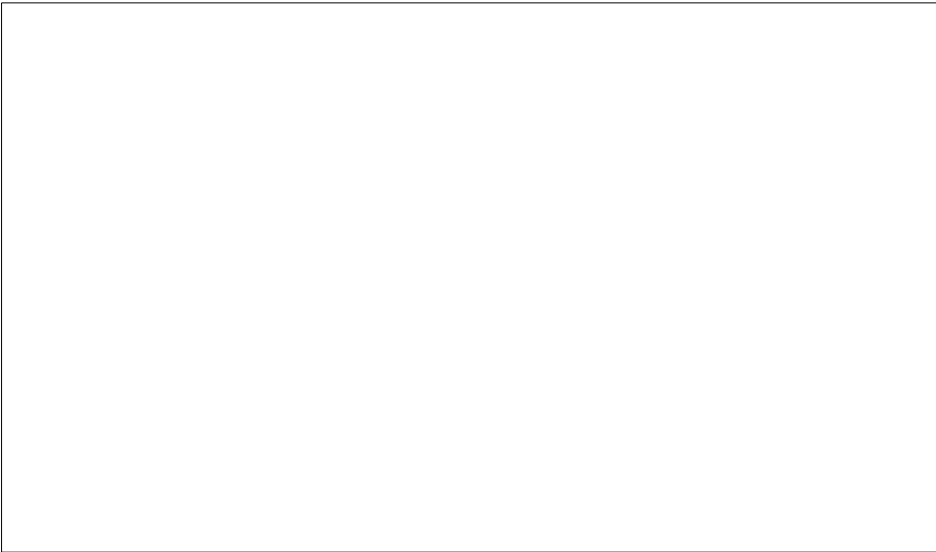


는 자연계에 존재하는 물질은 영원히 없어지지 않고 어디론가 갈 따름이지 사라지는 것은 결코 아니라는 것이다. 동물은 호흡의 찌꺼기로 이산화탄소를 내는데 이것은 녹색식물에게 필수불가결한 영양분이다. 이산화탄소를 흡수한 식물이 산소를 배설하면 동물은 이것을 이용하여 호흡을 하게 되며 동물의 유기배설물은 식물의 성장에 필요한 영양분이 되고 또 부패 박테리아의 영양분이 된다. 부패 박테리아의 배설물인 질산염, 인산염, 이산화탄소 같은 무기질은 조류의 영양분이 되는 것이다. 또 수은이 들어 있는 건전지의 수명이 다하여서 이를 버리면 건전지는 우선 쓰레기통으로 간다. 수거된 쓰레기는 소각장에서 소각되고, 태워진 수은은 수은증기로 대기에 방출되는데 이 수은증기는 인체에 유독하다. 이 수은증기가 바람에 운반되어 어디론가 가다가 결국 비나 눈에 섞여 땅, 호수, 바다로 떨어진다. 산 속의 호수에 들어갔다고 칠 때 이 수은은 응고되어 바닥에 가라앉게 되고 여기에 박테리아가 작용하면 메틸수은으로 만든다. 이것이 물에 녹아 물고기의 몸속으로 들어가 물고기 체내에 축적된다. 사람이 이 물고기를 먹으면 수은은 사람몸으로 들어가게 되는 것이다. 수은중독으로 사람이 죽으면 이 수은은 다시 대기 속으로, 땅 속으로, 지하수로, 다시 지상으로, 그리고 동물이나 식물 속으로, 결국 다시 사람 몸속으로 계속 순환되는 것이지 결코 없어지는 것이다. 이것을 그림으로 나타내면 [그림 4-3]과 같다.

생태계의 제3 법칙은 ‘자연계에 대한 인위적인 변화는 어떤 것이라도 자연계에 해롭다’이다. 생물체가 돌연변이를 일으키게 되면 이러한 돌연변이는 거의 모든 생물에게 유해하며 피해가 크기 때문에 이러한 돌연변이가 완전히 이루어지기 전에 죽는다고 한다. 생물체가 자기 조직 내에 임의의 변화를 유지하도록 강요당하면 그 변화가 생물체를 향상시키기보다는 해를 끼칠 가능성이 훨씬 크다는 것이다. 왜냐하면 거의 모든 생물의 배경에는 약 20억 내지 30억 년간 축적되어온 그 생물만이 가지는 노하우나 R



그림 4-3 자연계에 방출된 수은의 순환과정



& D가 있기 때문이라는 것이다. 태초에 얼마 안 되는 생물개체가 존재하기 시작하면서 이 생물개체들은 어떤 임의의 유전적 변화의 적응도를 시험해 볼 기회가 오랜 시간을 통해 있었다고 볼 수 있다. 그런데 그 변화가 생물의 생존능력을 해치면 변화가 다음 세대로 넘어가기 전에 그 생물은 죽기 쉽다. 이 같이 하여 생물은 가능한 자신의 생체배열 중에서 전체 자연계와 양립할 수 없는 부분은 오랜 진화과정을 통하여 제거하면서 양립할 수 있는 배열들만을 모아 복잡한 조직을 이루며 진화해 온 것이다. 따라서 현재의 생물의 구조나 현재의 자연생태계의 조직은 자신에게 불리한 성분을 강하게 차단시키고 있으므로 어떤 새로운 것이라도 현재의 것보다 못하게 될 가능성이 크다는 것이다. 이러한 원칙은 결국 자연에서 생기지 않고 인공적으로 만들어졌으나 생물계에서 활동적이 되는 유기화합물을 인공적으로 도입하는 것이 유해함이 거의 틀림없다는 사실을 시사하고 있다(Commoner, 1971:46).



생물체에 의해 만들어진 모든 유기물질은 자연의 어디엔가 그 물질을 파괴할 수 있는 효소가 존재한다. 즉, 유기물은 그것을 파괴할 준비가 없는 한 합성되는 법이 없다는 것이다. 이렇게 되면 재순환이 일어날 수 있다. 인간이 만든 새 유기물질이 자연에서 생기는 형태와 거리가 먼 분자구조로 합성된다면 그에 대한 부패 효소가 없어 그 물질은 축적될 가능성이 커진다. 예를 들어, 우리가 쓰는 비누는 원래 천연지방에 알칼리를 작용시켜 만드는 것인데, 이때 사용하는 전형적인 천연지방은 야자유라 한다. 천연지방은 박테리아에 의하여 쉽게 분해가 되므로 설사 비눗물이 배수구를 통해 흘러 나간다 하더라도 이는 박테리아에 의하여 쉽게 분해된다. 그러나 석유 속의 유기원료와 다른 화학물질로 만든 세제는 분해 박테리아가 이를 분해할 수 없다. 생분해성 세제를 만든다해도 이때 포함되는 벤젠단위는 페놀로 바뀌게 되어 물고기에게 유해한 결과를 낳게 된다. 또 분해가 되건 되지 않건 합성 세제 속의 인산염은 해조의 성장을 촉진시켜 부영양화의 기본적인 원인이 된다. 이러한 점들을 종합해 보면 자연에서 발견되지 않는 모든 인공적 유기화합물, 특히 어떤 생물이라도 강한 작용을 하는 화합물들은 다른 형태의 생명에도 잠재적으로 위험하다고 보는 것이 옳을 것이다.

생태계의 제4 법칙은 ‘공짜 점심이란 없다’는 것이다. 이는 모든 이득은 반드시 어떤 대가를 지불하고서야 얻어진다는 말로써, 앞의 세 가지 법칙을 모두 포함하고 있는 법칙이다. 지구의 생태계는 연결된 하나의 전체여서 그 속에서 그냥 얻어지는 것도 없는 것도 없으며, 인간의 노력에 의하여 자연계로부터 얻어진 것은 반드시 그 대가를 지불해야 하는데 이런 대가의 지불은 피할 수 없으며 단지 지연될 따름이라는 것이다. 보르네오섬의 예에서 보았듯이 DDT의 살포는 해충을 죽이지만 그 대가로 다른 천적까지 멸종시킨다. 더구나 DDT는 해충의 저항력도 증가시켜 점점 더 많은 양의 DDT에 의해서만 해충을 없앨 수 있는 악순환의 고



리를 만들어낸다. 또 다른 예를 들어보자. 토양의 비옥도를 유지시키기 위하여 자연은 식물의 뿌리나 흙주변에 서식하는 질소고정 박테리아에 의존한다. 이런 자연적인 메커니즘하에서는 윤작이나 필수적인 토양관리로도 토양의 비옥도를 유지하는 데 충분하다. 그러나 무기질소비료가 등장하면서 이러한 생태계의 법칙은 깨어지기 시작한다. 자연이 공짜로 제공하던 질소고정 박테리아는 무기질소가 존재하는 곳에서는 박테리아의 질소합성을 중지한다. 질소 박테리아의 질소합성이 중지된 상태에서는 더욱 많은 무기질비료의 공급이 필요하게 되고 계속적인 무기질비료의 사용은 질소고정 박테리아의 질소공급능력을 상실하게 한다 (Commoner, 1971:154). 무기질비료의 사용은 순간적인 수확의 증가를 가져다 주었지만 자연이 우리에게 공짜로 제공하던 질소고정 박테리아를 앗아간 것이다. 같은 양의 곡식을 수확하기 위해서 이제 더 많은 무기비료를 투입해야 하는 대가를, 그리고 질소고정 박테리아를 잃는 대가를 지불해야 하게 된 것이다.

이상에서 우리는 자연생태계의 특성을 살펴보았다. 순환적인 인과관계를 가지며 모든 것이 서로 다른 모든 것에 연결되어 있는 생태계 내에서 우리가 현재 직면하고 있는 환경오염은 심각하다. 미국 오대호 중에서 가장 깨끗한 섬인 슈피리어호의 한 멀리 떨어진 섬에서 미국 환경청에서 1972년부터 사용 금지한 DDT가 16년이 경과한 1988년과 1989년 사이에 다량으로 검출되는가 하면, 플로리다주에서 잡힌 고기에서 미국의 환경기준보다 4배가 더 많은 수은이 검출되었으며, 미국에서 가장 큰 규모의 알칸소주의 양계장 닭에서 환경청에서 1978년 이래 사용을 금지해 온 살충제성분이 검출되어 약 40만 마리의 닭을 폐기처분하는 사건이 발생하였다(Rosenbaum, 1991:32). 환경오염현상이 지역적이기보다는 광역적으로, 부분적이기보다는 종합적으로, 그리고 피상적이기보다는 현실적으로 나타나고 있는 것이다. 공유의 비극으로 말미암은 대가를 이미 치루고 있거나 또는 더 비싼 대가를 치루



어야 할 시간이 다가오고 있는 것이다. 이제 전형적인 환경오염 문제로 인식되어 왔던 대기오염, 수질오염, 폐기물문제, 그리고 1980년 후반부터 심각하게 인식되기 시작한 새로운 환경문제인 지구온난화, 산성비, 오존층파괴문제를 차례로 살펴보기로 한다.

## 대기오염

인체의 장기 중 외부환경과 가장 직접적이고 가장 넓은 영역으로 접하고 있는 장기는 폐기관이라 한다. 폐기관의 허파파리를 면으로 깔아 놓으면 축구경기장만한 넓이가 되는 것으로 알려져 있고 이 넓은 면을 통하여 사람이 들며 마시는 공기량은 보통 때에는 약 10,000ℓ, 운동을 할 때는 보통 때의 6~7배에 해당하는 6~7만 ℓ이다. 평균적으로 사람이 하루에 들며 마시는 공기량은 하루에 4~5만ℓ에 달하게 되는데 대기가 공해물질로 오염되어 있을 때는 결국 하루에 4~5만ℓ의 오염된 공기를 들며 마시며 사는 결과가 된다(김건렬, 1993:18). 이렇게 엄청난 양의 오염된 공기가 사람의 인체를 드나들 때 인체기관은 자기도 모르는 사이에 심각한 건강의 위협에 직면하게 된다.

오염된 공기가 가장 직접적으로 인체에 영향을 미치는 기관은 폐기관이어서 기도점막을 손상시켜 세균, 먼지, 발암인자 등의 체내 침투를 방어하는 방어력을 약화시키고, 기관지염이나 천식, 호흡장애를 유발하고, 나아가서는 암에 걸릴 가능성을 증가시킨다(김건렬, 1993:18-19). 특히 유아와 어린이, 노인, 그리고 호흡기 환자들은 대기오염으로부터 더욱 큰 건강의 위협을 받는 대상이 된다. 대기오염의 영향은 그러나 인체의 건강에만 영향을 미치는



것이 아니다. 지속적인 대기오염물질의 증가는 산성비를 내리게 하고, 지구오존층을 파괴하여 인공구조물을 부식시키는 것은 물론 동·식물의 번식과 성장을 파괴하거나 억제하고, 생태계 먹이사슬을 파괴하여 지구 전체의 생태계를 근본적으로 위협한다. 또, 지구온난화를 가속시켜 대기온도를 상승하게 하여 생태계의 근본적인 변화를 초래하고 극지방의 빙산을 녹여 해수면을 상승시키고 육지를 물에 잠기게 한다.

물론 대기는 식물과 바다에 의하여 자연적으로 정화되는 자정능력을 가지고 있다. 그러나 화석연료(석유, 석탄 등) 사용의 급증, 산업 생산활동의 급증, 그리고 자동차의 폭발적인 증가로 인한 엄청난 대기오염물질의 방출은 이미 자연의 대기정화능력을 초과하여 전 지구적인 대기오염을 가속화시키고 있다. 인간의 활동에 의하여 생성되는 주된 대기오염물질들은 이산화황, 질소산화물, 일산화탄소, 이산화탄소, 탄화수소, 분진, 그리고 납 등으로 알려져 있으며, 이외에도 수십 종의 유독성 화학물질이 도시지역의 대기 중에서 발견되고 있다. 대기오염으로 인한 피해는 한종류의 오염물질에 의해서도 일어나지만 여러 오염물질들이 복합적으로 상호 작용하면서 일어나는 것이 많다. 예를 들어, 일차적인 오염물질인 질소산화물이나 이산화황, 탄화수소, 일산화탄소들은 공기 중의 수분이나 태양광선과 작용하여 이차적인 오염물질인 황산이나 질산, 오존, 그리고 광화합산화물로 변화하여 환경파괴를 가속화시킨다. 이러한 오염물질간의 상호작용으로 인한 대기오염현상은 대기오염문제를 더욱 복잡하게 만드는 원인이 되고 있다. 각종 오염물질과 오염원, 그리고 이들의 건강 및 환경에 대한 영향을 개관하면 아래 [표 4-1]과 같다.

대기오염물질에는 여러 종류가 있으나 한국에서는 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 미세먼지, 오존, 납에 대하여 대기환경기준을 설정하고 있다. 이하에서 각종 대기오염물질의 오염원, 건강 및 환경에 대한 영향을 보다 상세히 고찰한다.



표 4-1 대기오염물질, 오염원, 환경상의 영향

| 오염물질과 오염원                                         | 건강 및 환경에 대한 영향                                                                      |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 황산화물 및 질소산화물 : 화석연료의 연소에서 발생                      | 폐기관과 호흡기계통에 대한 영향. 강, 호수, 토양의 산성화, 건축물의 부식, 오존과 함께 식물의 고사를 초래한다.                    |
| 일산화탄소 : 대부분이 자동차의 배기가스에서 발생                       | 혈액의 산소운반능력을 저하시킨다. 심장혈관, 신경계통, 폐기관에 대한 건강상의 위해, 오존의 생성을 촉진하고 지구온난화의 원인이 된다.         |
| 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds) : 자동차와 매연가스 | 건강상의 위해, 유전자변이나 암을 유발한다. 지표층의 오존을 형성한다.                                             |
| 오존 : 질소산화물과 유기화합물간의 광화학적 반응에 의하여 생성               | 눈병, 코막힘, 천식, 폐기능 저하, 폐조직의 손상, 세균감염에 대한 저항력의 약화, 스모그의 주된 성분, 온실가스, 나무나 다른 식물들에 대한 위해 |

자료 : Corson, 1990:220.

### 황산화물(SO<sub>x</sub> : Sulfur Oxides) 및 질소산화물(NO<sub>x</sub> : Nitrogen Oxides)

화석연료의 연소에서 발생하는 황산화물과 질소산화물은 폐와 호흡기질환을 유발한다([표 4-1], [표 4-2] 참조). 뿐만 아니라 이산화황과 이산화질소는 산성비의 원인이 되어 삼림을 파괴하고, 빌딩과 건축물을 포함한 기타 물질들을 부식시키고, 강, 호수, 토양의 산성화를 가져와 어패류와 식물의 성장과 번식을 억제하고 감소시킨다. 황산화물의 배출은 생태계에서 화산의 폭발, 유기물의 부패 등으로 생성되기도 하나 인간이 산업활동의 일환으로 유향을 함유한 석탄이나 석유 등을 연소시킬 때 대량으로 발생하게



표 4-2 이산화황의 인체작용

| 농 도(ppm) | 인 체 효 과           |
|----------|-------------------|
| 0.03     | 만성기관지염 환자 증가      |
| 0.1      | 찬 공기를 마실 때 천식증세   |
| 0.24     | 급성호흡기질환 환자 증가     |
| 0.25     | 운동시 천식증세          |
| 0.4~0.5  | 심한 운동을 5분 하면 천식증세 |
| 1        | 지역주민 1%가 천식증세     |

한국기준 0.02ppm/연, 0.05ppm/24시간, 0.15ppm/1시간

주) 농도는 24시간 평균농도, 뉴욕에서의 조사. 자료 : 김건렬, 1993:38.

표 4-3 이산화질소의 인체효과

| 농 도(ppm) | 노출시간                | 인 체 효 과                 |
|----------|---------------------|-------------------------|
| 0.08~0.1 | 7~8년                | 급성 호흡기질환 발생률 증가         |
| 0.11     | 1시간                 | 기도과민성 증가                |
| 0.5~1.0  | 매일 부정기시간<br>(상한치로서) | 하기도감염율 증가(소아)           |
| 1        |                     | 폐기능 장애                  |
| 1.6~2.0  | 15분                 | 기도저항 증가 (정상인 및 기관지염 환자) |
| 5        | 10분                 | 기도저항 증가                 |
| 100~150  | 40분                 | 사망                      |

한국기준 0.05ppm/연 0.08ppm/24시간, 0.15ppm/1시간.

자료 : 김건렬, 1993:54.

된다. 그 중에서도 특히 전기의 발전을 위하여 화석연료를 연소시킬 때 발생하는 이산화황의 배출이 인위적인 배출량의 대부분을 차지한다. 1900년대 이래 지구 전체에서 발생하는 이산화황의 배출량은 6배나 증가하였다고 한다. 1970년대 중반 이후 선진공



업국들은 이산화황의 배출량을 성공적으로 감소시켜 왔는데 이는 주로 유황을 적게 함유하고 있는 석탄으로 연료를 대체하거나 전기를 발전하는데 더 적은 석탄을 사용하는 기술을 개발함으로써 이룩된 것이었다(Corson, 1990:222).

질소산화물 역시 자연적으로도 생성되나 인간에 의하여 생성되는 질소산화물은 자동차 배기가스에 의한 배출량의 대부분을 차지하고 있다. 즉, 인간의 활동으로 배출되는 전체 질소산화물 중 반은 자동차의 배기가스에서 생성되고, 나머지 약 1/3은 발전업체에서, 그리고 그 나머지는 산업활동으로 인한 공장의 가동과정에서 배출된다. 이산화황의 배출량을 성공적으로 감소시키고 있는데 비하여 질소산화물의 배출량의 감소는 괄목할 만한 성과를 가져오지 못하고 있다. 질소산화물의 대부분이 자동차의 배기가스에 의하여 생성되고 있는데 자동차의 보급률이 급격히 증가하였을 뿐만 아니라 이산화황이 주로 석탄을 사용하는 공장에서 배출되어 고정오염원에 대한 오염배출의 규제는 쉬운데 비하여 자동차와 같은 이동오염원에 대한 배출규제는 어렵다는 것이 그 이유로 지적되고 있다.

#### 일산화탄소(CO : Carbon Monoxide)

자동차의 배기가스에서 주로 배출되는 일산화탄소는 인체 내에 흡수되었을 때 혈액이 산소를 운반하는 능력을 감소시키고, 협심증, 시력장애, 신경, 폐기관의 질환을 유발한다([표 4-4] 참조).

일산화탄소는 그 자체가 생태계를 오염시키지는 않지만 간접적으로 지구온난화를 촉진시키고 지구의 오존층을 파괴시킴으로써 지구온난화와 오존층파괴로 인한 심각한 2차적인 환경오염문제를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 지구에서 발생하는 전체 일산화탄소의 배출량 중 약 60~90%는 생태계에서 자연적으로 발생된



표 4-4 대기 중 일산화탄소에 의한 건강위해

| 농 도(ppm) | 노출시간     | 인 체 효 과              |
|----------|----------|----------------------|
| 10~15    | 8시간      | 시간에 대한 판단력 약화        |
| 30       | 8시간      | 시력장애, 신체반응 둔화        |
| 79~85    | 15~18시간  | 운동능력 감소(환자)          |
| 85       | 18시간     | 운동시 다리에 통증(환자)       |
| 85~207   | 18~45시간  | 경계를 요하는 직종에서 일 능력 저하 |
| 155~775  | 33~170시간 | 젊은이의 운동능력의 현격한 저하    |

한국기준 9ppm/8시간, 25ppm/1시간

자료 : 김진철, 1993:62.

다고 한다. 그러나 도시지역에서는 대부분의 일산화탄소가 자동차의 배기가스에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 미국이나 일본, 그리고 독일은 지난 1세기 동안 일산화탄소의 배출을 감소시키는데 성공하였으나 대부분의 국가들은 그렇지 못하였다(Corson, 1990:222).

## 탄화수소(HC : Hydrocarbons)

자동차 배기가스와 산업체에서 생성되는 배출가스에서 주로 배출되는 탄화수소는 인간의 체내에 흡수되었을 때 돌연변이나 기형아의 출산, 암을 유발하는 것으로 알려져 있다. 대기 중의 탄화수소는 동식물이 부패될 때 자연적으로 생성되기도 하지만 인위적으로 배출되는 탄화수소는 거의 절반 이상이 운송수단에 의하여 발생되며 그 중 95%는 자동차 배기가스에서 배출된다고 한다(주광렬, 1992:116). 대기 중에서 탄화수소는 태양광선을 받아 다른 가스들 이산화질소, 산소 등과 화학반응을 일으켜 오존 및 스모그의 질소산화물을 생성시키는데 이렇게 변화된 오염물질들이 또



다시 인간의 건강과 식물에 해를 미친다.

### 이산화탄소(CO<sub>2</sub> : Carbon Dioxide)와 염화불화탄소(CFC : Chlorofluorocarbons)

대부분이 화석연료의 연소시에 발생하는 이산화탄소는 지구의 복사열을 흡수하여 지구온난화의 주된 요인이 되는 대기오염물질이다. 염화불화탄소는 에어로졸, 냉장고, 용매제 등으로 광범위하게 사용되는 합성화학물질로 오존층 파괴의 주된 원인이 되고 지구온난화의 원인이기도 하다.

### 분진(Particulates)

대기 중에 고체나 액체의 상태로 존재하는 분진은 그 크기에 따라 인간에게 미치는 영향을 달리할 수 있다. 크기가 큰 분진은 가시거리를 감소시키는 반면 인간의 건강에는 큰 해를 미치지 않으나 미세한 분진(PM10)은 눈병과 폐질환의 원인이 된다. 먼지, 스프레이, 산불, 연료의 연소 등이 대기 중 분진의 주된 발생원인이 된다. 미국의 경우 분진의 배출량에 대한 규제에 상당한 진전을 보인 것은 사실이나 기술평가국(US Office of Technology Assessment)은 현재 대기 중의 분진과 황산염의 오염으로 매년 미국 사망률의 2%에 해당하는 5만여 명이 사망하고 있는 것으로 평가하고 있다. 이것은 이산화황이 다른 오염물질, 특히 분진과 복합될 때 인체의 건강에 미치는 위해가 급격히 증가하기 때문인 것으로 알려지고 있다. 이산화황과 분진이 복합될 때 인간의 건강에 미치는 해는 [표 4-5]에 나타나 있다.



표 4-5 아황산가스 / 분진 복합체의 인체위해 효과

| 산화황오염도(ppm/일) | 분진 오염도<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 일) | 위 해 효 과             |
|---------------|-------------------------------------------|---------------------|
| 0.17          | 500                                       | 주된초과사망자 증가, 입원환자 증가 |
| 0.08~0.17     | 250                                       | 폐질환자의 증상 악화         |
| 0.04          | 100                                       | 호흡기증상 및 폐환기기능 악화    |
| 0.03          | 80                                        | 시력장애, 인체불편감 증가 및 악화 |
| 0.03          | 100                                       | 만성 폐색성 폐질환의 증가      |

한국기준.  $\text{SO}_2$  0.05ppm/24시간. PM10.  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ /24시간.  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ /연평균

주) 만성폐색성 폐질환 : 폐기종, 만성기관지염, 기관지천식, 기관지확장증 등의 총칭

자료 : 김진렬, 1993:6.

## 납(Lead)

대기 중의 납성분은 인간의 신경계통질환과 콩팥질환을 유발하고 식물의 호흡작용과 광합성 작용, 그리고 박테리아 등 미생물의 분해작용을 억제하여 식물의 성장과 수확에 치명적인 해를 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 납은 생태계에 한번 방출되면 없어지지 않고 영원히 남아 있게 되어 지속적으로 인간과 식물에 축적되면서 해를 미치게 되는 무서운 오염물질이다. 대부분의 납성분은 인간의 인위적인 활동에 의하여 대기 중에 방출되는데 그 중에서도 특히 납성분이 포함된 가솔린의 연소에 의하여 대기 중에 배출되는 양이 대부분을 차지한다. 미국의 경우 1970년 이래 납성분에 대한 엄격한 규제조치로 괄목할 만한 대기 중 납성분의 감소를 이룩하였다. 1978년 유럽공동체는 가솔린 1ℓ당 0.4g의 납성분을 기준으로 설정하였고 1989년에는 이 기준을 1ℓ당 0.013g으로 강화한 바 있다. 일본은 판매되는 가솔린의 99%가 무연휘발유이며 미국은 가솔린을 무연휘발유로 전환한 이래 1970년과



1985년 사이 90% 이상 대기 중 납성분의 감소를 가져오고 있다 (Corson, 1990:224).

### 오존(O<sub>3</sub> : Ozone)

오존은 인위적으로 배출되는 대기오염물질은 아니며 탄화수소와 산화질소가 태양광선에 의하여 산소와 화학반응을 일으키며 생성된다. 대기권에서 오존의 과다한 존재는 인간의 건강과 나무, 농작물, 그리고 건축물에 심각한 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 오존오염은 특히 기종, 천식, 만성 호흡기질환 환자들에게 치명적인 해를 줄 수 있다. 일본과 유럽에서 오존오염은 세계보건기구가 설정한 기준치보다 75%가 높은 편이고 오스트레일리아와 미국은 이 기준의 400%를 초과하고 있다고 한다. 오존이 건강에 미치는 영향은 [표 4-6]과 같다.

표 4-6 오존의 인체에 대한 영향

| 농 도(ppm)  | 노출시간    | 인 체 효 과                  |
|-----------|---------|--------------------------|
| 0.05~0.1  | 즉시      | 불쾌한 냄새지각                 |
| 0.05~0.3  | 30분~6시간 | 운동신경 기능 저하, 학습능력, 효과 감소  |
| 0.08~0.4  | 3~4시간   | 호흡기감염에 잘 걸린다             |
| 0.1~0.3   | 1시간     | 기침, 눈자극, 숨찬 증상, 호흡기질환 악화 |
| 0.1~1.0   | 1시간     | 기도저항 증가                  |
| 0.1~1.0   | 2주일     | 두통, 숨가쁨, 시력장애            |
| 0.25~0.75 | 2시간     | 폐기능 감소                   |
| 0.6~0.8   | 2시간     | 흉통, 기침, 기도자극             |
| 0.94      | 1시간 30분 | 기침, 숨참                   |

한국기준 0.06ppm/8시간, 0.1ppm/1시간.

자료 : 김진렬, 1993:65.



오존은 식물의 섬유질을 손상시키고 광화학작용을 방해하고 가뭄이나 다른 대기오염물질에 대한 저항력을 약화시켜 각종 식물의 재배에 치명적인 손상을 가져다 준다. 농작물에 대한 피해는 심각한 것으로 조사되고 있다. 미국의 농작물피해 평가 프로그램(US National Crop Loss Assessment Program)의 한 조사에 의하면 오존의 피해로 인한 옥수수, 밀, 콩, 땅콩 등의 연간 피해액이 약 19억 불에서 45억 불에 달하고 있으며, 이와 유사한 다른 조사결과에 의하면 연간 농작물의 피해액은 약 54억 불에 달하고 있는 것으로 평가되었다. 오존농도가 50% 감소될 때(0.050ppm에서 0.025ppm으로) 옥수수, 밀, 땅콩, 콩 등의 농작물이 6~30% 증산될 것이며, 오존농도가 40% 감소할 때 미국의 농작물수확은 연간 35억 불어치가 증가될 것으로 조사되고 있다(Corson, 1990:223).

## 스모그

도시지역의 대기오염물질로 스모그는 심각한 환경피해는 물론 인간의 건강을 위협한다. 스모그(Smog)는 여러 종류의 화학물질을 포함하고 있는데 그 중에서도 특히 오존, 스모그 속의 질소산화물 등은 대기 중의 일산화탄소나 질소산화물이 태양광선의 작용에 의하여 화학반응을 일으키며 생성되어 스모그의 주된 구성요소를 이루고 있는 물질들이다. 런던 스모그사건이나 로스엔젤레스 스모그사건 이외에도 근래에는 멕시코시의 스모그사건을 그 심각한 예로 들 수 있다. 인구 1800만 명의 멕시코시에서 어린이들이 겨울철 스모그에 노출되지 않도록 하기 위하여 1988년과 1989년의 크리스마스 휴가기간을 한달 동안 연장한 일이 있었다. 주된 스모그의 원인은 300만 대의 차에서 배출되는 자동차 배기가스였는데 이러한 배기가스가 멕시코시를 오염시키는 대기오염물질의 80%를 차지하고 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 자동

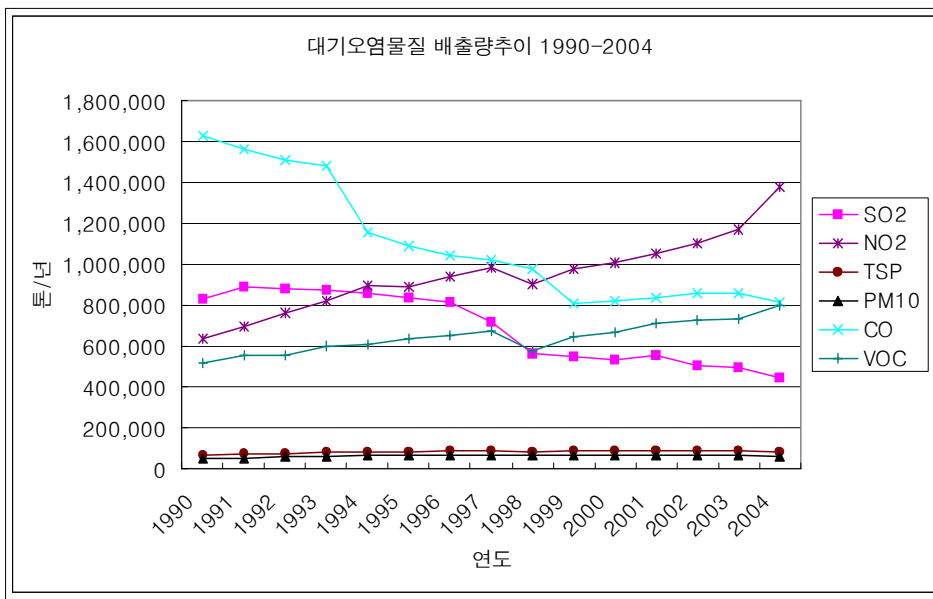


차 배기가스에 대한 배출규제가 도시 스모그의 저감을 위해서는 가장 중요한 대책이 될 수 있으나 자동차의 증가를 억제하지 못하면 이마저 큰 실효를 거두지 못하게 된다. 미국의 경우 지난 20년간 강력한 자동차 배기가스 규제를 실시하였으나 1977년에서 1988년 기간 중 자동차가 약 25% 증가하고 트럭은 약 40%가 증가하여 스모그 저감을 위한 정책적인 대응을 무력화시킨 것으로 알려지고 있다(Carson, 1990:223).

## 한국의 대기오염

우리나라의 대기오염물질 배출량을 보면 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO) 등의 배출량은 지속적으로 감소되고 있는 것으로 나타나고 있으나 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 발암물질로 알려지고 있는 휘발성

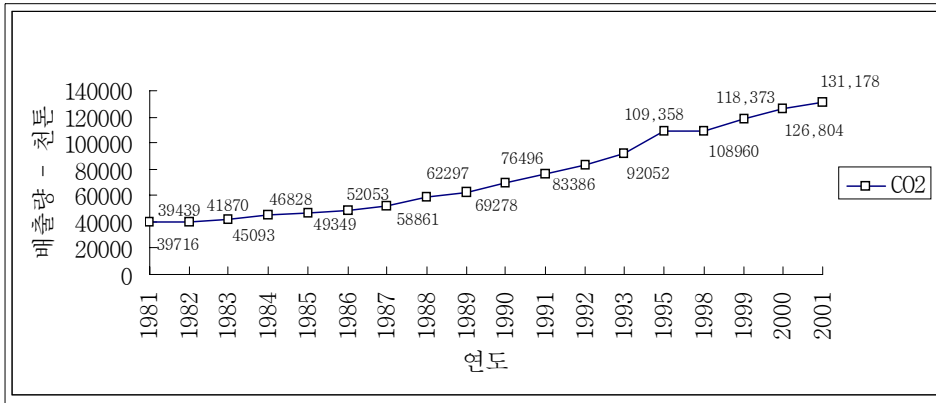
그림 4-4 대기오염물질배출량 추이



자료 : 국립환경과학원, 2007. <http://airemiss.nier.go.kr/>

유기화합물(VOC) 등의 배출량은 증가추세에 있다. 또 온실가스의 주범인 CO<sub>2</sub>의 배출량도 지속적으로 증가하고 있는데 기후변화에 대한 세계적인 대응과 관련하여 체계적인 감소노력이 필요한 부분이다.

그림 4-5 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량 추이



자료 : 통계청, 1996:158, 산업자원부, 2004. .

<표> 주요도시 대기오염도 (단위: ppm)

| 오염물질  | NO <sub>2</sub> |       |       | O <sub>3</sub> |       |       | CO    |      |      |
|-------|-----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|------|------|
| 환경기준  | 0.05/년          |       |       | 0.06/8시간       |       |       | 9/8시간 |      |      |
| 도 시 별 | 2003            | 2004  | 2005  | 2003           | 2004  | 2005  | 2003  | 2004 | 2005 |
| 서울    | 0.038           | 0.037 | 0.034 | 0.014          | 0.014 | 0.017 | 0.6   | 0.6  | 0.6  |
| 부산    | 0.026           | 0.024 | 0.023 | 0.023          | 0.024 | 0.023 | 0.6   | 0.5  | 0.5  |
| 대구    | 0.026           | 0.026 | 0.023 | 0.020          | 0.022 | 0.022 | 0.7   | 0.8  | 0.8  |
| 인천    | 0.030           | 0.028 | 0.025 | 0.019          | 0.020 | 0.022 | 0.7   | 0.7  | 0.6  |
| 광주    | 0.019           | 0.019 | 0.021 | 0.018          | 0.022 | 0.022 | 0.4   | 0.6  | 0.7  |
| 대전    | 0.019           | 0.022 | 0.020 | 0.018          | 0.019 | 0.021 | 0.7   | 0.7  | 0.7  |
| 울산    | 0.016           | 0.022 | 0.024 | 0.021          | 0.022 | 0.022 | 0.6   | 0.5  | 0.5  |

출처: 2006 환경백서. 환경부.

<표> 전국 주요도시 먼지(TSP, PM10) 오염도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| 시·도<br>연도 | 서울     | 부산     | 대구     | 인천     | 광주     | 대전     | 울산      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1991      | 121    | 134    | 109    | 144    | 100    | 68     | 104     |
| 1992      | 97     | 113    | 119    | 103    | 104    | 52     | 102     |
| 1993      | 88     | 96     | 105    | 100    | 75     | 53     | 98      |
| 1994      | 78     | 97     | 93     | 93     | 64     | 58     | 99      |
| 1995      | 85(78) | 93(73) | 73(81) | 93(76) | 63(49) | 69(63) | 106(69) |
| 1996      | 85(72) | 89(76) | 75(87) | 86(67) | 74(51) | 63(63) | 97(51)  |
| 1997      | 72(68) | 84(68) | 62(72) | 86(70) | 74(49) | 67(69) | 84(43)  |
| 1998      | 62(59) | 74(67) | 72(72) | 81(57) | 62(49) | 64(58) | 72(29)  |
| 1999      | 84(66) | 44(65) | - (66) | - (53) | 43(56) | - (55) | 71(29)  |
| 2000      | 99(65) | - (62) | - (63) | - (53) | - (58) | - (51) | 43(52)  |
| 2001      | - (71) | - (60) | - (67) | - (52) | - (57) | - (48) | - (55)  |
| 2002      | - (76) | - (69) | - (71) | - (57) | - (52) | - (53) | - (54)  |
| 2003      | - (69) | - (55) | - (59) | - (61) | - (36) | - (43) | - (40)  |
| 2004      | - (61) | - (60) | - (58) | - (62) | - (46) | - (49) | - (50)  |
| 2005      | - (58) | - (58) | - (55) | - (61) | - (49) | - (48) | - (50)  |

( )은 PM10. 출처: 2006 환경백서, 환경부.

최근 대도시의 대기질 문제는 이산화질소, 오존, 미세먼지 등이 주된 문제로 대두되고 있다. 대기중 이산화황 농도가 지속적으로 감소하고 있는 것과는 달리 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 미세먼지 등의 농도는 오히려 증가하거나 정체상태에 있음을 알 수 있다. 특히 오존(O<sub>3</sub>)은 자동차 증가와 밀접하게 관련되어 있어 교통문제가 도시대기 문제의 핵심이 되고 있으며, 미세먼지 등은 경유차와 중국으로부터의 황사가 주요 원인으로 지목되고 있다.



## 수질오염

돈을 풍족하게 쓰는 사람을 보고 우리는 ‘돈을 물 쓰듯 쓴다’고 한다. 여기서 물은 그만큼 풍부하게 우리의 주변에 존재해 있고 언제 어디서나 원하기만 하면 얼마든지 쓸 수 있는 무한한 자원이라는 의미로 사용되고 있다. 그러나 물은 더 이상 무한한 자원이 아니며, 이제 물을 돈 쓰듯 써야 할 시점이 다가오고 있다. 이 말이 과장된 것이 아니라는 점은 몇몇 통계를 살펴보면 드러난다. 물은 지구표면의 2/3를 차지하고 있는데 이 중 97%가 바닷물로서 나머지 3%가 민물이다. 이 3%의 민물 중에서 77%가 빙산이고 22%가 지하수이며 나머지 1%가 호수, 강, 식물, 동물 등에 분포되어 있다고 한다.

그런데 민물의 분포가 고르지 않다는 데 우선 문제가 있다. 중동, 아프리카, 중미 등 세계의 일부분은 이미 물 부족현상을 겪고 있다. 물 부족은 물의 공급 자체가 부족하기 때문에 발생하거나, 과도한 사용, 비효율적인 사용<sup>1)</sup> 등 여러 원인이 있을 수 있다.

그러나 물은 화석연료나 토양과 달라서 재생가능한 자원이다. 적절히 사용되고 주의 깊게 관리된다면 물은 현재와 미래의 수요를 충족시키면서 지탱가능한 선에서 유지될 수 있다. 그러나 인구의 증가, 에너지와 식량에 대한 급증하는 수요는 질적인 측면과

1) 전 세계적으로 농경을 위한 물의 사용이 전체 물사용량의 약 73%를 차지한다고 하면 21%는 산업용으로, 나머지 6% 정도가 가정용으로 사용된다고 한다. 미국의 경우도 농경을 위한 물의 사용이 전체 물사용량의 약 80%를 차지한다. 그러나 대부분의 농경지에 물은 대단히 비효율적으로 사용된다. 이 물들이 곡식에 전부 흡수되지 않고 많은 부분이 지하로 침수되거나 증발되기 때문이다. 전 세계적으로 볼 때 농경에 사용되는 물의 약 37%만이 유효하다고 한다(Corson, 1990:159).



양적인 측면에서 물에 대한 수요를 급증시키고 있는 것이다. 전 세계적으로 물의 소비는 1950년에서 1980년 사이에 3배가 증가하였다. 이런 추세대로 나간다면 농경과 산업용 물의 수요가 더욱 늘어날 것이지만 2000년 경에는 사람들이 1975년경에 쓸 수 있었던 물의 양의 약 반 정도밖에 사용하지 못할 것이라 한다.

사람이 생존하기 위하여 필요한 물의 양은 하루에 1~2ℓ 정도에 불과하다고 한다. 사실 목이 말라 죽는 사람은 거의 없다. 문제는 마실 물의 양이 부족한 것이 아니라 안심하고 마실 수 있는 안전하고 깨끗한 물의 양이 점차 줄어들고 있다는 데 있다. 개발도상국의 경우 약 50% 정도의 사람들만이 안전한 음용수를 공급받고 있으며, 심지어 미국의 경우에도 1500만 명이 안전하지 못한 물을 마시고 있으며 3000만 명이 위생 처리된 음용수를 마시지 못하고 있는 실정이다. 더구나 전 세계적으로는 매년 천만 명이 오염된 음료수에 의하여 매개된 질병으로 사망한다고 한다(Corson, 1990:156). 문제를 심각하게 하는 것은 전 세계적으로 많은 호수나 강들이 도시로부터 나오는 엄청난 쓰레기, 산업폐기물과 폐수, 도시와 농촌지역에서 흘러나오는 하수들로 오염되고 있다는 사실이다. 뿐만 아니라 이러한 폐기물과 화학물질들은 결국 미래세대가 의존해야 할 지하수를 오염시키게 된다.

따라서 양적으로 풍부하고 적절한 물의 공급을 위해서는 유역에 대한 적절한 보호와 관리, 물의 공급에 소요되는 경비에 상응하는 물값의 책정 등으로 물의 절약과 재활용을 위한 유인책의 마련 등에 정책적인 우선순위가 놓여져야 한다. 그리고 안전한 음용수의 공급을 위한 수질오염의 방지를 위해서는 산업체, 광산, 소각, 전기의 생산과정, 도시와 시골지역에서 방출되는 고형 및 액체 폐기물-특히 유독성 폐기물-또는 수질을 오염시킬 수 있는 대기오염물질의 감소를 촉진시킬 수 있는 프로그램이 우선적으로 필요하며 완전히 제거할 수 없는 폐기물의 안전한 처리를 위한 정책에 우선순위가 주어져야 한다(Corson, 1990:156).



표 4-7 수질오염원과 건강상의 위해

| 유해성 물질                    | 오염원                                                | 건강상의 위해                            |
|---------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|
| 염소용매(chlorinated solvent) | 기계의 유지·관리를 위한 화학적<br>기름 제거, 다른 화학물질의 생산을<br>위한 중간제 | 암                                  |
| 트라이할로메탄                   | 염소 소독된 물에서 화학적<br>반응으로 생성                          | 간장, 신장 장애, 암                       |
| PCBs                      | 납은 생산공정에서 발생하는<br>폐기물에 의하여 발생                      | 간장장애, 암                            |
| 납                         | 노후된 공중 급수 시스템의 상수관,<br>상수관 용접제                     | 신경계통의 문제,<br>학습능력 저하, 기형아<br>출산, 암 |
| 병원성 박테리아와 바이러스            | 정화조로부터의 누출,<br>처리되지 않은 하수                          | 위장병이나 보다 심각한<br>질병의 유발             |

자료 : Corson, 1990:166.

## 수질오염과 건강상의 위해

물 속에 포함되어 있는 유해성 물질은 광범위한 건강상의 위해와 환경오염을 야기한다. 미국에서 시행된 1988년의 한 조사에 의하면 2100종류의 유해성 오염물질이 음용수에 발견되었는데 이 중 97종은 이미 밝혀진 발암물질로 판명되었고, 82종은 유전자 변화를 일으키는 화학성분으로, 28종은 급성 또는 만성 독성을 내포하는 물질로, 그리고 23종은 종양을 유발하는 물질로 판명되었다. 나머지 약 1900여 종의 유해성 물질은 건강상 어떤 해를 미칠지 아직 조사가 되지 않은 상태이다(Corson, 1990:166).



## 수질오염원

수질오염은 우선 지표수의 오염과 지하수의 오염으로 나누어 생각할 수 있으며 오염원은 고정 오염원과 비고정 오염원으로 나누어 살펴볼 수 있다.

## 지표수의 오염

① 고정 오염원 : 산업국가에서 가장 큰 수질오염원은 산업체라 볼 수 있다. 석유와 석유화학제품의 생산, 상업용 화학제품인 살충제와 제초제를 비롯한 각종 화학제품의 생산, 그리고 비료, 철과 비철금속, 종이제품의 생산 등은 모두 중요한 오염원이 된다. 이러한 오염원으로부터 발생하는 오염물질로 중요한 것은 염화유기화합물, 미네랄, 오일, 페놀, 니트로젠, 인, 수은, 납, 카드뮴 등이다. 산업체 이외에 또 다른 중요한 수질오염원은 폐기물처리시설, 농촌과 도시지역의 하수, 산성비, 방사성 폐기물질 등이다.

미국 환경청의 한 조사에 의하면 미국 전체 수로의 약 10%에 해당하는 17,000개의 강이 심각히 오염되어 있으며 250여 곳의 하수처리시설과 627개의 공장 등에서 주기적으로 독극성 폐기물을 수로에 내다 버린다고 한다. 또, 산성비는 미국 북부에 있는 수천 개의 호수를 생물학적으로 죽은 호수로 만들고 있으며, 50여 종이 넘는 살충제에 의하여 32개 주의 지하수가 오염되어 있으며, 적어도 2500여 개의 폐기물 매립장이 정화작업을 요하는 것으로 조사되었다. 수질오염으로 인한 각종 피해액은 미국의 경우 연간 약 200억 불에 달한다고 한다. 수질오염원을 고정 오염원부터 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 산업체로부터의 오염이다. 미국의 경우 유기화학물과 플라스틱 산업체가 가장 큰 유해화학물 오염원이며 그 다음으로는 제철, 제강 및 제련업으로 지목되고 있다. 이외에 중요한 수질오염원으로는 펄프와 제지업, 주물업, 석유정제업 등이다. 화학물질



이나 오일에 의한 수질오염은 영구히 완전한 상태로 회복될 수 없을 정도로 수질을 오염시킨다. 둘째, 유해폐기물에 의한 오염이다. 산업폐기물은 오직 적은 분량만이 재활용되거나 그 독성이 제거된 상태에서 폐기된다. 미국의 경우 2/3에 해당하는 산업폐기물이 주입정(injection well), 채굴장(pits), 그리고 매립지를 통하여 폐기처분된다. 그런데 이 모든 방법이 지하수를 오염시킬 수 있다는 데 문제가 있다. 미국에는 약 77,000여 개의 매립지가 있는데 이 중 약 951개가 시급한 정화작업이 필요하며, 독일의 경우 약 35,000여 개의 매립지가 지하수의 공급원을 오염시킬 수 있는 것으로 조사되고 있다.

② 비고정 오염원 : 이상의 오염원은 고정 오염원에 해당되는 수질오염원이나 이외에도 비고정 오염원으로부터의 오염이 또 문제가 된다. 이러한 비고정 오염원은 한 가지 오염원이 아닌 여러 오염원으로부터 배출되는 폐수나 하수의 오염으로 농촌이나 도시 지역에서 빗물에 씻겨 흘러 내리는 하수와 폐수, 그리고 건설, 광산, 정화조, 매립지 등으로부터의 오염폐수가 방출되는 경우를 말한다. 정확한 오염원을 파악하기가 곤란하여 규제에 어려움이 큰 것이 이러한 비고정 오염원의 특색이라 할 수 있다.

우선, 도시의 도로나 주차장에서 씻겨 내려오는 물에는 철, 납, 카드뮴을 비롯한 수많은 수질오염물질이 포함되어 있다. 도로 위의 눈을 녹이는 데 사용되는 염화칼슘에 포함되어 있는 시나이드(cynide)나 정화조 정화작업에 투입되는 물질에 첨가되어 있는 트라이클로로에틸렌(trichloroethylene)은 모두 수질을 오염시킨다. 특히 농촌지역으로부터의 축산 및 농업폐수는 심각한 비고정 수질 오염원이 되고 있다. 비료, 제초제, 살충제는 물론이며 가축에서 발생하는 가축폐수의 문제도 심각하다. 미국의 경우 가축으로부터의 오물은 인간이 생산하는 오물의 5배를 능가하며 산업체로부터 발생하는 유기폐기물의 2배를 능가한다고 한다(Corson, 1990:164). 이러한 비고정 오염원으로부터의 수질오염은 미국의



경우 환경기준에 미달하는 전체 폐수 중 2/3를 차지하고 있다고 한다(Rosenbaum, 1991:40).

수질은 대기오염에 의해서도 오염된다. 화석연료의 연소과정에서 발생하는 황산화물이나 질소산화물 같은 각종 대기오염물질은 대기 중에 머물러 있다가 산성비로 되어 지표수는 물론 지하수도 오염시키게 된다. 후에 상술하겠으나 이 산성비는 호수, 강, 지하수 등을 산성화시키며 물 속의 고기를 죽이거나 오염시켜 이를 먹는 다른 동물이나 인간에 피해를 주는가 하면, 삼림을 황폐화시킨다. 더구나 이 산성비는 흙 속의 알루미늄, 카드뮴, 수은 등 독성물질을 용해시켜 호수를 오염시키거나 음용수의 수원을 오염시키며 귀중한 조각품이나 건물까지 부식시킨다. 그러나 대기오염으로 인한 수질오염은 황산화물이나 질소산화물 등의 산성비에 의한 것만은 아니라는 데 문제의 심각성이 있다. 예를 들어, 유해화학물질인 DDT, PCBs, 다이옥신 등의 대기 중에 포함된 오염물질이 대기 중에 머물면서 이동하다가 결국은 지표수나 지하수로 비를 통하여 들어가게 되는 것이다. 물론 이러한 오염물질은 다시 사람 속으로 들어가게 된다.

#### 지하수의 오염

지하수는 우선 그 양에서 지표수를 압도하고 있다. 지구상에 존재하는 민물 중 77%가 빙산의 형태로 존재하고 있으며 22%가 지하수로, 그리고 나머지 1%가 지표수로 존재하고 있다는 사실에서도 이러한 점은 금방 이해될 수 있다. 게다가 지하수는 그 사용량에 있어서도 지표수의 사용량을 압도하고 있다. 미국의 경우 국민 전체의 50%, 농촌인구의 95%가 마실 물을 지하수에 의존하고 있으며 50%의 농업용수, 25%의 공업용수를 지하수에 의존하고 있다는 사실에서도 우리는 지하수의 중요성을 짐작할 수 있다(Rosenbaum, 1991:203).

그런데 지하수는 1년에 겨우 3~30m(10~100feet) 정도밖에 호



르지 못하기 때문에 자정능력이 대단히 약하여 일단 오염이 되면 원상태로 회복되기는 거의 불가능하다. 또 지나친 지하수의 사용으로 일단 지하수가 고갈되면 다시 회복이 불가능하게 된다. 뿐만 아니라 지하수의 고갈은 지반침하의 원인이 되며 특히 연안지역에서 지하수의 고갈은 바닷물을 유입시켜 영원히 오염된 지하수로 남게 된다고 한다(Corson, 1990:165). 지하수의 오염원은 유해폐기물 처리장, 정화 시스템, 저수지, 매립지, 지하저장 탱크, 살충제와 비료 등 지표수를 오염시키는 거의 대부분의 오염물질들이 결국은 지하수를 오염시킨다고 보면 정확하다. 그런데 지하수는 우선 눈에 보이지 않기 때문에 지하수의 오염은 대중의 관심을 잘 끌지 못하였고 이에 따라 정부의 관심과 재정지원을 크게 받지 못하였다는 문제를 지니고 있다(Rosenbaum, 1991:206).

즉, 지표수에 비하여 훨씬 더 중요한 수자원이며 한번 오염되면 회복이 거의 불가능한 데도 불구하고 잘 보호되지 못할 가능성이 매우 높은 수자원이라는 데 문제가 있는 것이다.

## 한국의 수질오염

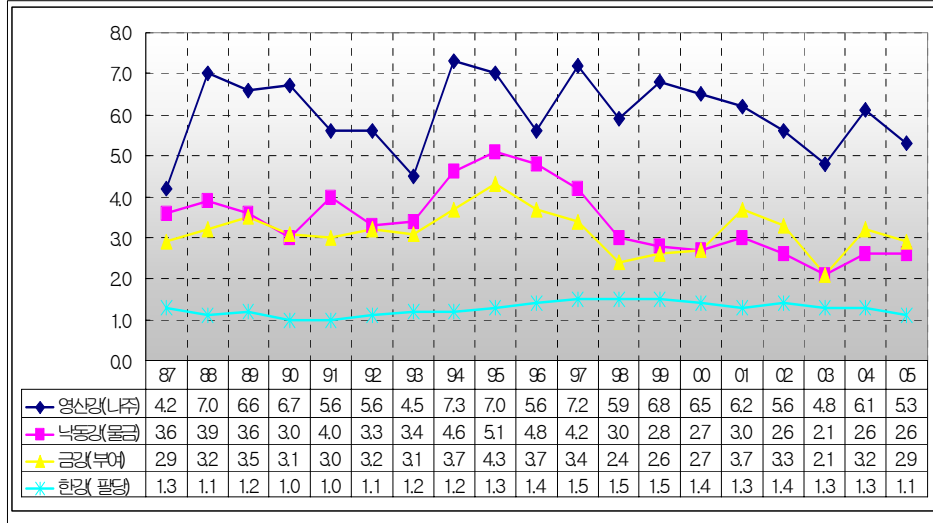
지표수의 상태는 우리나라 주요하천의 오염도 추이 그림에서 알 수 있듯이 1997년을 정점으로 오염의 정도가 개선되어 가고 있다. 인구증가를 감안하면 적지 않은 성과라 할 수 있다. 수도권 상수원인 팔당지역은 환경부가 1등급 수질을 목표로 하고 있는데 2005년 현재 BOD 1.1로 목표 수질에 근접하고 있다. 노량진 지역은 2등급을 목표로 하고 있는 지역이지만 아직 3등급 수질에 머물고 있다.

낙동강 물금지역은 2급수를 목표로 하고 있는데 BOD 2.6으로 목표수질을 1998년 이후 대체로 달성하고 있다. 영산강 나주지역의 수질오염은 4대강 중 가장 심한 편인데 환경부가 2급수를 그



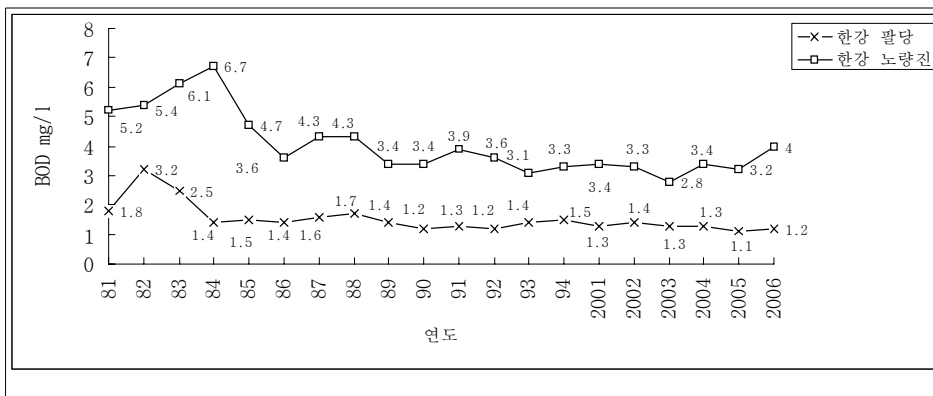
목표로 하고 있으나 2005년 BOD 5.3으로 3급수에 머물고 있다. 그러나 영산강 나주지역의 수질도 1997년 이후 대체로 개선되어 가는 모습을 보이고 있다.

그림 4-8 한강, 금강, 낙동강, 영산강 BOD 오염도 추이



자료 : 2006 환경백서.

그림 4-7 한강 BOD 오염도 추이(팔당, 노량진 지점)



자료 : 통계청, 『한국의 환경통계평가보고서』, 1996. 11. p. 91., 서울시, “한강수질현황”. 서울시홈페이지.

[http://www.seoul.go.kr/info/organ/subhomepage/env/statistics/11367\\_index.html](http://www.seoul.go.kr/info/organ/subhomepage/env/statistics/11367_index.html)



전국 하천 194개 구간의 수질환경기준달성률(달성구간수/목표 설정구간수)은 1991년에 12.8%이던 것이 2002년에는 37.6%, 2003년도에는 49%로 매년 향상되었으며 2004년도에는 36.6%로 감소되다가 2005년도에 42.3%로 향상되었다. 연도별 강수량에 따라 수질환경기준 달성률에 다소 차이는 있으나 전체적으로 개선되고 있음을 알 수 있다.

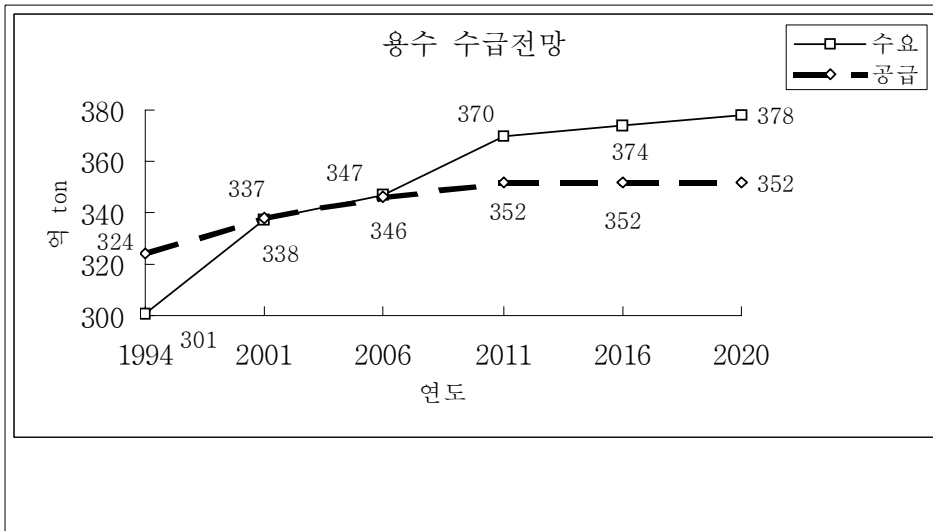
지천의 오염상태는 1980년대에는 심각하였으나 1990년대 이후 환경기초시설의 증설로 개선되고 있다. 예를 들면 한강의 안양천, 굴포천은 1988년 목표 수질등급의 기준치를 10배 이상 초과하였으며 낙동강 지류인 금호강의 경우 1984년 목표 수질기준치를 34배 초과한 적도 있다. 안성천의 지류인 오산천의 경우도 1988년 149.7mg/l의 오염치를 보여 목표 수질기준치를 25배 초과하였다. 1994년 까지도 한강의 탄천, 굴포천, 영산강의 광주천, 안성천의 오산천은 목표 수질기준치의 2~4배를 초과하고 있는 정도였다(통계청, 1994:92). 그러나 1990년대부터 환경기초시설의 투자가 이루어지면서 오염의 주요인이 되었던 낙동강의 주요 오염지천인 금호강, 한강의 주요 오염지천인 안양천 및 탄천, 금강의 주요 오염지천인 무심천 등은 꾸준히 개선되고 있다.

한편 우리나라 지하수의 부존량은 1조 3240억 m<sup>3</sup>으로 추정되고 있는데 이는 연평균 총 강수량의 약 10배, 하천으로 유출되는 유량의 약 19배에 달하는 방대한 규모이다. 그러나 지하수에 대한 통계가 1995년 건설교통부에 의하여 처음 발간될 정도로 지하수 관리에 소홀하여 지하수 오염의 정도는 상당히 진척된 것으로 보인다. 1993년도 통계청 자료에 따르면 서울 시내 우물의 55% 이상이 식수로 부적합한 것으로 판정되었고 전국 약수터의 43%가 대장균과 철분 등에 과다하게 오염되어 식용수로 부적합한 것으



로 판명되고 있다(통계청, 1993:63).

그림 4-9 용수 수급전망



자료 : 건설교통부, 2003 건설교통통계연보.

2005년도 지하수 수질조사를 실시한 결과 총 조사시료 4,760개 (2,462개 측정지점을 연 2회 조사)중 4.8%인 230개가 수질기준을 초과하였다. 측정 항목별로는 일반세균 32%, 질산성 질소(NO3-N) 24%, 염소이온 13% 등의 순으로 수질기준을 초과하였다. 일반세균의 초과는 지하수 관정의 부실관리가 주원인이며, 질산성 질소(NO3-N)의 경우에는 생활오수와 폐기물 침출수 등의 지하침투로 기준초과의 원인이다.

우리나라의 수자원은 풍부하지 않아서 2006년경 부터는 물에 대한 각종 수요가 공급량을 초과하기 시작하고 2020년경에는 연간 약 26억 톤의 공급부족이 예상되고 있어 물부족 현상을 심각하게 겪을 것으로 예상하고 있다.



## 폐기물문제

폐기물이란 산업, 상업, 광업, 농업, 그리고 공동체 및 지역생활에서 발생하는 모든 고체 및 액체의 쓰레기, 침전물, 찌꺼기, 배설물 등을 말한다. 폐기물은 폐기물의 성질에 따라 일반폐기물과 유해폐기물로 구분할 수 있으며 발생원에 따라서 도시폐기물, 산업폐기물, 농촌폐기물로 분류하기도 한다. 폐기물문제의 특성은 폐기물의 처리가 재활용, 소각, 매립 등 어떠한 방법을 쓰건 환경에 어느 정도까지는 악영향을 미치게 마련이며, 버릴 곳이 없다는 직접적인 문제는 제외하고서라도 결국은 대기 및 수질의 오염문제를 가속화시켜 인간에게 건강상의 위해를 끼친다는 것이다.

우선, 유해폐기물 문제는 유해폐기물 자체의 복잡성, 유해성 정도의 판단에 대한 과학적인 불확실성, 정부 규제에 대한 기업의 반대, 그리고 주민들의 폐기물 처리 장소에 대한 반대 등으로 여러 가지 환경오염문제 중 가장 다루기 힘든 문제로 지적되고 있다. 그 일례로 미국의 슈퍼펀드법은 유해폐기물 처리장의 정화작업을 위하여 16억 불의 돈을 배정하였으나 1980년에서 1990년 사이 정화작업이 완료된 곳은 전국 폐기물처리장 우선순위목록에 열거된 1100여 곳 중 34%에 불과했다고 한다. 공식적으로 파악되지 않은 폐기된 폐기물처리장의 수를 모두 합하여 미국 전역에 약 3만여 개의 폐기된 폐기물처리장이 있는 것으로 추정하고 있다는 점을 상기할 때, 결국 막대한 돈을 들인 10여 년 동안의 노력이 고작 전국 폐기물처리장 중 1%에 대한 정화작업으로 그쳤다는 결론을 얻게 된다(Vig and Kraft, 1990:22).



표 4-8 유해물질과 건강상의 위해

| 화 학 물 질                    | 원 천                                                   | 건강상의 위해                             |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 살충제 : DDT<br>BHC           | 살충제<br>살충제                                            | 암, 간장장애, 태아 이상, 새의 알에 유해<br>암, 태 이상 |
| 석유화학물 : 벤젠                 | 솔벤트, 제약 및 세제 생산                                       | 두통, 메스꺼움, 근육조정 이상, 백혈병,<br>골수 이상    |
| 비닐클로라이드                    | 플라스틱 생산                                               | 폐암, 간암, 중추신경계통 억압, 태아에 유해           |
| 기타 유기화학물 :<br>다이옥신<br>PCBs | 제조제, 폐기물 소각<br>형광등, 전기제품, 전력선절연<br>유(Hydraulic fluid) | 암, 기형아 출산, 피부질환<br>피부질환, 위장장애, 암유발  |
| 중금속 : 납                    | 페인트, 가솔린                                              | 두통, 신경마비, 불안, 어린이 정신장애, 간,<br>신장장애  |
| 카드뮴                        | 아연공정, 배터리,<br>비료생산공정                                  | 동물암, 간장 및 신장장애                      |

자료 : Corson, 1990 : 247.

유해화학물질의 문제는 더욱 심각하다. 미국의 독성물질규제법 (Toxic Substances Control Act of 1976)에 따르면 미국 환경청은 미국에서 사용되고 있는 화학물질 중 검사해야 할 화학물질이 약 13,000여 종에 달한다고 한다. 그러나 이러한 엄청난 양의 화학물질의 유해성을 검사하기 위해서는 엄청난 인력과 시간이 소요된다. 또 제품의 생산에 투입되는 화학물질의 성분은 기업이 제품을 생산하는 일종의 비밀사항이므로 그 정보를 획득하기가 대단히 곤란하다. 이런 연유로 미국에서 사용되고 있는 화학물질 중 화장품에 쓰이는 화학물질의 75%, 식품첨가제의 화학물질 중 80%, 살충제에 포함되는 화학물질 중의 64%에 대해서는 조사할 자료조차 없는 상태라고 한다(Vig and Kraft, 1990:46). 설사 테스트 결과 해로운 물질이 발견되었다 하더라도 작업장에서 이러한 물질의 존재 여부와 그 물질에 노출되는 사람들의 건강에 미치는 영향을 규명하기란 쉬운 일이 아니다. 더구나 유해성이 판정된다

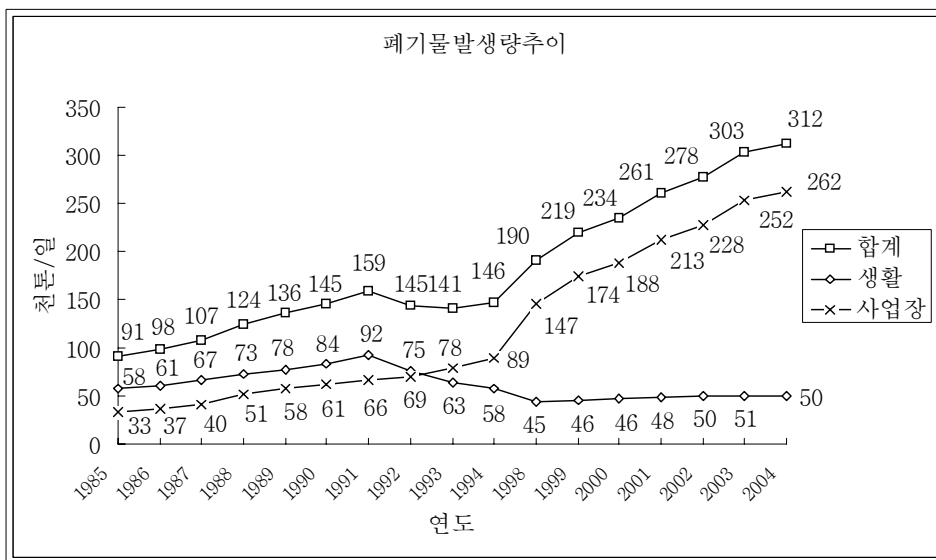


하더라도 그 관정에 대해서는 항상 과학적인 불확실성이 개재하기 때문에 기업으로부터 강한 저항에 부딪치게 될 뿐 아니라 그 강제에도 엄청난 비용과 인력이 소요되게 된다는 문제를 가지고 있는 것이다.

생활쓰레기문제의 심각성은 더 이상의 언급이 필요 없을 정도이다. 생활쓰레기는 미국에서 생산되는 전체 쓰레기 중 약 3% 밖에 차지하고 있지 않으나 다른 쓰레기와 달라서 그 처리가 매우 곤란하다는 특징을 갖고 있다. 미국은 매년 16억 개의 펜, 26억 개의 면도날, 160억 개의 일회용 기저귀가 혼합되어 버려지고 있으며 미국인이 쓰는 10달러 중 1달러는 포장비로 쓰인다고 한다.

1988년 미국의 생활쓰레기 125만 톤이 매립비가 싼 영국으로 운반되다가 유럽환경단체의 반대로 다시 미국으로 되돌아온 사건은 생활쓰레기문제의 심각성을 단적으로 반영한 사건이었다. 생활쓰레기의 약 80%가 매립되고, 10%는 소각되며 10%가 재활용

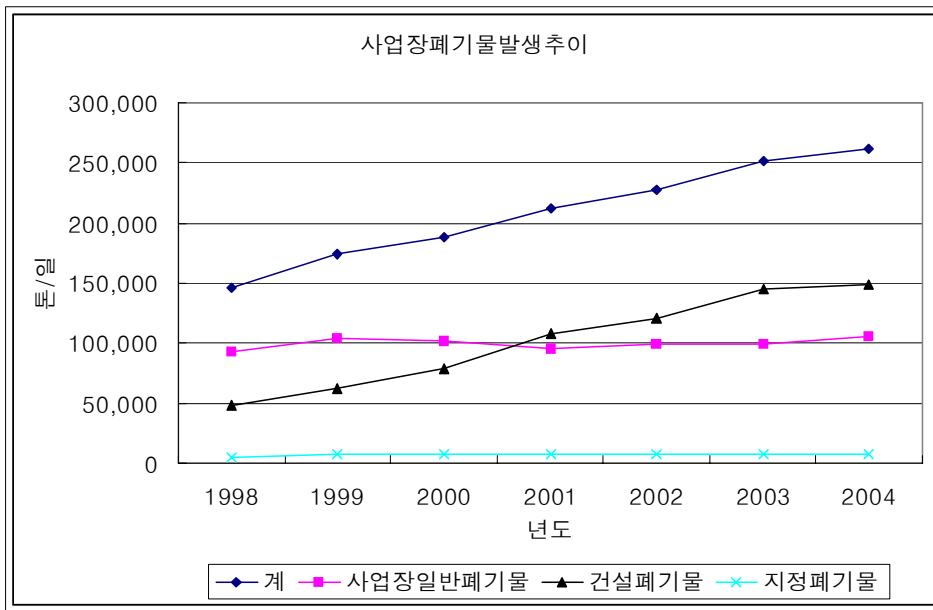
그림 4-10 우리나라 폐기물발생추이



자료 : 통계청, 1996 : 209., 환경부, 2006 환경백서.



그림 4-11 사업장폐기물의 발생 추이



자료 : 환경부, 「2006 환경백서」.

되는데, 대부분의 비중을 차지하고 있는 매립에 의한 방식이 이제는 매립지가 없어지는 문제에 직면하고 있다.

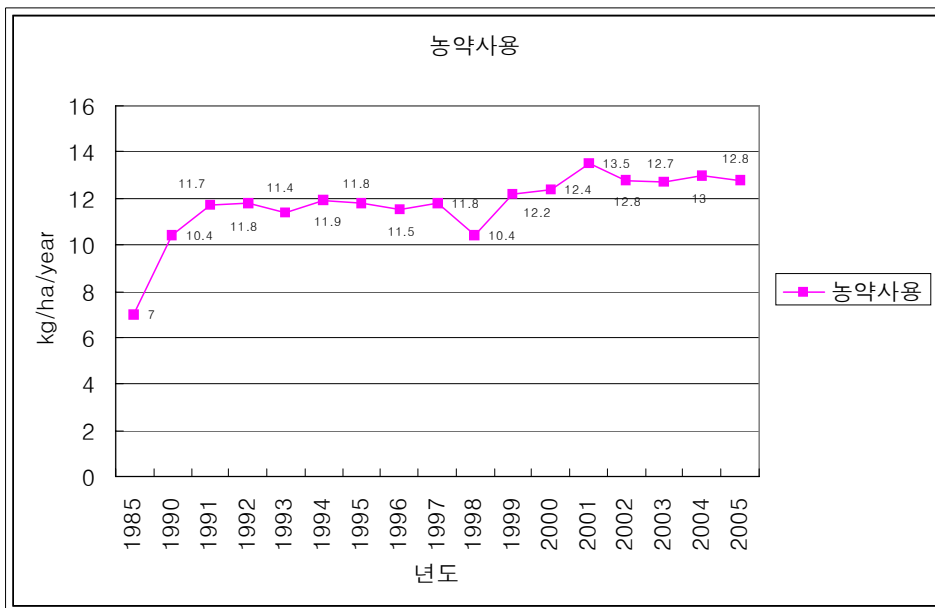
우리나라에서는 폐기물을 발생원별로 생활폐기물과 사업장폐기물로 크게 분류한다. 현행 폐기물관리법에서는 생활폐기물은 사업장 이외의 폐기물로 정의하며 사업장폐기물은 각종 배출시설을 설치, 운영하는 사업장, 기타 대통령령이 정하는 사업장에서 발생되는 폐기물을 말한다. 그런데 사업장 폐기물 중 폐유, 폐산 등 주위환경에 손상을 줄 수 있거나, 인체조직의 적출물과 실험동물의 사체 등 의료기관이나 시험·검사기관 등에서 배출되는 인체에 위해를 줄 수 있는 폐기물 등은 지정폐기물로 분류하고 있다. 사업장폐기물 중 지정폐기물을 제외한 폐기물은 사업장일반폐기물과 건설폐기물로 분류되고 있다. 우리나라 폐기물의 발생 추이는



[그림 4-10]과 같다. 발생원별로 보면 1992년까지는 생활폐기물이 사업장폐기물보다 그 비중이 높았으나 1993년 이후 사업장폐기물이 더 많아지고 있다. 생활폐기물이 1992년부터 증가율이 둔화되고 안정화 경향을 보이는 것과는 달리 사업장폐기물은 지속적인 증가추세를 보이고 있다.

[그림 4-11]은 사업장폐기물의 발생추이를 나타내고 있는데 건설폐기물의 증가가 사업장폐기물 증가세를 주도하고 있는 것으로 나타나고 있다. 지정폐기물은 1990년대 초반에는 연평균 19% 정도의 높은 증가 추세를 보이고 있었으나 2000년을 전후하여 발

그림 4-12 ha당 농약사용량



자료 : 통계청, 1996:206., 농림부, 2006 농림통계연보.

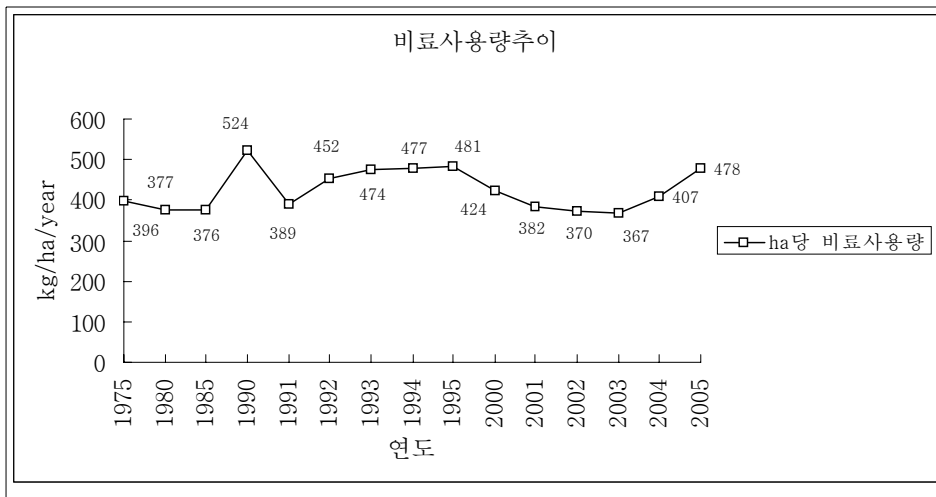
생량이 안정화 추세에 들어가고 있고 사업장 일반폐기물도 2000년을 전후하여 증가세가 감소하는 모습을 보여주고 있다.

그리고 단위면적당 농약과 비료의 사용이 증가세를 보이고 있



는 것도 주목할 필요가 있다. 농약의 과다한 사용은 천적을 멸종시키고 토양오염뿐 아니라 수질오염, 식품오염을 초래하여 인간과 동식물에 중대한 영향을 주기 때문이다. 또 비료에는 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 코발트(Co), 구리(Cu), 납(Pb), 니켈(Ni), 셀렌(Se), 아연(Zn) 등과 같은 불순물이 많아 식물이 이용하지 못하는 광물질을 축적시켜 1차 생산이 억제되는 불모지로 토양을 변모시킨다. 더구나 비료의 잔류성분은 토양을 산성토로 변화시키고 호기성 토양미생물을 감소시켜 토양을 황폐화시킨다. 단위면적당 농약과 비료의 사용이 지속적인 증가추세를 나타내고 있다는 것은 토양의 질이 보다 저하되어왔을 가능성이 많음을 어렵지 않게 추론하게 한다.

그림 4-13 ha당 비료사용량



자료 : 통계청, 1996:206., 농림부, 2006 농림통계연보 (시판분포함, 성분별총합)

이상에서 대기, 수질오염, 폐기물 문제를 각각 살펴보았다. 특히 대기오염에서는 개별 오염물질과 개개의 오염물질이 미치는 인간 건강상의 위해에 대해서도 살펴보았다. 이러한 개별 오염물



질에 의한 지역적인 대기오염현상에 더하여 1980년대 말부터는 지역적인 경계를 초월하는 전 지구적인 대기오염현상에 직면하기 시작한다. 브라질의 열대림을 태우면서 발생한 연기가 젓트기류를 타고 북극으로 날아가서 북극 오존층을 파괴하거나, 미국 오하이오강 계곡의 공장지대에서 발생한 황산화물질을 포함한 오염물질이 온타리오호에 산성비를 내리게 하고 이 중금속에 오염된 온타리오호의 고기를 캐나다 사람들이 먹는 일, 중국에서 발생하는 황사가 매년 한반도로 불어오는 일 등, 생태계 전체에 복합적으로 연결되어 있는 전 지구적인 차원에서의 환경문제들이 더 이상 해결을 지체할 수 없는 문제로 부각되기 시작한 것이다. 주된 관심의 대상이 되고 있는 오존층파괴, 산성비, 지구온난화 문제들을 살펴보기로 하자.

### 오존층파괴문제

1982년 영국과학자에 의해 처음으로 남극 오존층에 구멍이 있다는 사실이 발견된 이후 1988년 미국 우주항공국(NASA)이 1969 ~ 1986년 사이에 3%의 오존층이 파괴되었다는 연구결과보고서를 내면서 오존층의 파괴는 세인의 관심을 끌기 시작하였다. 지표상의 대기권에서 오존은 대기오염물질로 작용하지만 성층권에서는 태양광선 중 인체에 해로운 자외선을 차단시켜 주는 필터의 역할을 한다. 따라서 성층권의 오존층파괴는 자외선을 대기권으로 통과시켜 피부암과 눈병의 원인이 되고 바다의 플랑크톤을 감소시켜 생태계의 균형을 근본적으로 파괴한다고 주장되어 왔다.<sup>2)</sup>



표 4-9 자외선의 건강상의 위해 효과

|                  |                                                 |
|------------------|-------------------------------------------------|
| 급 성              | 태양화상, 피부비후                                      |
| 만 성              | 피부노화, 피부악화                                      |
| 발 암 성            | 비흑색종양피부암, 악성흑색종양                                |
| 눈 질 병            | 백내장, 망막손상, 각막종양, 급성 광각화증(설맹 : snowblindness)    |
| 면역체계의 악화         | 감염에 의한 피부질환                                     |
| 자외선에 의하여 악화되는 상황 | 태양빛이 유발하는 각종 암에 대한 민감도 증가, 영양부족, 감염성 질환, 자가면역질환 |

자료 : Corson, 1990:230.

주된 원인은 냉각제와 컴퓨터 서킷의 용해제 등으로 널리 사용되는 염화불화탄소(CFC)로 대기 중에서 반응을 일으키지 않아 대단히 안정된 물질로서 인간에 해가 없으나 대기 중에서 계속 상승하여 성층권에서 태양광선과 반응하면서 폭발하여 오존층을 파괴하는 것으로 알려져 있다. 미국 환경청의 연구결과에 의하면 오존층의 파괴와 이로 인한 자외선의 증가로 앞으로 1세기 이내에 약 80만 명이 암으로 사망할 것이며 눈병환자가 증가할 것이라고 한다. 또, 전 세계적으로 피부암으로 매년 10만 명이 추가로 사망할 것이며 2075년까지 미국에서 300~1500만 명의 피부암환자가 발생할 것으로 예상하였다. 생태계에 미치는 영향 또한 심각하여 자외선의 증가는 동식물의 세포조직을 파괴하고 미생물을 죽이고, 식물의 광합성작용을 억제하고, 씨앗에 해를 입히고 농작물의 수확을 감소시키는 것으로 알려지고 있다(Rosenbaum, 1991:59; Corson, 1990:228).

- 2) 자외선의 증가는 바다의 플랑크톤을 감소시킬 뿐 아니라 약 20% 정도 증가된 자외선에 10일 이상 노출될 때 수심 약 9~10m에 있는 어린 멸치류가 멸종된다고 한다. 플랑크톤의 감소와 더불어 이는 곧 생태계의 먹이사슬을 근본적으로 파괴시키는 것을 의미하는 것이다.



## 지구온난화문제

과학자들은 석탄과 석유 등 화석연료의 연소로 발생하는 이산화탄소의 증가가 지구의 복사열을 흡수하여 온실효과를 가속시키고 있다고 주장해 왔다. 즉, 온실효과로 인한 지구기후의 변화는 대기온도를 상승시켜 기상이변을 촉진할 뿐 아니라 극지방의 빙산을 녹여 바다수위를 상승시키고 그 결과 많은 해변의 육지들이 물에 잠길 것이라는 주장이었다. 지구온난화는 이산화탄소가 그 주된 원인으로 추정되고 있기는 하지만 다른 대기오염물질들도 지구온난화를 촉진하는 온실가스로 지목되고 있다. 온실가스의 종류들과 지구온난화에 대한 이들의 기여도는 [표 4-10]에 나타나 있다.

기후의 변화는 삼림, 농작물, 야생동물에도 심각한 영향을 미친다. 많은 식물들은 특정한 기후대에 서식하고 있으며 기후의 변화에 대단히 민감하여 평균 1°의 기후상승은 식물의 분포지역을 200km 이상 이동시킨다고 한다. 마찬가지로 기후의 변화에 따라 이동하는 동물군들도 더 이상 적합한 기후대를 찾을 수 없게 되는 결과에 직면하게 된다는 것이다. 뿐만 아니라 농작물의 수확에도 큰 영향을 미쳐 대기온도가 2°상승하고 강수량이 10% 감소하면 미국의 옥수수 수확은 20% 감소된다고 한다.

그러나 지구온난화에 대한 대응은 국제적인 협조체계 구축의 곤란, 막대한 비용부담의 문제, 그리고 불충분한 과학적 증거와 반론 등으로 정치적인 지지를 확보하는 데 성공적이지 못하였다. 우선, 지구온난화의 주원인으로 간주되는 이산화탄소의 발생을



표 4-10 지구온실가스의 종류와 지구온난화 기여도

| 온 실 가 스                            | 발 생 원                                 | 지구온난화 기여도(%) |
|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| 이산화탄소                              | 화석연료의 연소, 산림의 개간                      | 50           |
| CFC(염화불화탄소),<br>할로젠화탄소(halocarbon) | 냉장, 용해제, 단열제, 스티로폼, 에어로졸, 기타 산업 및 상업용 | 20           |
| 메탄                                 | 논, 늪지대, 습지, 소나 가축, 화석연료, 산림소각, 메립지    | 16           |
| 대류층의 오존*                           | 화석연료                                  | 8            |
| 질소산화화물                             | 화석연료, 비료, 토양, 나무와 농작물의 소각             | 6            |

\* tropospheric ozone : 대류권(지구표면에서 약 10~18km)의 오존

자료 : Corson, 1990:231.

억제하기 위해서는 개별국가들의 지역적인 접근으로는 효과가 없으며 국제적인 협력과 조정이 불가피한 것이었다. 그러나 개도국들은 선진국이 이산화탄소 발생의 주범이었으며 따라서 이에 대한 경제적 부담을 저야 한다고 주장하였다. 특히 중국, 인도, 브라질 등은 환경기준의 국제적 강화를 통하여 개도국의 경제적 약세를 지속시키려는 미국의 고의적인 의도로 보면서 국제정치 차원에서의 문제를 제기하기도 하였다(Rosenbaum, 1991:54). 둘째, 이산화탄소의 저감을 위한 비용은 주로 화석연료를 사용하는 전기생산자와 산업체들의 막대한 설비부담으로 귀착되어 산업체의 심각한 저항을 유발하고 궁극적으로는 전기료의 인상을 가져오게 되어 일반 소비자들의 저항도 유발할 것이라는 점이다. 셋째, 지구온난화의 원인이 이산화탄소 때문이라는 주장의 과학적 근거에 대한 비판이 강하게 제기되고 있어 과학자들 사이에도 지구온난화의 원인에 대한 의견의 일치를 보고 있지 못하다는 점이다. 즉, 지구온난화현상이 이산화탄소의 증가에 의한 것이라면 이산화탄소의 증가에 따라 지구온난화현상이 가속화되었다는 증거가 있어



야 하나 이러한 증거가 없으며, 다른 가능성, 즉 태양의 활동변화, 항성의 화산활동으로 인한 것일 수도 있다는 것이다.

## 산성비문제

선진공업국에서 가장 많은 논란의 대상이 되고 있는 오염현상의 하나가 바로 산성비문제이다. 발전공장, 공장 보일러, 광물의 용해작업, 그리고 자동차의 엔진 등에서 화석연료를 연소할 때 발생하는 이산화황, 질소산화물 등은 대기 중에서 수증기와 결합하면서 황산이나 질산 등으로 변화하게 된다. 이러한 황산이나 질산들이 바로 산성비의 주요한 구성성분이 된다. 산성비의 피해는 1970년대 초 스웨덴의 호수가 산성화되면서 제기되기 시작하였다. 미국에서는 1988년도 메인주와 조지아주를 걸쳐 있는 아팔래치안 산맥의 나무들이 대량으로 고사하고, 뉴욕 아디론덱 산맥의 호수 중 1/4은 산성화로 인하여 고기가 살 수 없게 되었다는 등의 증거들이 축적되면서 심각한 환경문제로 인식되기 시작하였다 (Rosenbaum, 1991:56). 미국과 유럽의 오염이 심한 공장지대에서는 pH 4 정도의 산성비가 내리고, 1987년 노르웨이에서는 레몬주스의 산도와 같은 pH 2의 강산성 산성비가 내리고 있다고 보고되었다. 미국의 펜실바니아에서는 식초와 비슷한 산도의 산성비가 내렸으며, 서부 버지니아주에서는 밧데리에 사용되는 산성과 같은 강도의 pH 1의 산성비가 내린 것으로 보고된 적이 있다 (Corson, 1990:224). 산성비로 인한 경제적인 피해는 엄청나다. 그러나 피해의 대상이 건축물과 관련자재, 농작물, 호수, 어패류, 인간과 동물의 건강, 관광 등 워낙 광범위하여 정확한 평가를 내리



기는 곤란하다. 그러나 OECD의 24개국은 금속, 빌딩, 그림 등에 대한 피해만 해도 연 200억 불이 넘는 것으로 추정하고 있으며, 유럽공동체는 매년 10억 불에 상당하는 농작물피해를, 그리고 서독은 매년 14억 불 상당의 농수확물피해를 보고 있다고 한다. 미국 역시 삼림, 농작물, 수생태계에 대한 피해가 매년 50억 불에 이르는 것으로 추정하고 있다(Corson, 1990:226). 산성비로 인한 피해를 감소시키기 위하여 알칼리성 물질을 산성화된 토양에 뿌려 중화시키려는 노력도 하였으나 이러한 노력들은 어디까지나 임시방편일 따름이며 근본적인 대책은 황산화물과 질소산화물의 배출을 억제하는 것이다.

한가지 흥미로운 사실은 산성비문제는 초기의 대기오염 감소를 위한 정책으로 인하여 더욱 널리 세계적인 문제로 확대되었다는 것이다. 즉, 지역적인 대기오염의 감소를 위하여 공장의 굴뚝을 높이 설치하도록 하였는데 이 때문에 배출된 오염물질이 세계적으로 확산되면서 산성비문제를 악화시켰다는 것이다. 이산화황 같은 대기오염물질은 수일 내에 2000km 이상을 이동하는 것으로 알려져 있다. 국경을 넘어 이동하는 대기오염물질의 성격상 산성비문제는 자연히 국제적인 분쟁으로도 비화된다. 미국 공장지대의 오염물질이 캐나다에 산성비를 내리게 한다던가 스웨덴의 산성비를 내리게 하는 오염물질 80% 이상, 노르웨이는 90% 이상이 인근 국가로부터의 오염물질 이동에 의한 것이라는 주장이 바로 그러한 국가간 분쟁의 원인이 되고 있는 것이다(Corson, 1990: 226). 그러나 산성비에 대한 각국의 대응형태는 정도의 차이는 있겠으나 미온적인 것이었다. 예를 들어, 미국 레이건 행정부는 산성비의 원인과 피해에 대한 불충분한 과학적 근거를 이유로 지속적인 연구를 주장하면서 신속한 대응을 회피하고 있었고 의회는 산성비의 규제를 위한 입법에 상당한 난관에 봉착하고 있었다. 기본적인 원인은 산성비로 피해를 입은 미국 동북부의 주와 원인 제공자인 오하이오 강변의 주들간에 비용을 어떻게 분담시키며



산성비 절감대책을 위한 비용을 어떻게 분담할 것인지 그 방법을 찾지 못하여 합의를 보지 못하고 있었기 때문이었다. 산성비의 책임소재 파악과 비용분담의 문제는 캐나다와 미국간의 산성비문제에서도 유사하게 나타나는 문제점이었다. 즉, 캐나다지역의 산성비가 어느 만큼이나 캐나다에서 자체적으로 발생된 것이며, 또 미국으로부터의 오염물질의 이동에 의한 것인지를 어떻게 결정하느냐의 문제는 양국간의 오랜 산성비문제의 해결을 가로막는 주된 장애요인이었다(Rosenbaum, 1991:57).

우리나라에서의 산성비 피해도 심한 것으로 조사되고 있다. 환경기술개발원의 한 연구결과에 의하면 남한지역의 산성비 피해는 1993년 현재 연간 1조 5천억 원에서 3조 5천억 원인 것으로 조사되었다. 이 같은 산성비 피해는 2000년에는 2조 5천억 원에서 6조 원, 2005년에는 3조 원에서 7조 원에 이를 거승로 전망되고 있다. 여기서 집계된 피해액은 토양, 호수의 산성화, 산림 생태계 및 농작물 피해, 사람의 건강피해를 금액으로 환산한 것으로 역사유적의 피해액은 포함시키지 않는 액수이다. 또 우리나라 산성비 원인의 16~33%가 유황성분이 많은 석탄을 사용하는 중국에서 날아온 것으로 지적되고 있다(중앙일보, 1977. 4. 4). 산성비로 인한 토양오염도 심각한 것으로 조사되고 있다. 산림청 임업연구원에서 행한 수도권 식물조사에 따르면 서울의 남산과 홍릉(각각 pH 4.1), 창덕궁, 인왕산(pH 4.4) 등 도심권 산의 토양이 pH 4.1에서 4.4의 강산성으로 식물의 정상적인 성장과 발육이 어려운 것으로 조사되었다. 특히 인왕산은 숲에 어린 나무들의 분포 및 발달이 거의 없는 생태계 단절현상이 누적되어 숲으로서의 기능이 거의 상실된 것으로 조사되었다. 서울시 외곽권인 수락산은 pH. 4.8, 삼성산 pH 4.7 등으로 비교적 산성화가 덜된 것으로 조사되었다(조선일보, 1993. 8. 25).



# 총 1

## 런던 스모그사건

런던 스모그사건은 1952년 12월 5일부터 9일까지 5일간 계속된 스모그현상으로 많은 사람이 사망한 사건이다. 1952년 12월 5일 아침은 쾌청한 날씨로 출발하였으나 오후가 되면서 갑자기 찬 기운으로 기후가 바뀌기 시작하였다. 기후가 차가워지면서 난방으로 인한 많은 아황산가스를 배출하기 시작하였는데, 공교롭게도 기후 탓으로 이 아황산가스가 확산되지 않고 런던 시가지에 정체되기 시작하였다. 이러한 상황이 4일간 지속되었는데 이 기간중 약 4,000명이 호흡기 질환으로 사망하였다. 노인, 어린이, 허약체질을 가진 사람이 피해자였음은 물론이다. 이후 이 사건의 후유증으로 1953년 2월까지 추가적으로 약 8,000명이 기관지염과 폐렴 등으로 사망하였다. 런던 스모그사건으로 총 12,000명이 사망한 셈이다. 스모그란 단어는 이때 영국에서 처음 만들어진 단어로 당시 런던 상공을 뒤덮고 있던 두꺼운 구름을 묘사하는 말이었다.



보

2

러브운하사건

Love Canal(운하)은 뉴욕주 나이에가라강 부근 동북부 공업지대의 운송을 원활히 하기 위하여 1836년부터 건설하기 시작한 운하이다. 그러나 이후 경기침체로 이 운하는 공사가 중단되었으며 약 1마일의 빈 운하가 그대로 방치되게 되었다. 그런데 이 나이에가라강 유역은 풍부한 수력으로 전기값이 저렴하여 전기를 많이 쓰는 화학약품을 제조하는 공장이 많이 설치되었으며, 특히 염소제조공장이 많이 들어서 있었다. 1942년 이 지역에 입주하고 있던 염소제조회사인 Hooker Chemical 회사가 이 지역에 자체 폐기물을 투기하기 시작하였으며 다른 화학회사들도 방치된 운하와 그 부근에 수많은 화학폐기물을 투기하기 시작하였다. 이때 투기된 폐기물들은 드럼통 11만 개의 분량에 해당된다고 한다. 후에 이지역은 복개가 되고 주택을 짓기 시작하였다. 그런데 1973년부터 1978년 사이 인근지역에 심장질환환자가 속출하고 정신박약아, 선천적 기형아가 이상적으로 많이 출산되고 있는 것이 확인되기 시작하였으며 임신부의 유산율이 타지역의 14배에 이르고 있는 것으로 조사되었다. 결국 이 지역은 1980년 카터 대통령에 의하여 재난지역으로 선포되었고 폐기물처리장 정화를 규제하기 시작한 미국 슈퍼펀드법 제정의 결정적인 계기가 된다.

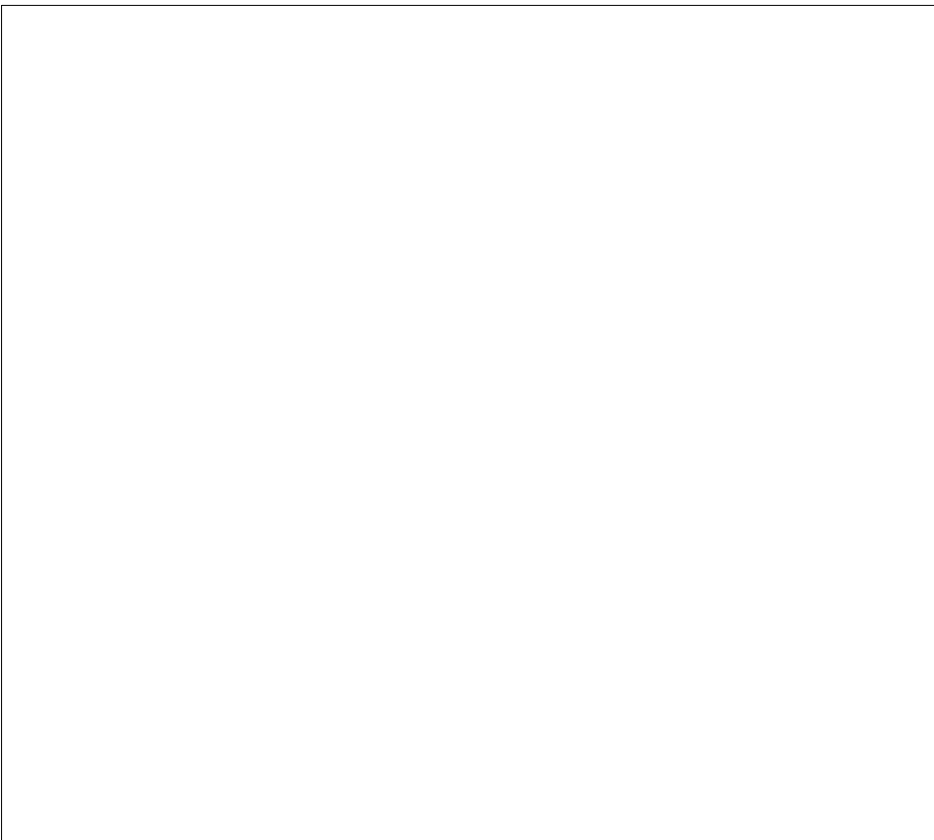


총  
3

### 산성비의 pH농도

산성비의 농도는 pH 단위로 측정되는데, 가장 높은 산성도를 나타내는 0에서부

<알칼리성과 산성의 pH농도>



자료 : Corson, 1990:224.



터 시작하여 중성인 pH 7(중류수의 pH), 그리고 가장 높은 알칼리성을 나타내는 pH 14까지로 그 스케일이 정해져 있다. 한편, pH 단위는 로그리즘으로 계산되기 때문에 pH 1단위의 변화는 10배의 변화를 의미하게 된다. 즉, pH 4로 측정된 어떤 물질의 산성도는 pH 5로 측정된 산성도보다 10배가 강한 산성을 나타내게 되며, pH 6보다는 그 산도가 100배나 강한 셈이 된다. 자연상태의 비는 pH 5~6 정도로 약산성을 띠고 있다.



## 총 4

### 생물화학적 산소요구량(BOD : Biochemical Oxygen Demand)

수중에 포함되어 있는 유기물이 미생물에 의하여 호기성 분해(호기성 분해라는 것은 공기가 있는 상태에서 균(호기성 균)이 폐수 중의 용존산소를 소비하면서 오염원인 유기물을 섭취하여 산화분해하는 것을 말한다. 이와 반대되는 개념이 혐기성 분해이다. 혐기성 분해라는 것은 공기가 없는 상태에서 혐기성 균이 오니 속의 유기물을 섭취해서 환원 분해하여 무기화합물을 방출하는 것을 말한다)될 때 필요로 하는 산소량을  $\text{mg/l}$  또는  $\text{ppm}$  단위로 나타낸 것으로서, 수중의 용존산소에 의해서 유기물의 양을 간접적으로 나타내는 척도가 되고 하천이나 하수, 공장폐수 등의 오염농도를 나타내는 지표가 되고 있다(신현국 외, 1993:437). BOD의 측정법은 물 속에 포함되어 있는 유기오염물질의 양을 측정하는 표준 테스트 방법에 의한다. 유기물질이 들어 있는 1입방미터( $1\text{m}^3$ )의 물을  $20^\circ\text{C}$ 의 어두운 실내에서 5일간 배양한 다음  $1\text{m}^3$ 의 물 속에 녹아 있던 용존산소가 물 속의 박테리아와 미생물들이 유기물질을 분해하는 과정에서 얼마나 많이 사용되었는가를 그램(g) 단위로 측정한다. 물 속에 포함된 유기물질이 많을수록 박테리아가 이 유기물질을 분해하는 데 많은 산소를 소모하게 되기 때문에 용존산소가 얼마나 박테리아와 미생물들에 의하여 사용되었는지를 나타내는 이 측정결과는 결국 물 속에 얼마나 많은 유기물질이 포함되어 있으며 물이 얼마나 유기물질에 오염되어 있는가를 나타내 주는 지표가 된다.



보  
5

## 화학적 산소요구량(COD : Chemical Oxygen Demand)

물 및 폐수에 들어 있는 유기물질을 산화시키거나 산화가능한 무기물질을 산화시키는 데 필요한 산소량의 척도이다. 이 COD의 측정은 중크롬산칼륨을 사용하여 유기물을 완전히 분해하는 데 필요한 산소의 양을 측정하는 표준 테스트 방법에 의한다. 생물화학적으로 분해되지 않는 유기물까지 완전히 산화시키는 데 필요한 산소의 양을 측정하는 것이므로 생물화학적 산소요구량보다 보통 높은 수치를 가지게 된다. BOD의 측정에 5일이 소요되는 반면 COD의 측정에는 두 시간 가량이 소요되며 생물화학적으로 분해되지 않는 유기물을 산화시키는 데 필요한 산소량을 측정하므로 BOD보다 더 정확한 수질오염치로 사용될 수 있다. 특정오염물질의 BOD와 COD 농도가 아래에 표시되어 있다. 오염물질에 따라 물론 달라

<오염물질별 BOD와 COD>

| 오염물질의 종류                   | BOD(5 days, g / m <sup>3</sup> ) | COD(g / m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 도살장(abattoir)              | 2600                             | 4150                     |
| 양조장(brewery)               | 550                              | -                        |
| 증류주제조장(distillery)         | 7000                             | 10000                    |
| 하수(domestic sewage)        | 350                              | 300                      |
| 제지공장(pulpmill)             | 25000                            | 76000                    |
| 석유정제공장(petroleum refinery) | 850                              | 1500                     |
| 제혁업공장(tannery)             | 2300                             | 5100                     |

자료 : Dictionary of Environmental Science and Technology. 1992. John Wiley & Sons Ltd. England, p. 34.



하지만 특정 오염물질에 대한 BOD와 COD의 비율은 비교적 일정하므로 COD를 측정하게 되면 그 오염물질의 BOD 값을 산출할 수 있다.