

일본의 산성비 문제와 환경교육

정 용 승
(한국교원대학교)

I. 서론

1992년 6월 브라질의 리우데자네이로에서는 국제연합이 개최한 국제연합환경회의(UNCED)가 열려 환경오염과 미래적인 개발에 관한 문제를 다루어 모든 국가와 인류에게 지구의 환경보호와 보전에 관한 필요성을 강조하였으며, 그 결과 훌륭한 교육적 효과를 가져왔다. 일본은 이 회의에서 환경 선진국임을 자처하며 주도적인 역할을 하였다. 이 모임의 제 1주요과제는 지구의 환경오염과 기후변화 문제이며, 산성강수의 발생과 영향도 포함시켰다.

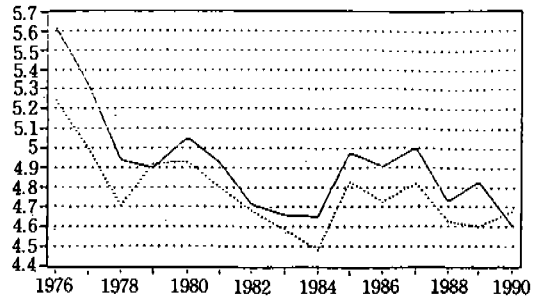
세계적인 화석연료의 사용증대는 대기중에 SOx와 NOx 등을 증가시키고 있으며 이 오염물질들은 수증기 및 강수와 함께 산성물질을 형성하여 비, 눈, 안개, 서리, 이슬 등에 포함되어 지표에 습윤침전 한다. 한편, 황산염 등 산성물질은 건조한 공기에 섞여 건조침전 된다.

산성강수의 피해는 1970년대 초반 북서 Europe의 Norway와 Sweden의 하천과 호수에서 관측되었으며, 곧이어 1970년대 후반에는 북미의 동부 캐나다와 미국에서 호수와 산림의 광역적인 피해가 발생했다. 산성비에 관한 연구는 일본에도 파급되어 일본의 산성비 발생과 그 영향을 1976년부터 조사하기 시작하였다. 1991년 10월에는 일본 국립환경연구소가 주최하여 동아시아 지역의 국제 산성비 회의를 개최하는 등 일본의 산성비 발생의 관심과 우려가 고조되고 있다. 본 연구는 일본의 산성강수 현황을 간단히 기술하고 교육적인 양상을 논의하였다.

II. 일본의 산성강수 현황

일본 기상청은 세계기상기구(WMO)의 지구대기조사(Global Atmospheric Watch)의 협력사업의 하나로 센다이부근의 Ryori 관측소에서 대기오염의 배경농도(BAPMoN)를 관측하고 있다. [그림 1]은 1976년부터 관측된 강수의 pH 연평균값을 보여주고 있다(Ito, 1991). 그림에서 실선은 산술평균값이며 점선은 강수량

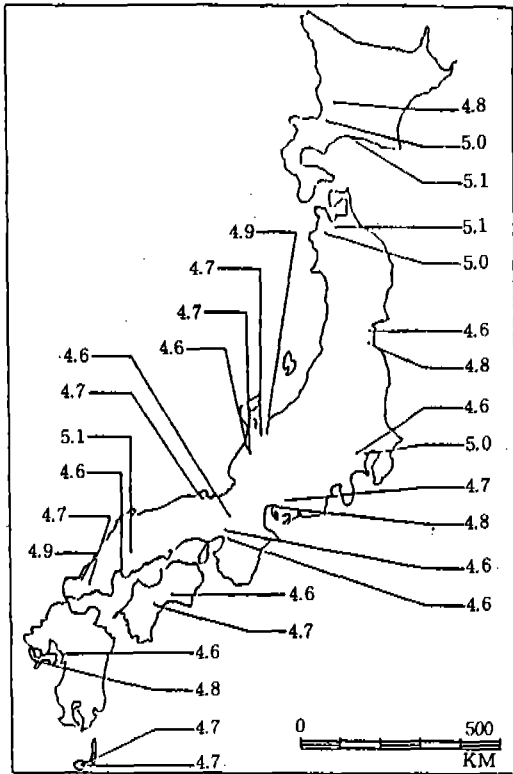
을 보정한(precipitation weighted) 값이다. 강조할 것은 일본에서 관측된 강수의 산도는 점차 강해지고 있으며, 최근에는 약 4.7을 유지하고 있다. 이 값은 서부 유럽과 북미의 동부에서 관측된 연평균값 4.0보다는 다소 높은 편이다.



[그림 1] 일본 북부의 배경농도관측소, Ryori에서의 연평균 pH 변화경향: 실선은 산술평균; 점선은 강수량 보정후 평균(Ito, 1991).

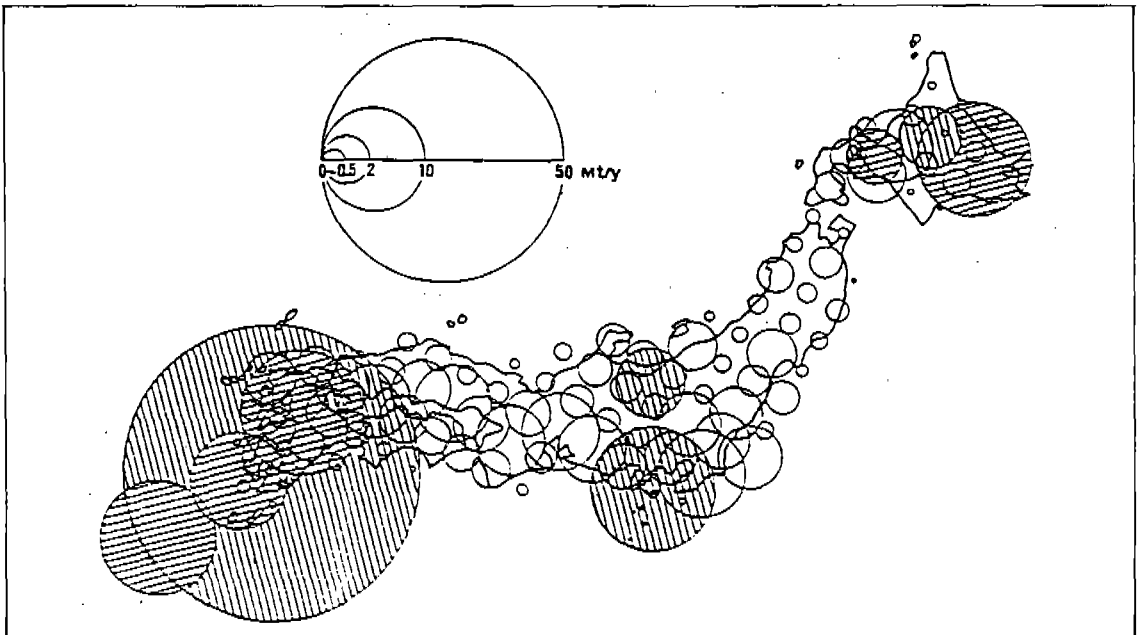
한편 일본 환경청은 1984-87년 29개 도시 및 시골 관측소에서 산성강수를 조사하였다. [그림 2]는 이 기간 동안의 평균 pH 4.6-5.1의 분포를 보여주고 있다(Murano, 1991). 일본도시와 농촌 지역의 합친 전국적인 평균 pH 값은 4.77이다. 북부 일본의 사도는 다소 낮으나 중부 및 남부는 비교적 높은 것으로 통계되었다. 그리고 비와 눈의 산성도는 일본 서해안(우리 동해쪽)과 남해안에서도 높게 관측된다.

1989년 23개 관측소에서 관측된 황산염의 침전량 5g/m² 이상이 Tokyo, Kawasaki, Niigata, Kitakyushu, Omuta로서 큰 도시 및 공업지역에서 높게 관측되었다. 가장 낮은 값은 북쪽에 위치한 Sendai 부근의 Nonadake에서 기록되었다. 그리고 Murano는 관측장비를 개발하여 안개를 수집한 후 산성도를 관측하고 있다. 산에서 관측한 배경적 안개의 산성도는 pH 3.3-4.0으로 관측되었다.



[그림 2] 일본 29개 관측소의 1984-87년도 평균 pH 분포도 (Murano, 1991).

화산은 많은 량의 SO₂, HCL, CO₂ 등을 배출하며 일본에는 연평균 6개의 화산이 활동하는 것으로 기록되었다. [그림 3]은 일본의 화산과 인위적인 SO₂ 배출량의 추산을 보여준다(Fujita and Ichikawa, 1991). 일본의 12개 화산에서 SO₂의 1년 배출량은 약 11M ton이며 인위적인 배출량 역시 약 10M ton으로 계산되었다. 현재 일본의 가장 큰 화산은 규슈의 Sakurajima 화산으로 그림 3에서 알 수 있다. 그림에서 사선으로 표시된 원이 화산의 SO₂ 연 배출량이고 빈원은 도시 등 인위적인 SO₂의 연 배출량이다. [그림 4]는 규슈 Kagoshima에서부터 계산된 1월과 9월의 지상 1500m 상공의 기류가 지나간 trajectory를 표시하였다. Fujita와 Ichikawa (1991)는 화산의 배출량과 기류분석 결과를 해석하면서 일본의 화산은 산성비의 발생에 기여가 크다고 기술하였다. 그러나 화산 분출물 중 SO₂ 등은 주로 대류권 중층 이상으로 이동되며 대기중의 이동시간과 거리로 보아 화산의 역할이 일본의 산성비 영향에 최소한의 영향을 주는 것으로 우리는 해석하고 있다.



[그림 3] 일본의 1989년도 주요 화산에서 배출된 So2량(사선)과 인위적인 So2 배출량(빈 원)의 계산 (Fujita and Ichikawa, 1991).



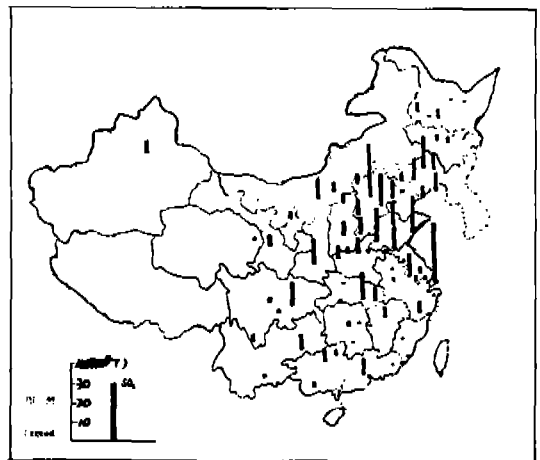
[그림 4] 1988년 1월과 9월의 Kagoshima의 1.5km 상공에서 시작된 3시간 간격으로 48시간 이동시킨 기류의 지나간 자취(trjectories) (Fujita and Ichikawa, 1991).

III. 한국 및 중국과의 산성비 비교

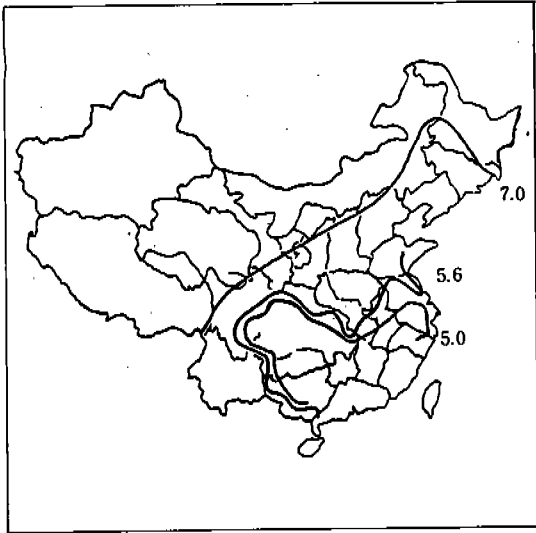
한국교원대학교는 1990년부터 충북 청원에서 배경적 산성비를 모니터링하고 있다. 최근에는 충남의 태안반도, 전남의 영광, 제주도의 서귀포와 한라산, 그리고 동해안 지역인 경북 평해에서 강수를 수집하여 산성도를 측정하고 있다. 이 자료는 향후 일본과 중국의 배경농도와 비교 연구될 예정이다. 농촌지역인 청원에서 관측한 연평균 pH는 1990-91년에 5.4, 그리고 1992년에 5.2로 분석되었다(정용승·김태군, 1992). 이 값은 일본의 평균치 6-4.8보다 다소 높아 일본의 산성도가 우리 나라 보다 훨씬 높음을 알 수 있다.

[그림 5a]는 중국의 산성비와 SO₂ 배출원을 조사한 것이다(Wang and Shi, 1991). 중국의 pH 값은 북부가 매우 높은 반면 강한 산성비가 중국 남부지방에 형성됨을 알 수 있다. 강한 산성비는 홍콩, 월남 등 동진만에도 발생한다. Wang and Shi는 중국의 산성비가 토양의 특성에 관련이 크다고 보고하였다. [그림 5b]는 중국의 SO₂ 배출원의 분포로서 중국의 인구밀집지대와 공장지역이 황해연안에 분포함을 알 수 있다. 중국의 SO₂ 배출원의 50 이상이 북경-발해만-산둥반도 부근에 분포하고 있음은 매우 주목할 만한 것이다. 중국은 현재 연 11억톤의 석탄과 1억톤의 원유를 생산하여 연소시키고 있다. 여

기에 약1%의 유황이 포함될 경우 1.2천만톤의 유황이 산화되고, 2.4천만톤의 SO₂가 중국에서 발생하여 산성비의 발원물질을 대기 중에 배출한다. 더군다나 그들의 현재 연료생산율은 매년 10%씩 증대되고 있으므로 황해연안의 대기오염물질 장거리 이동은 매우 증대될 것으로 예상된다.

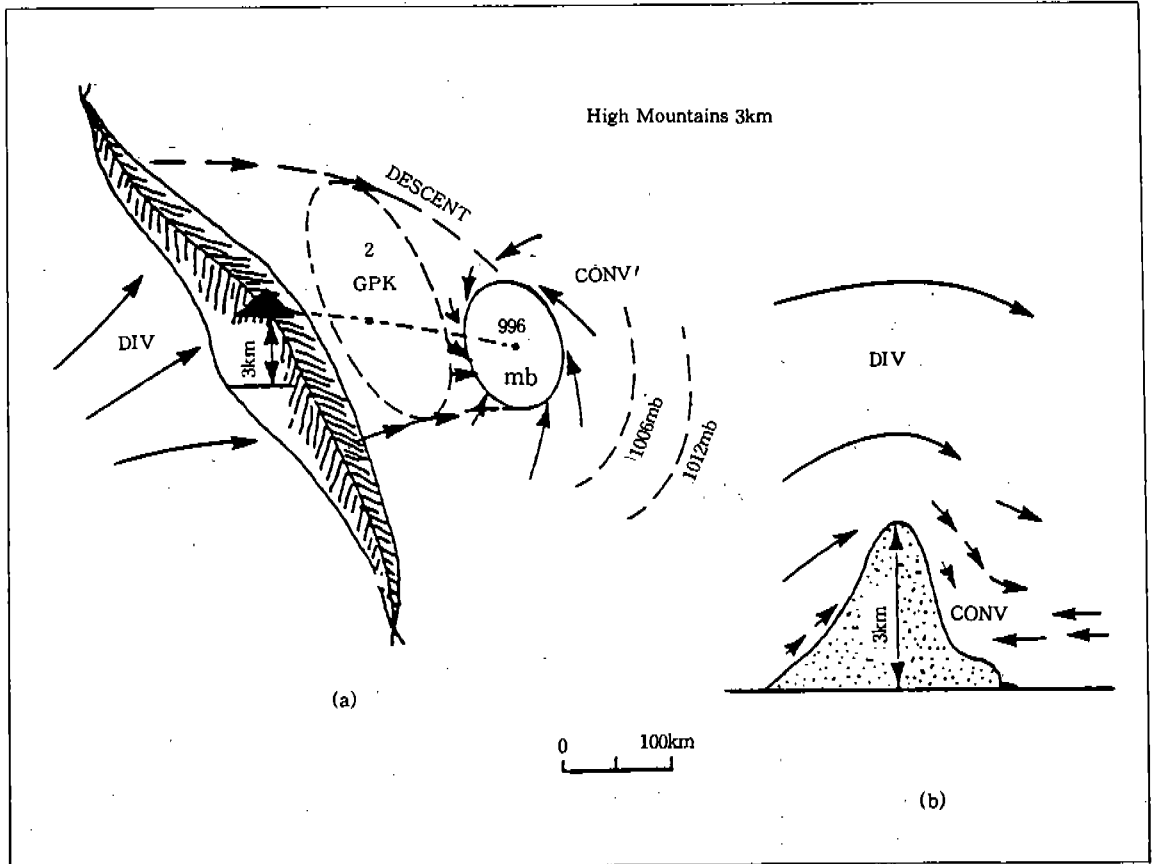


[그림 5a] 1985년도 중국의 도시별 SO₂ 연배출량 (Wang and Shi, 1991).



[그림 5b] 1985년도 중국의 강수의 평균 pH 분포도(Wang and Shi, 1991).

[그림 6]은 산맥을 지나는 기류의 변화와 영향을 설명하고 있다. 중국에는 평균 3-5,000m의 세계적 대 산맥군이 있으며, 티베고원과 천산-알타이 산맥군은 대륙권 중층과 하층의 기류에 지대한 영향을 주고 있다. 특히 이 산맥군을 넘는 대륙권 중층과 상층의 기류가 북과 남으로 나뉘어 북쪽으로는 때때로 극 Jet 기류를 형성하고 남쪽은 아열대 Jet기류를 형성한다. 극 Jet 기류는 천산-알타이-티베를 넘어옴에 따라 북서기류를 형성하고 대륙권 하층의 기류역시 매우 강한 북서-서북서 기류를 발생시킨다. 한랭건조한 북서기류는 SO₂를 빨리 이동시키고 한반도까지는 1-2일에 도착 가능케하며, 따라서 대기 중에서 황산염 등의 산성물질들을 형성할 수 있는 시간이 충분치 못하다. 그러나 느린속도로 고원남부를 통해 이동하는 아열대성 기류는 고온다습하며 이산화 유황이 황산염으로 전환하는 충분한 날(1-7일)을 대기 중에서 부유한다.



[그림 6] 대산맥군의 풍하측에서 발생되는 수렴기류와 저기압의 발생 모형도.

한편 티벳고원의 동쪽인 중국남부 사천성 부근은 풍하측(lee slope)의 대류혼합과 난류가 발생하는 지역으로 지형성 저기압이 자주 발생하는 곳이다[그림 7]. 중국남부 풍하측의 수렴기류에 섞인 대기오염은 황산염으로 충분히 전환하며 구름 및 강수와 함께 산성비를 발생시키는 좋은 대기적 조건을 가지고 있다. 환인하면, 대기과학적으로 보아 중국남부의 대기조건은 북쪽보다 산성비 발생에 적합하다. 한편, 중국북부 지방의 토양은 염기성이며 강수가 부족하여 토양이 건조함에 따라 바람과 함께 TSP(부유성 먼지)가 잘 발생한다. 예를 들어 북부에서 발생되는 황사의 주성분은 염기성(정용승·김태군, 1991)이었으며, 황사와 함께 관측되는 강수는 pH 값이 6.0 이상이였다. 그러므로 북서쪽에서 이동해오는 구름과 강수의 산성도는 비교적 약한 것으로 지난 3년간의 강수 분석에서 확인되었다. 특히 겨울철 북서기류와 함께 발생하는 눈의 산성도는 염기성이 많은 것으로 밝혀졌다(Chung and Kim, 1992). 이와는 대조적으로 중국의 남부 및 중부해안(산둥 이남)에서 오는 서·남서기류와 함께 한국에서 발생하는 강수의 산도는 pH 5.0정도 또는 그 이하가 자주 발생되고 있음과 아울러 Wang and Shi의 산성도 분포는 우리의 해석을 더욱 확실시 하고 있다. 이와같이 중국의 영향을 크게 받는(8-9월 제외) 한반도의 산성비 발생은 중국의 영향에 크게 좌우되어 우리의 배경 산성도는 5.2-5.4로 관측되었다(정용승·김태군, 1991;1992). 그러나 다소 남쪽에 치우친 일본은 우리보다 풍하측에 있으며 중국남부의 영향을 더 받는 까닭에 일본의 연평균 산도가 우리보다 더 높은 4.6-4.8 정도 되는 것이다. 특히 홋카이도 등 일본 북부의 산성도는 남부보다 낮음을 이미 지적한 바 있다. 그리고 일본 서해안의 비와 눈의 산도 역시 높아 한국에서 이동되는 대기오염물질에 영향을 받는 것으로 일본 과학자들은 해석하고 있다. 그러나 중국 북쪽에서 한반도를 지나 동해를 거쳐 일본 열도에 도달되는 기간은 한반도까지의 도착 시간보다는 1일 정도 더 걸린다. 따라서 SO₂가 황산염으로 전환하는 조건을 증대시키므로 중국북부 발원의 오염물질이 일본 산성비 발생에 큰 영향을 주는 것으로 우리는 해석하고 있다.

이것을 종합하면 황산, 황산염의 대기 중 발생조건과 대기오염의 장거리 이동 및 관측자료에 근거를 두어 다음을 결론 지을 수 있다. 일본의 산성비는 한반도에서 관측되는 것보다 더욱 강하게 발생하며, 한국의 영향이 다소 있으나 더욱 장거리에서 이동해오는 중국 발원 SO₂ 등의 오염물질에 크게 영향을 받고 있다.

IV. 논의 및 환경교육

한국의 대기오염은 계절에 따라 TSP, SO₂, NO₂,

CO, O₃, HC 등이 매우 높게 발생하여 이들을 중요 문제와 관심사로 취급하고 있다. 중국 역시 분진 TSP가 가장 문제되는 오염물질이고 SO₂, CO 등을 다음 관심사로 다루고 있으며 중국남부에 높게 발생하는 산성비도 큰 관심의 대상이 되고 있다. 일본의 경우는 강수량이 많고 삼림이 많아 TSP의 중요성은 한국과 중국의 관심에 비해 다소 저조한 편이며 NOx, O₃, 산성비에 큰 염려를 하고 있다. 그러나 강수의 비교적 낮은 pH 값, 즉 높은 산성도의 발생은 일본의 큰 환경문제로 취급되고 있다. 그러므로 산성비 문제를 정부의 수상이 직접 관여하고 연구 조사 업무를 지원하고 있다. 그들의 장비와 대기오염 감소 기술은 선진적으로 크게 발전하고 있다.

일본은 세계적으로 우수한 자동차 엔진을 개발하여 NOx 오염을 줄이는 데 성공하고 있으며 석탄대신 천연 가스를 사용하여 대기오염을 감소시키고 있다. 그러나 장거리에 근원을 둔 황산염, 질산염 등에 의해 발생하는 산성강수는 일본에서 배출된 오염물질의 영향을 받고 있으나 밖으로는 중국과 한국의 오염물질 이동에도 원인이 있는 것으로 추정하고 있다. 그러므로 1991년부터 산성비 국제회의를 개최하는 등 국제적인 연구와 협조에도 눈을 뜨고 있다. 산성비는 앞에서 논의된 바와 같이 중국의 많은 발원지에 크게 영향을 받는 것이다. 물론 일본의 산성비 발생에는 풍상측에 있는 한국의 배출원 역시 다소 영향을 줄 것으로 추정되나 SO₂ → SO₄ 전환에 필요한 시일관계로 한국의 영향은 비교적 적은 것으로 해석된다. 일본의 산성비 연구 조사는 유럽과 미주의 논문에 의거하면 몇 년 뒤지고 있으나 그들의 재빠른 서양의 연구 결과와 방법의 터득은 서양과의 차이를 매우 단축하고 있다. 한편 그들이 사용하는 대기화학적 장비는 서양의 것을 모방하여 제작한 것들을 사용하며, 산성 안개 등을 수집하는 장비는 스스로 개발하여 사용하고 있다. 그러므로 일본의 환경조사 및 연구개발은 서양과의 차이가 매우 적으며 관측 장비 등의 개발은 서양과 비등하거나 앞서는 것이 있으며, 결과적으로 일본의 대기환경의 개선은 매우 선진적으로 성취되고 있다. 그의 쓰레기의 처리, 대기오염의 감소 등으로 인한 결과가 뚜렷하며 계곡 등 수계의 생태계(물고기 등)가 다시 살아나고 있다는 증거가 많이 나오고 있다.

환경교육은 어릴수록 그리고 빠를수록 좋다는 서양식 철학이 있다. 일본 역시 환경교육을 국민학교 3-4학년 부터 media와 사회적인 과학 정보를 담입 선생이 교육하고 있다. 이는 Canada와 유럽의 국가도 마찬가지이며 그들이 사회문제 교육의 현실화로 인해, Canada의 국민학교 1-2학년 학생들이 '산성비' 이야기를 함을 볼 수 있다. 일본의 중·고 교과서는 사회과학(지리, 과학 등)에서 쓰레기 및 기타 환경문제를 다루고 있으며 학교와 현에 따라 환경문제를 더욱 강조하는 곳이 많다. 또한 소

레기와 오염문제, 재활용, 인구와의 관계, 쓰레기 처리, 소각과 대기오염, 폐열의 사용을 강조하고 견학을 한다. 학생들은 에너지와 환경오염 문제를 논의하고 절약하는 철학을 깊이 배운다. 일본인의 절약과 검소 그리고 저축 운동의 성공은 환경문제에서도 마찬가지이며 관·민·기업체들이 삼위일체가 되어 환경오염을 줄이는 데 성공하고 'green' 개념의 세계교육을 적극적으로 수행하고 있다. 특히 일본 media의 역할은 세계적이며 각종 지식, 기술, 정보를 대학과 연구소로부터 재빨리 입수한 후 전달하여 정부가 수용하게 하고 나중에는 국민이 협조 지원케 하는데 크게 기여하고 있다.

일본의 경제가 빈약하던 1950-1960년대에는 공업활동의 신장에 따라 각종 환경문제가 크게 발생하였다. 대기오염에 의한 발병, 이따이 이따이병, 미나마타병 등의 발생을 교육적으로 계속 부각시켜 환경의 중요성을 재인식시키는 한편, 미래의 환경오염을 감소시키려는 사회적 공감대 및 공동체 형성을 꾀하고 있다.

최근에는 세계의 경제 불황속에서도 일본의 무역흑자를 증대시키고 국민의 임금과 저축이 증대되고 있어 이러한 장점과 여력이 환경적 개념의 주입과 발전에 크게 기여되고 있다. 두 나라의 생산과 GNP가 같아도 환경적으로 우수하지 못하면 환경적으로 우수한 다른 선진국보다는 열세 라는데 그들은 착안하고 있다. 즉 환경이 우수한 가정과 부국을 이룩하기 위한 green기술과 부귀에 목적을 두고 학자와 media 그리고 정부는 국민의 봉사와 협력을 추구하고 있다. Green 환경적 부국은 미래의 일본을 더욱 부강한 국민과 국가로 확고히 한다고 일본의 학자들은 그들의 사회를 교육시키고 있다.

V. 결론 및 제언

일본의 환경문제는 그들의 산업의 다양성에 따라 매우 광범위하게 발생하고 있으나 그들의 환경기술교육과 국민정신의 우수성은 이 문제를 매우 선진적으로 해결하고 있다. 예를 들어, 일본의 여러 가지 환경문제 중 산성비 발생은 매우 관심과 우려의 문제로서 이를 해결하기 위해 수상 직제 아래 산성비의 조사 연구를 직접 지원하고 있다.

산성비 발생은 대기오염의 장거리 이동에 크게 영향을 받는 것으로서 일본의 대기오염 발생 뿐만 아니라 중국남부의 대기오염 발원에도 영향을 받는다. 그러므로 일본은 중국 및 한국과의 공동 협력을 추구하고 있으며 산성비의 감소는 국제적인 모니터링은 물론 각국의 정부와 학자들

의 협력이 요구된다.

일본의 환경교육은 초등학교부터 실시하고 있으며, media-관-기업-민의 협력이 우수하게 수행되고 있는 것은 매우 특징적이다. 그 결과 환경문제에 관한 이해, 협조, 지원이 정부와 국민사이에 매우 효과적으로 수행되고 있다. 이는 일본 국민성의 밑거름에 근거를 둔다. 최소한 우리가 배워야 할 것은 그들의 교육적 절차와 태도는 물론 총체적 결과이다. 특히 우리도 지식인-media-관-기업-국민들 모두가 환경문제 해결을 위한 협조와 지원을 하여 한국의 green technology 개발을 개척하고 현재와 미래의 green 환경을 보호 및 보전 해야 된다.

참고문헌

- 정용승·김태군, "대기오염의 장거리 이동 사례연구:황사, TSP, Sulphate의 발원지 추적", 한국대기보전학회 7권, 197-202, 1991.
- 정용승·김태군, "한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적 연구", 한국대기보전학회 7권, 203-207, 1991.
- 정용승·김태군, "충북 청원군 강수의 산성도 연구", 한국환경과학회지 1권, 29-39, 1992.
- Chung Y. S. and Kim T. K, On observations of acid precipitation in Korea. In *Proc. 9th World Clear Air Congress*, Vol. 2TU-10. 07, Montreal, Canada, 1992.
- Fujita S. and Ichikawa Y. Discharge and transportation of sulphur dioxide from Sakurajima Volcano. In *Int. Workshop on Acid Rain in East Asia*, Kitakyushu, Japan, 1991.
- Ito T. Present status of WMO background air pollution monitoring network (BAPMON) in East Asian Region. In *Int. workshop on Acid Rain in East Asia*, Kitakyushu, Japan, 1991.
- Murano K. Present status and future of acid precipitation monitoring network in Japan. In *Int. workshop on Acid Rain in East Asia*, Kitakyushu, Japan, 1991.
- Wang W. X. and Shi Q. Analysis of the formation of air pollution and acid rain in China. *Proc. 2nd IUAPPA Reg. Conf. on Air Pollution*, II-49, Seoul, Korea, 1991.

ABSTRACT

Yong-seung Jung
(Korea National University of Education)

The occurrence of acid precipitation in Japan is one of major concerns among Japanese scientists in environmental sciences. The annual mean pH observed is in the range of 4.6-4.8 and these values are higher than the values observed at the background stations in Korea and Northern Chiana. We interpret that the low pH values occuning in Japan are mainly due to the precursors originating from Japan and from Southern China.

In view of environmental education, interestingly the Prime Minister of Japan directly gives administrative support for acid rain monitoring and related studies. Also, Japanese provide environmental education for their children in primary and secondary schillos to insitll 'green' concdpt. It is found that the role of scientists, media, goverments and industries in Japan is very efficient for the increase in co-operation and environmental benefits.