

동북아시아 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구

A Study on the Long-Range Transport of Air Pollutants in the North East Asia

강동근¹⁾·김선태²⁾·김정욱³⁾

¹⁾ 산업과학기술연구소 대기환경연구소

²⁾ 대전대학교 환경공학과

³⁾ 서울대학교 환경대학원

(원고접수 : 1993. 10. 14)

Dong-Keun Kang, Sun-Tae Kim, Jung-Wk Kim

¹⁾ Air Protection Lab., Research Institute of Industrial Science & Technology

²⁾ Dept. of Environmental Engineering, Daejeon University

³⁾ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

(Received 14 October 1993)

Abstract

Due to the global-convection currents, transboundary transport of air pollutants is widely observed in many regions of the world. This study was carried out to investigate the pattern of long-range transport of air pollutants in North East Asia, especially the impact of air pollutants originated in China and Japan on the air quality in Korea. From the meteorological data at the 850 mb surface from May 1986 through April 1987 at 54 observation stations in the North East Asia region, the backward and forward trajectories were calculated using interpolation method. And the contributions of pollution sources in neighbor countries to the air quality in Korea were analyzed.

It was concluded that air pollution in China had a great influence on the air quality in Korea throughout the year : it could be transported to Korea just within 2 or 3 days most of the time. The trajectory analysis showed that pollution sources in Beijing, Liaoning Province, and Shandong Province, the most heavily industrialized areas in China, were the most influential for the air quality in Korea except for summer season. During summer season, the air pollution in Shanghai and Japan could have more influence on Korea. Such transboundary transport of air pollutants necessitate international cowork and cooperation in the region of North East Asia.

1. 서 론

최근의 환경오염문제는 국지적인 범위를 넘어서 산성비 강하, 지구 온난화, 오존층 파괴 등 지구규모적으로 확대되고 있다. 특히 대기오염물질은 지구

적 대류운동에 의해 어느 특정지역에서 다른 지역으로 광범위하게 이동, 분산하기 때문에 이에 따라 오염과 피해사이에 시간과 공간적인 차이가 존재하게 되어 그 인과관계가 불명확해지게 된다. 특히 대기오염물질의 장거리 이동은 대륙적 규모로 이동하

여 인접국가에 산성비 강하형태로 나타나게 되어 광범위하게 생태계를 파괴시킬 수 있기 때문에 국가간 분쟁의 소지가 매우 높아지고 있다.

현재 한반도를 포함한 동북아시아 지역은 산업이 급격하게 발전하고 있으며 아황산 가스의 총 배출량은 1천 9백만톤/년이 넘는 것으로 추산되고 있으며 이 중 약 80% 정도가 중국의 북경을 중심으로 한 요동반도, 산둥반도 부근과 상해지역 등 황해연안에 집중되어 있기 때문에 편서풍대에 있는 우리나라도 오염물질이 이동될 것이 우려되고 있는 실정이다. 이러한 상황에 따라 우리나라도 최근 산성비 강하 현상이 나타나고 있어 중국 등 주변국가로부터 이동되어 유입된 대기오염물질의 이동경로 및 유입량을 파악하고 피해를 줄일 수 있는 방안을 강구해야 하며 이를 통하여 대기오염물질의 장거리 이동에 따른 국제적인 환경문제 해결에 적극적으로 대처할 수 있을 것이다.

산성비의 영향을 파악하려면 무엇보다도 먼저 산성비 원인물질의 장거리 이동경로에 대한 추적이 선행되어야 한다. 장거리 이동의 국내의 기존연구로는 정용승(1991), 국립환경연구원(1991)의 보고서에서 상층 일기도의 바람장을 수작업을 통해 계산을 하거나 황사현상이 일어난 2~3일 기간동안의 등온위 궤적을 구하였다. 그러나 실제 장거리 이동경로는 계산에 따라 하루에 수백 Km나 차이가 날 수 있으므로 단기간의 유적선은 오염원과 피해지점 사이의 이동경로를 밝히는 데는 크게 도움이 되지

못한다. 또한 이것은 일반적인 기류의 이동이기 때문에 특정지역의 영향을 파악할 수 있는 forward trajectory, backward trajectory에 대한 연구는 행해져 있지 못한 상태이다. 대기오염물질이 장거리 이동할 때는 바람의 단기간 변동보다 장기간 변동이 탁월하기 때문에 이러한 단일 유적선의 오차를 보완하는 방법으로 장기간의 유적선을 분석하는 접근방법을 제시되고 있다.

이러한 배경아래 본 연구에서는 동북아시아 지역의 1년간의 기상 실측 자료를 이용하여 자연적·인위적인 대기오염물질의 이동경로를 월별, 계절별로 작성하여 분류함으로써 장거리 이동경로의 특성을 파악하고, 인접국 오염원의 영향을 구체적으로 밝히는 이론적 근거를 마련하고자 한다. 대기오염물질의 장거리 이동경로에 대한 추적은 비단 산성비에 관한 연구뿐 만 아니라 봄철에 대륙으로부터의 황사 현상에 대한 해석에도 기여하는 바가 크다고 할 수 있다.

2. 이론 및 연구방법

trajectory를 추적하는 계산방법은 1) Isentropic (등온위) 방법 2) Isobaric (등압면) 방법으로 나눌 수 있는데 각 계산 방법에는 장·단점이 있다. Isentropic trajectory계산은 공기가 단열적 운동을 한다는 가정하에 추적하는 방법으로 Merill(1986)이 사용하였다. 이 방법은 많은 입력자료와 전산기의 계산이 소요될 뿐 만 아니라 강수 현상시나 복사열 방출시(주로 남극이나 북극에서 일어남) 단열 과정을 고려하지 못하는 단점이 있다. Isobaric trajectory계산은 일정기압 표면 위로 공기괴가 이동한다고 가정하며 비교적 적은 입력자료가 요구되고 강수현상을 고려하여 계산할 수 있기 때문에 실용적으로 많이 이용하고 있다.

본 연구에서는 등압면 자료를 이용하는 Isobaric 계산방법을 썼으며 Lagrangian궤적의 방법으로 이동경로를 추적하는 trajectory모델을 이용하였다. 사용하는 자료는 1986.5~1987.4까지의 소련과 일본을 포함하는 54개 관측소 지점(그림 1)의 850mb면의 풍향, 풍속 자료(0시, 12시)를 처리하여 입력하였다. 850mb면은 해발 약 1500m 상공의 등압면에서 하층 제트기류가 흐르고 있으며 지표면의 국지적 영향을 받지 않는 최저의 높이로 오염물질의 장거리 수송에 커다란 영향을 주는 대표적 등압면을 나타낸다.

연구의 대상범위는 우리나라를 중심으로 한 동북아시아 지역으로 이곳은 편서풍의 영향을 주로 받

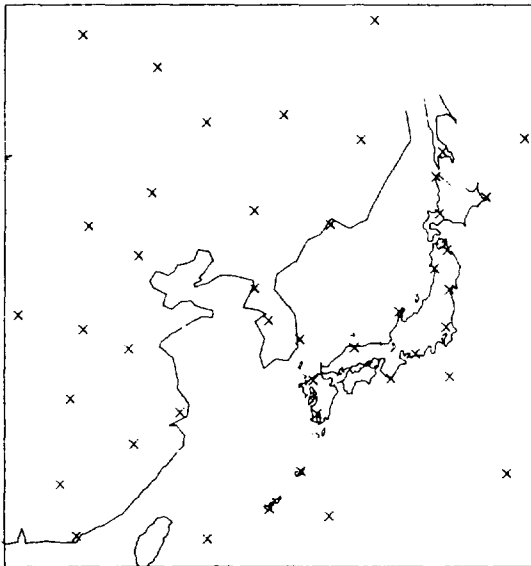


Fig. 1. The locations of observation stations.

고 있으므로 풍속을 최저 6m/s라고 가정하면 공기는 4일이면 완전히 대상지역을 지나갈 것으로 예상되므로 4일을 추적기간으로 정한다. 우선 대상범위를 X, Y축으로 각각 폭 76.2Km의 54, 58개 격자로 나누며 54개 관측점에서의 풍향, 풍속 data를 pola-stereo투영법을 사용하여 평면 좌표계의 값으로 변환한다. pola-stereo투영법은 북반구 또는 남반구를 표준 위도선(보통 위도 60도)으로 절단시켰다고 생각하는 가상평면 상에도 반대쪽 극에 광원을 놓고 투영시키는 방법이다. 이 Mapping방법을 풍속에 대해서 적용하면 다음 식과 같이 된다.

지구반경 : R

투영기준점의 위도, 경도 : (ψ_0, θ_0)

지구상의 임의의 점 : (ψ, θ)

$$V_x = R(1 + \sin\psi_0) \left\{ \tan \frac{90-\psi}{2} \times \cos(\theta-\theta_0) \times \frac{V_c}{R \cos\psi} - \frac{0.5V_c/R}{\cos^2(90-\psi/2)} \times \sin(\theta-\theta_0) \right\} \quad (1)$$

$$V_y = R(1 + \sin\psi_0) \left\{ \tan \frac{90-\psi}{2} \times \cos(\theta-\theta_0) \times \frac{V_c}{R \cos\psi} - \frac{0.5V_c/R}{\cos^2(90\psi/2)} \times \cos(\theta-\theta_0) \right\} \quad (2)$$

이렇게 계산된 관측점의 풍속을 객관해석법을 사용하여 각 격자점에서의 값으로 나타낸다. 객관해석법은 측정치가 없는 임의의 지점에서의 풍속을 각 지점에 가중치를 산정하여 계산하는 방법으로 보통 측정지점과 임의의 지점사이의 거리 또는 두 지점과의 편각 ϕ 를 이용하여 내삽법으로 구한다.

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i} \quad (3)$$

X는 가중 평균 풍속, X_i 는 i번째의 관측점 풍속, W_i 는 가중치이다. 가중치는 보통 거리의 함수로써

$$W_i = \frac{1}{R^2} \quad (4)$$

이나 또는 Draxler(1979)에 제안된

$$W_i = (1 - 0.5 |\sin \phi|) \quad (5)$$

등이 있다. 본 연구에서는 보편적으로 쓰여지는 (4)식을 이용하여 다음 식과 같이 가중 풍속을 구하였다.

$$V(i,j) = \frac{\sum_{n=1}^{54} (V_k/R_k^2)}{\sum_{n=1}^{54} (1/R_k^2)} \quad (6)$$

$V(i,j)$: 격자점(i,j)의 풍향, 풍속

V_k : 관측점 k의 풍향, 풍속

R_k : 격자점(i,j)에서의 관측점 k까지의 거리

이러한 계산식을 통하여 불규칙하게 분포된 관측점의 풍속을 일정한 간격으로 짜여져 있는 각 격자점에서의 값으로 나타낼 수 있다.

4일의 trajectory 좌표결정은 목표지점이 속해있는 grid의 풍속이 $W_i(W_x, W_y)$ 라고 하면 4일의 풍속 U_1, U_2, U_3, U_4 를 모두 고려해 6시간별로 16개의 풍속을 찾아낸다. backward trajectory일 경우에는 목표지점(XR_0, YR_0)이 속해있는 grid의 풍속이 $W_i(W_x, W_y)$ 라고 하면

$$XR = XR_0 - W_x \times 6 \text{ hour} \quad (7)$$

$$YR = YR_0 - W_y \times 6 \text{ hour} \quad (8)$$

이 계산에 의하여 6시간전의 새로운 좌표(XR, YR)가 결정되며 이것이 6시간전의 오염물질의 위치가 된다. 계속하여 6시간 간격으로 4일간의 16개의 trajectory를 구하여 이것을 연결하면 backward trajectory가 된다. Forward trajectory는 반대로 식 (7), (8)에서 좌표를 더해줌으로써 계산한다.

이상과 같은 방법으로 본 연구에서는 유적의 출발시간은 정오로 하고 목표지점을 선정하여 그 지점을 출발점으로 6시간 간격으로 하루동안 4개의 좌표점을 이은 1개의 유적선을 4일간 추적하여 1달 간격으로 1년간의 backward 및 forward trajectory를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

유적계산에는 크게 forward trajectory와 backward trajectory가 있다. forward trajectory는 시간을 앞으로 추적하여 얻어지는 유적선으로 화산폭발이나 체르노빌 원전사고 등의 자연적·인위적 오염물질 유출사고 발생시의 환경피해를 예측하는데 사용할 수 있다. 이와는 반대로 backward trajectory는 주로 인접국의 오염원의 목표지역에 미치는 영향을 평가하는데 쓰여진다. 본 연구에서는 두 가지 이동경로를 모두 고려하여 구하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

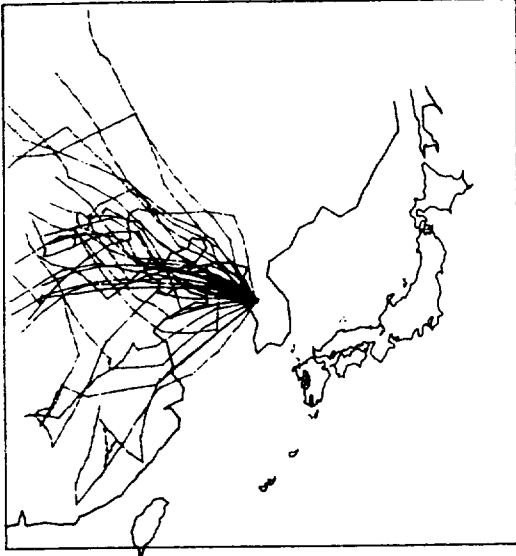
3.1 Backward trajectory 분석

대기오염물질의 실제 이동경로는 내재되어 있는 오차, 예를 들면 자료의 누락, 격자수 및 추적시간 간격 등에 따라 큰 차이가 날 수 있기 때문에 장거리 이동경로에 의한 오염원의 영향을 알아보기 위

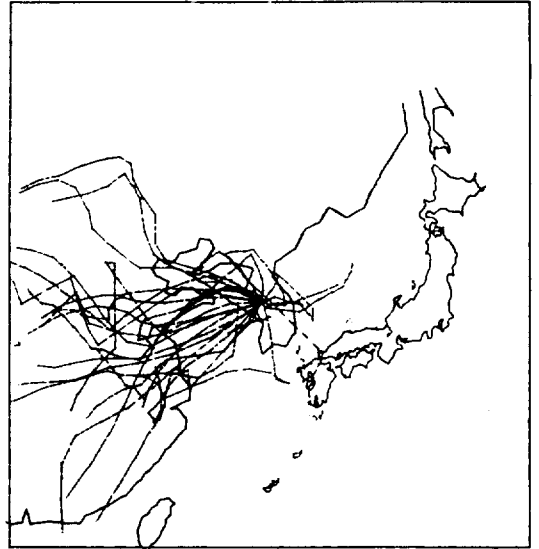
하여 단기간 보다는 장기간에 걸쳐 월별, 계절별의 평균특성을 파악하는 것이 필요하며 여러 특정지역에서의 trajectory를 계산하여 비교함으로써 보다 명확히 파악할 수 있다. 따라서 서울과 일본 열도와 가까운 부산을 기점으로 하여 1년 기간(1986.5~1987.4)의 이동경로 중 각 계절을 대표하는 1월, 4월, 7월, 10월의 backward trajectory를 분석하였다.

서울 및 부산기점

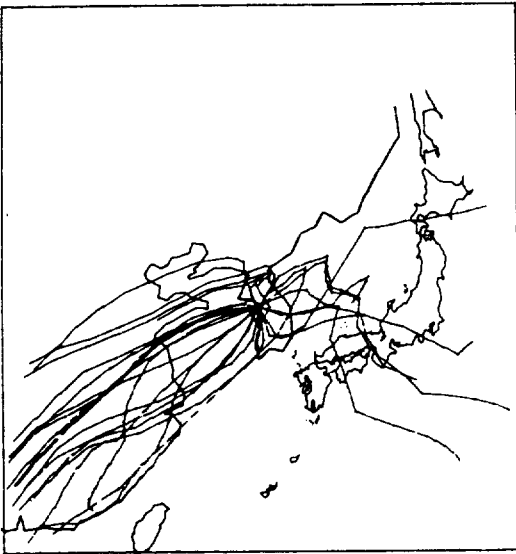
1. 1월: 그림 2,3에서 보는 바와 같이 1월의 우리나라 고공의 주흐름은 서북서풍과 북서풍으로 나타나고 있다. 우리나라 북서쪽에 위치하고 있는 북경, 요동반도에는 많은 오염원이 존재하기 때문에 우리나라 환경에 큰 피해를 미칠 것으로 추정되며 일본으로부터의 영향을 없는 것으로 판단된다.



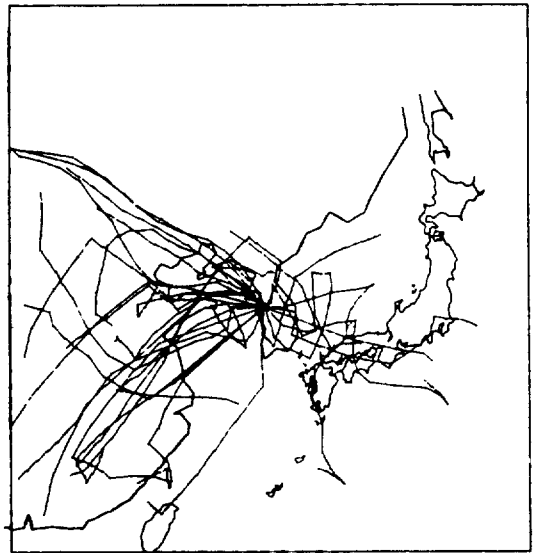
(a) 1월의 유적선



(b) 4월의 유적선

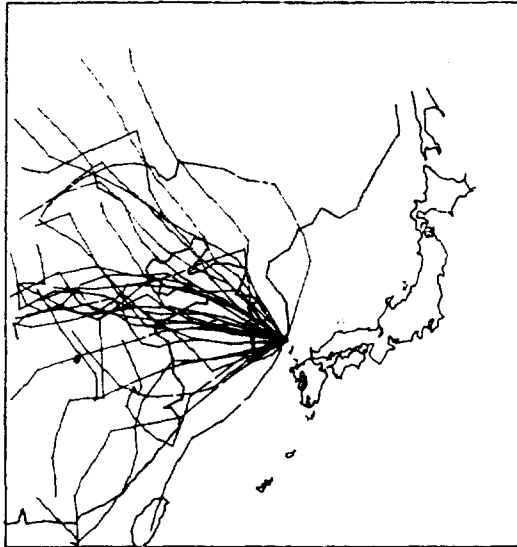


(c) 7월의 유적선

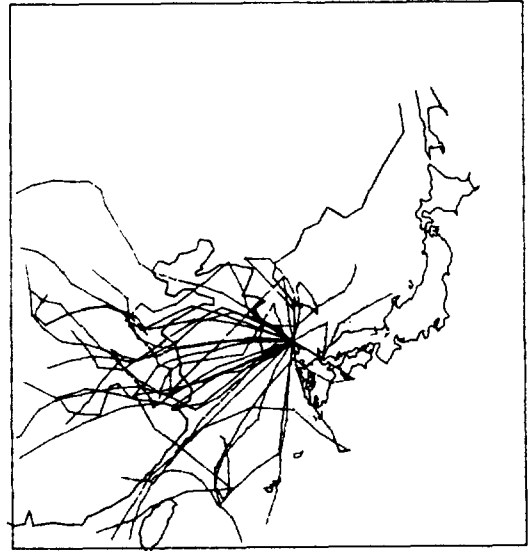


(d) 10월의 유적선

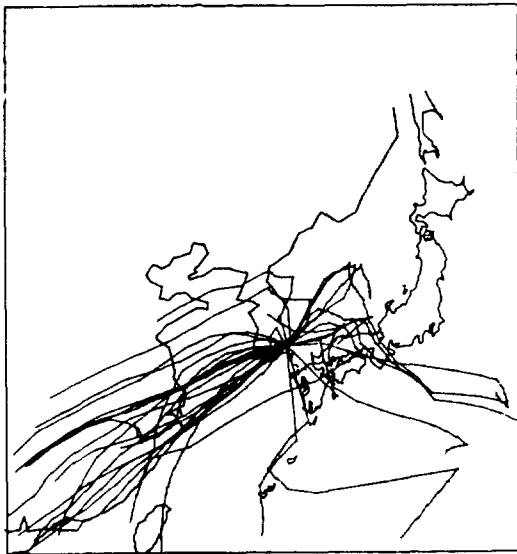
Fig. 2. Backward trajectories from Seoul.



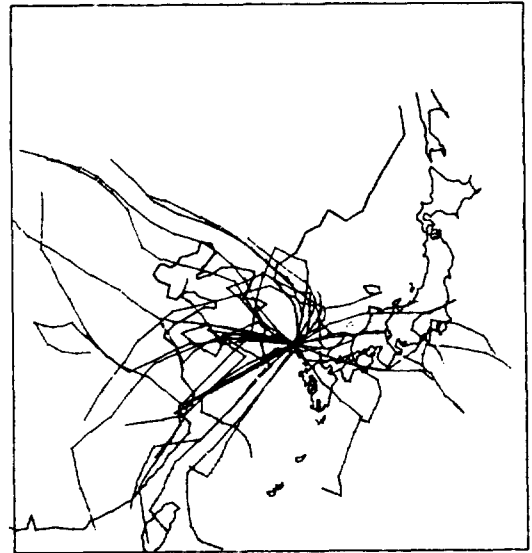
(a) 1월의 유적선



(b) 4월의 유적선



(c) 7월의 유적선



(d) 10월의 유적선

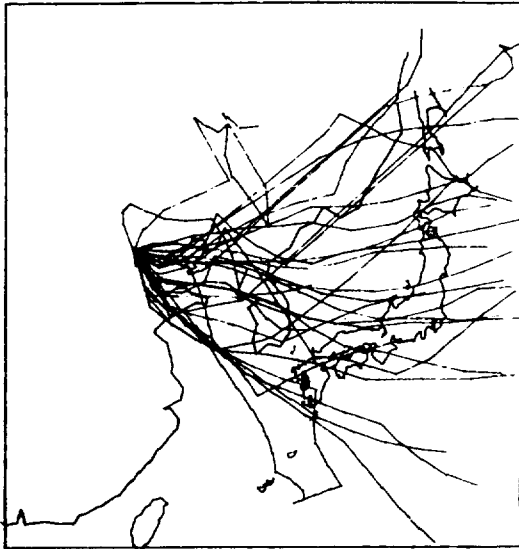
Fig. 3. Backward trajectories from Pusan.

2. 4월 : 중국으로부터의 오염물질은 1월에 비하여 전반적으로 서풍을 타고 유입되며 따라서 우리나라는 요동반도, 산둥반도에 있는 오염원으로부터 큰 영향을 받을 것으로 생각된다. 이때에는 남서기류가 1월에 비해 현저히 줄어들 것을 알 수 있다. 류가 1월에 비해 현저히 줄어들 것을 알 수 있다.

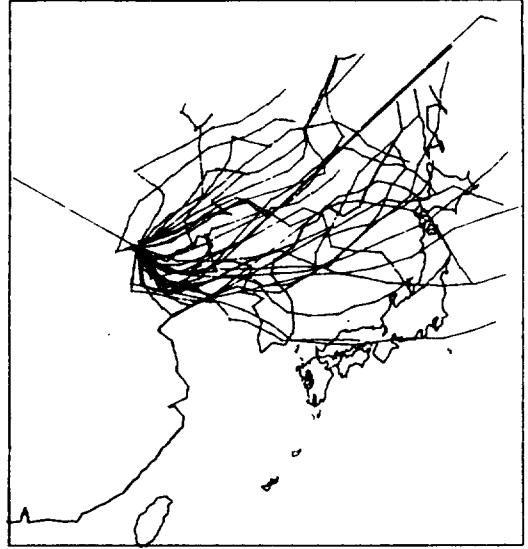
3. 7월 : 여름에 우리나라에 유입되는 상층의 이동기류는 남서풍이 우세한 것으로 나타나고 있어

산동반도 남쪽 해안지방 및 상해 지역부근의 오염원으로부터 피해를 받을 것으로 추측된다. 또한 이때 일본의 영향을 어느 정도 받는 것으로 나타나고 있다.

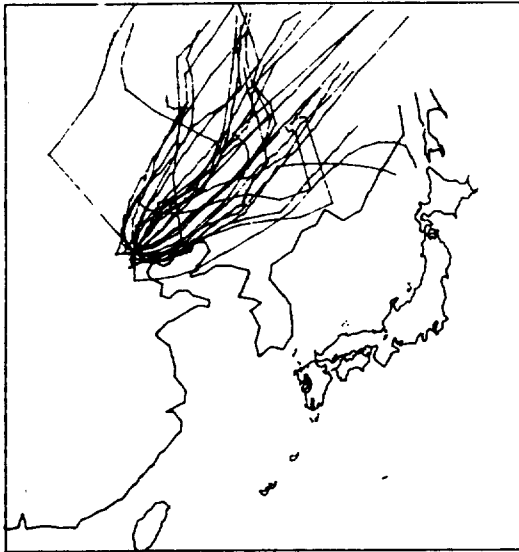
4. 10월 : 이때의 우리나라 상층기류는 여러방향에서 골고루 유입되고 있으며 특히, 북서풍과 남서풍이 우세한 것으로 나타나고 있다. 또한 7월과 마찬가지로 동풍이 불어오고 있으므로 이 때에도 일



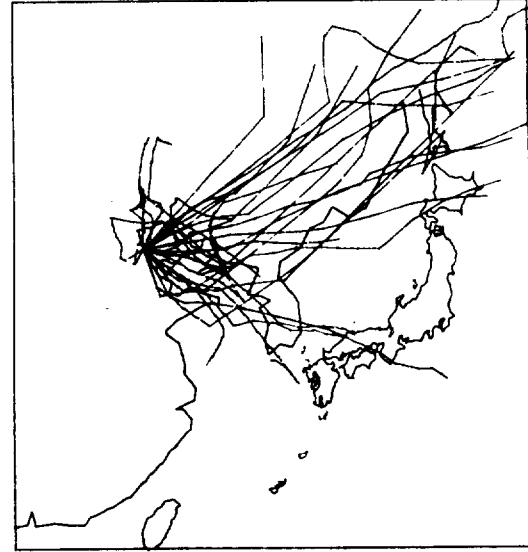
(a) 1월의 유적선



(b) 4월의 유적선



(c) 7월의 유적선



(d) 10월의 유적선

Fig. 4. Forward trajectories from Beijing.

본 열도의 오염물질이 우리나라에 피해를 끼칠 수 있음을 알 수 있다.

이상에서 보는 바와 같이 대체로 편서풍으로 인해 중국대륙의 영향을 받으나 7, 8월 여름 기간과 10월에는 남동풍도 나타나 일본에서 발생한 오염물질이 우리나라 대기환경에 피해를 미치는 것으로 판단된다.

이와같이 backward trajectory를 이용하여 우리

나라에 유입되는 오염물질의 경로를 파악하였으며, 그림에서 시간에 따른 궤적을 보면 중국으로부터의 오염물질이 대부분 2~3일 내에 한반도로 이동되는 것으로 나타나 이 결과로부터 우리나라가 직접 피해를 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 계절에 따라서는 일본으로부터 오염물질의 유입도 부정할 수 없음을 확인되었다.

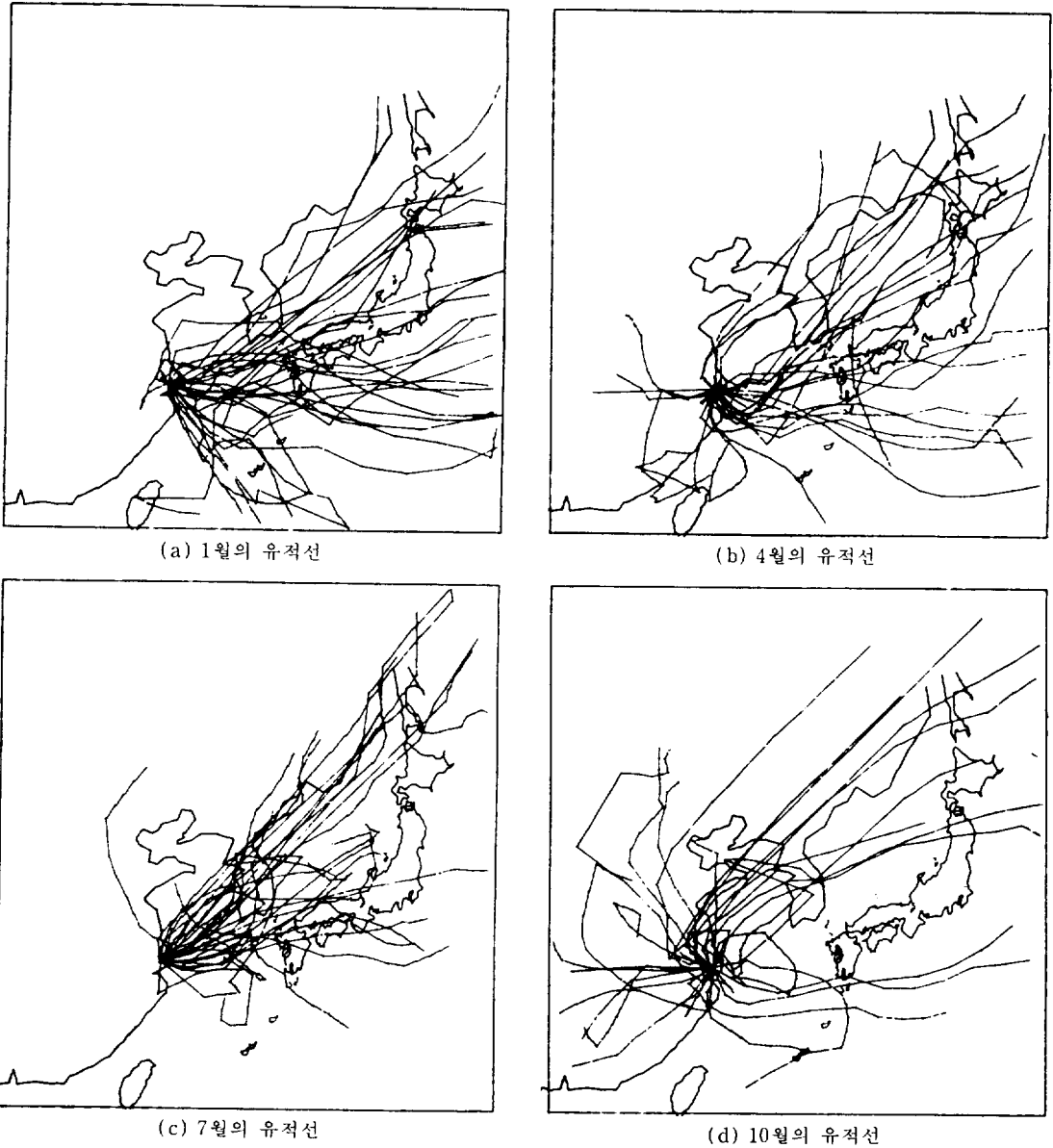


Fig. 5. Forward trajectories from Shanghai.

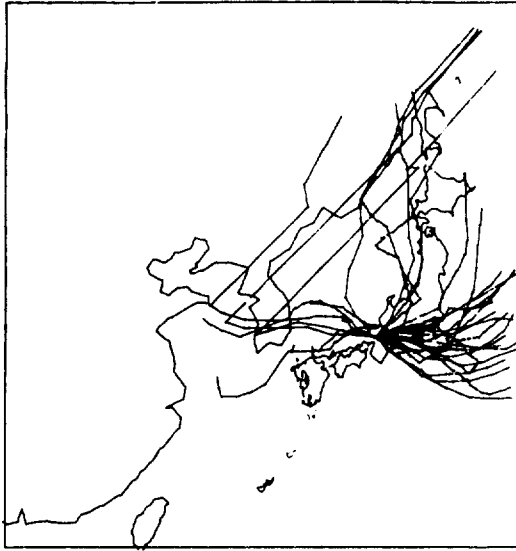
3.2 Forward trajectory 분석

중국의 공업화가 우리나라의 대기환경에 미치는 영향을 알아보기 위하여 오염물질이 많이 배출된다고 추정되는 지점에서의 forward trajectory를 월별, 계절별로 작성하였다. 목표지점은 많은 인구가 밀집되어 있는 북경과 공업화가 급속히 이루어지고 있는 상해지역으로 정하였으며 일본의 경우에는 오사카를 선정하였다. 이러한 이동경로 중 각 계절을

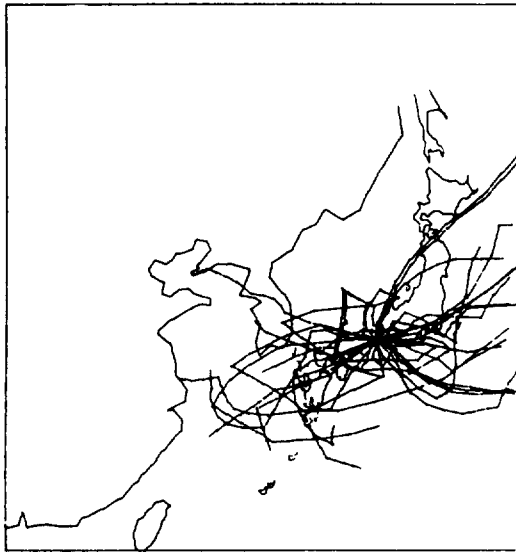
대표하는 1월, 4월, 7월, 10월의 forward trajectory를 분석하였다.

북경 및 상해 지역

1. 1월 : 북경지역의 이동경로를 보면 우리나라를 직접 관통하는 유적이 대부분이며 상해지역에서 나오는 유적선은 서풍으로 불어오고 있어 우리나라의 남부지방에 오염물질이 이동될 것으로 예상되므로



(c) 7월의 유적선



(d) 10월의 유적선

Fig. 6. Forward trajectories from Osaka.

따라서 겨울기간과 봄철 초기동안 우리나라에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 판단된다.

2. 4월 : 상공의 주흐름이 점차 남서쪽으로 이동하고 있어 북경지역의 영향을 적어졌지만 상해지역에서는 남서풍으로 오염물질이 수송되므로 남부 및 중부지방에 적잖은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

3. 7월 : 그림에서 보는 바와 같이 상공의 주흐름

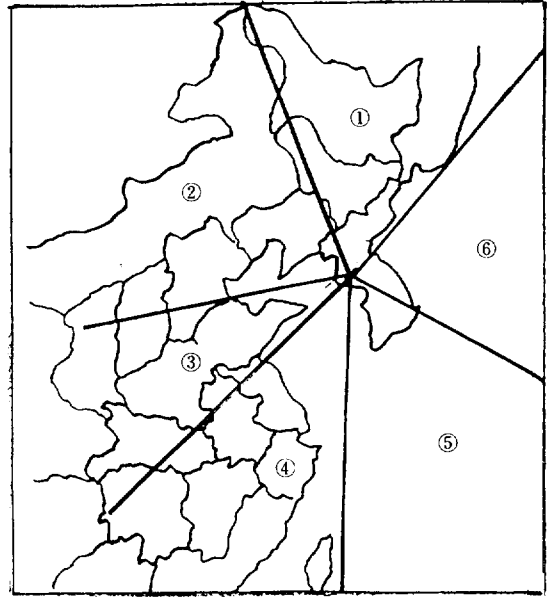
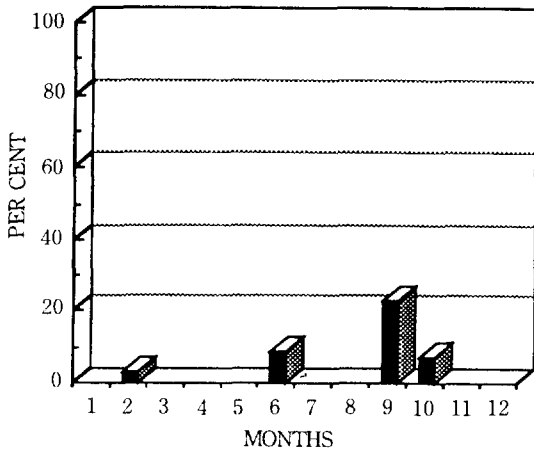


Fig. 7. Six sectors classified according to the direction.

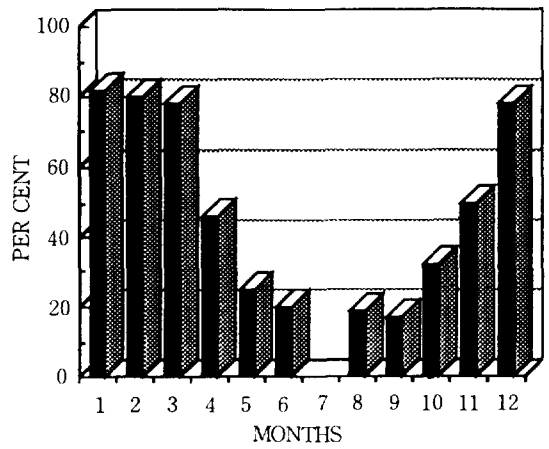
Table 1. Description of each area

Sector	포함된 지역	비고
1	길림성 : 흑룡강성	대부분이 산지이고 오염원이 별로 없음
2	북경 : 요녕성	각종 공업도시가 밀집되어 있고 가장 큰 오염원 지역
3	산둥성 지역	석유제품, 시멘트 등의 제조업이 발달되어 있고 오염원이 많은 지역
4	상해지구 ; 강서성	상해는 중국최대의 공업도시이고 공업화가 급속히 이루어지고 있음
5	태평양 지역	
6	일본 지역	많은 오염원이 산재함

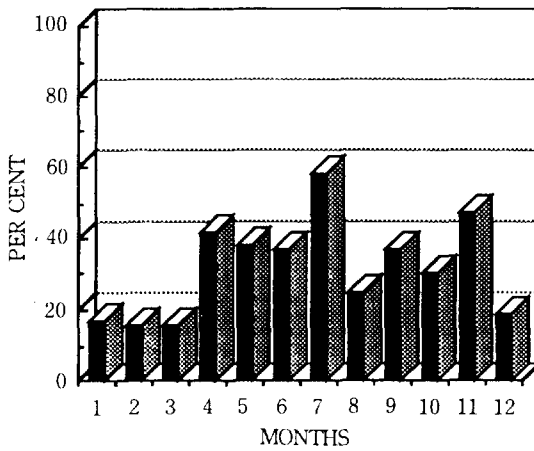
이 남서쪽으로 치우치고 있으므로 북경지역은 우리나라에 영향을 미치지 않는 것을 나타내고 있으나 상해지역은 오염물질의 수송방향의 대부분이 우리나라를 관통하는 남서풍이므로 이 때가 가장 상해지역의 영향을 받는 것으로 나타내고 있다. 이러한 경향은 앞에서 고찰해 본 backward trajectory와



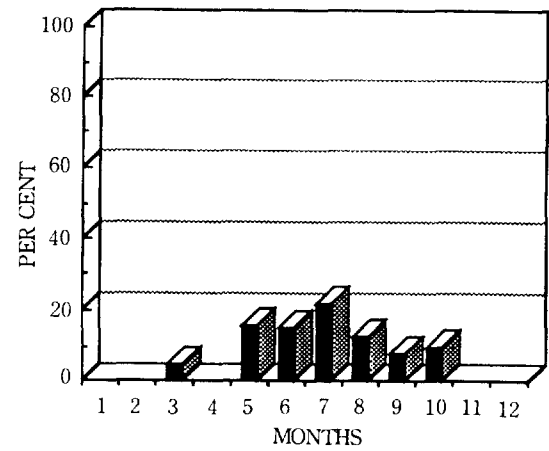
(a) sector 1



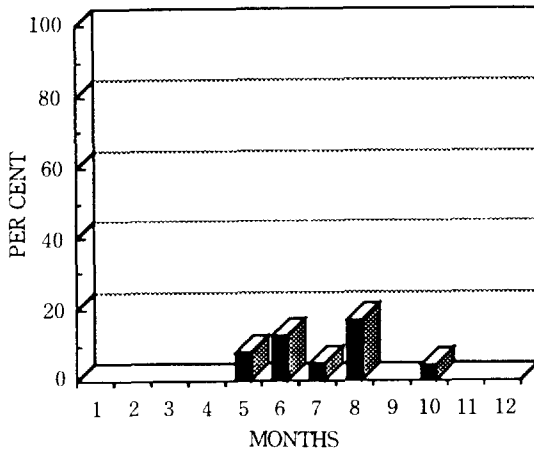
(b) sector 2



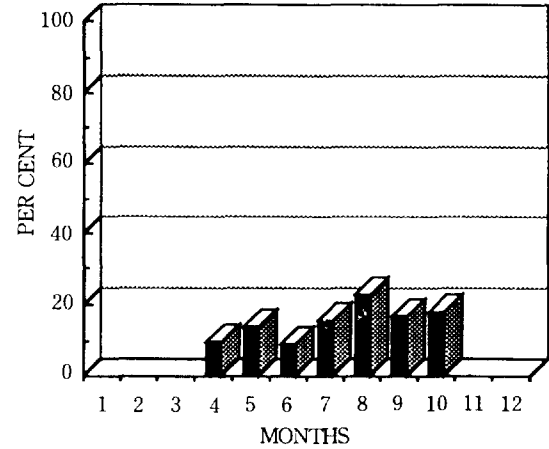
(c) sector 3



(d) sector 4



(e) sector 5



(f) sector 6

Fig. 8. Monthly frequency of each sector.

비교해 볼 때 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 10월 : 북경에서의 오염물질의 수송경로는 다시 서풍이 우세한 것을 나타내고 있어 우리나라 연안부근 지역에서의 피해가 예상되며 상해지역의 오염원은 대체적으로 중부지역에 영향을 미치고 있다.

오사카 지역

1. 7월 : 1월, 4월은 그림에서 보는 바와 같이 유적선은 주로 서풍방향으로 치우쳐 있으므로 영향을 미치지 않으나 여름에 들어서면서 고온 다습한 해양성의 북태평양 기단이 발달하면서 서풍과 함께 남동풍이 나타나고 있어 이 기간에 일본지역에서 발생한 오염물질이 우리나라 남부지방에 유입되는 것으로 판단된다.

2. 10월 : 가을철 상공의 주 이동경로는 여름철보다 동풍이 우세하게 나타나고 있으므로 이때에도 우리나라에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 forward trajectory를 계산한 결과 앞에서 살펴본 backward trajectory와 잘 일치하고 있음을 알 수 있었으며 이로써 우리나라에 주로 중국에서 발생한 오염물질이 유입된다는 것과 아울러 여름철과 가을철에 일본에서의 오염물질 유입도 확인하였다. 또한 계절에 따라 영향을 미치는 범위가 달라지므로 각 계절대별의 대기환경질 개선을 위한 대책을 마련하는 것이 시급하다 하겠다.

3.3 지역별에 따른 유적선 분류

본 연구에서는 서울을 기점으로 하여 계산한 1년간의 backward trajectory를 공기괴가 이동해 온 방향을 기준으로 6가지 방향으로 분류하여 각 형태의 유적선을 월별, 계절별의 분포도를 조사하였다. 이러한 분석을 통하여 우리나라에 미치는 오염원의 발원지를 보다 명확하게 파악할 수 있으며 계절에 따라 영향을 미치는 범위의 특성을 알 수 있을 것이다. 6개의 형태의 분류는 단순히 방위로 나눈 것이 아니라 그림 7을 토대로 하여 각 지역의 오염원의 특성을 기준으로 나누었다.

각 유적형태의 월별 분포

오염원이 그다지 많지 않은 지역 1의 경우 9월(23.1%)에 어느 정도의 빈도수를 보이거나 우리나라에 별 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 오염원의 비중이 가장 높은 지역 2의 분포를 보면 12월(78.2%)과 1월(82.1%), 2월(80.2%)에 빈도수가 가장 높은 것으로 나타나 이 지역의 오염원이 가장 큰 피해를 입히는 것을 알 수 있다. 지역 3의 경우는 겨울을 제외하고 골고루 분포하는 경향을 보이

고 있다. 지역 4의 경우는 7월(22.3%)의 유적선이 우리나라에 많이 유입되고 있었으며 아울러 일본 지역인 지역 6은 8월(23.1%)에 많은 비중을 차지하고 있다.

이상과 같은 결과를 종합적으로 고찰해보면 각각 봄철에는 지역 2와 3, 여름철에는 지역 3, 4, 6 가을철에는 지역 2, 3 겨울철에는 지역 2에 위치한 오염원들이 우리나라에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 전체적인 영향은 그림 9에서 보는 바와 같이 북경, 요녕성 지역이 가장 많이 영향을 미치고 있으며 산동성 부근의 오염원도 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 중국의 영향과 아울러 일본의 영향도 적지 않음을 확인할 수 있었다.

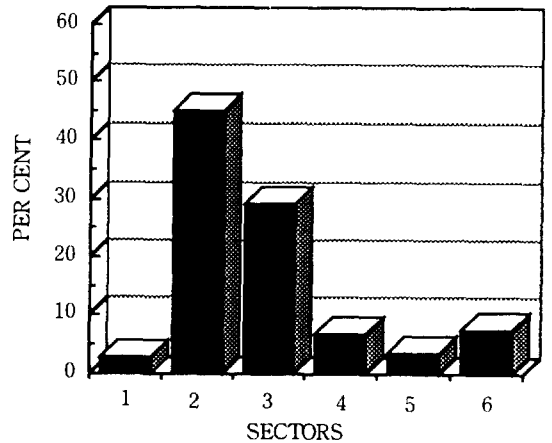


Fig. 9. Yearly frequency of each sector.

4. 결 론

본 연구에서는 소련과 일본을 포함하는 54개 관측소의 850mb면 자료(1986.5~1987.4)를 이용하여 서울을 기점으로 한 backward trajectory와 중국의 북경, 상해 및 일본의 오사카를 기점으로 한 forward trajectory를 월별, 계절별로 작성하여 우리나라에 유입되는 오염물질의 이동경로를 파악하였다. 또한 이렇게 작성된 유적선을 이동해 온 방향을 기준으로 6가지 형태로 분류하여 각 지역의 오염원이 우리나라에 미치는 영향을 살펴 보았다. 분석한 결과 중국에서 발생한 오염물질은 2~3일 내에 한반도를 통과하므로서 직접 우리나라의 대기환경에 피해를 주는 것으로 나타났다. 이러한 이동경로는 계절별로 뚜렷한 양상을 나타내었으며 전체적인 경향은 북서쪽에 위치한 북경; 요녕성 지역, 산동성 지역 순으로 큰 영향을 미치고 있었으며 또한 여름철

에는 중국과 함께 일본의 영향도 무시할 수 없음을 확인할 수 있었다.

이상의 연구결과를 검토해 보면 앞으로의 우리나라의 환경대책은 환경영향을 미치고 있는 관련국들의 협의와 아울러 긴밀한 협조체제를 구축해야 할 것이다. 특히 중국은 세계최대의 아황산 가스 배출국일 뿐 아니라 2000년 까지의 8, 9차 5개년 계획기간 중 대규모의 산업투자를 계획하고 있으므로 대기오염물질의 장거리 이동에 따른 환경피해가 더욱 심해질 것으로 예상된다. 따라서 한·중·일 3국과 소련, 대만 등 인접 관련국들의 환경분야 협조를 위한 동북아시아 환경권 구축이 매우 시급하다 하겠다.

금후의 연구과제로 산성비 원인물질의 대기 중 각종 화학 변화나 소멸형태를 검토한 후 중국연안의 오염 배출량을 산출하여 대륙으로부터의 오염물질에 대한 산성비의 현황을 정량적으로 분석해야 할 것이다.

참 고 문 헌

강인구, 장성기 외 다수(1991) 대기오염물질의 장거리이동과 산성비 강하에 관한 연구(Ⅲ), 국립환경연구원, 과학기술처 보고서.
 김정수, 강인구, 장성기(1992), 세정이론을 통한 산성비의 평가와 발원지 추적, 대기보전학회지, 8(2), 121-127.
 대한무역진흥공사(1988), 중국성·시·특구 경제 현황
 정용승, 김태군(1991), 대기오염의 장거리 이동 사례연구, 7(3), 197-202.
 중앙기상대(1986-1987), 고층기상월보 및 기상월보.
 大森多敏-(1988), 대기오염물질의 장거리 수송, 대기환경 개선을 위한 주요과제와 대책, 국립환경연구원, 17-63.

김선태(1993), 동북아시아 지역의 산성비에 관한 연구 (1), 대전대학교 산업기술연구소보 3(2), 49-59.
 김선태(1992), スヘクトによ 大氣擴散現象の數値 ッミュレツョソに關する 研究, 京都大學工學 硏究科 博士論文.
 윤순창 외 2인(1991), Isentropic Analysis for the Long-Range Transport of Yellow sands in East Asia, IUAPPA Regional Conference, 9-17.
 Anthony H.Knap(1988), The Long-Range Atmospheric Transport of Natural and Contaminant Substances, NATO ASI Series. 3-35.
 CRIEPI(1989), Acid deposition research at CRIEPI,
 Draxler, et al(1990), Sensitivity of Three Dimensional Trajectories to the Spartial and Densities of the wind Field, Journal of Applied Meteor.
 Jonathan D. Kahl and Perry J. Samson(1986), Uncertainty in Trajectory Calculations Due to Low Resolution Meteorological data, Journal of Climate and Appl. Meteor.
 Nelson L. Seaman, Philip L. Haagenson(1987), Tracer Verification of Trajectory Models, Journal of Climate and Appl. Meteor.
 Haltiner(1981), Numerical Weather Prediction, Wiley.
 R.S Sconer(1990), Meterology of Air Pollution, Ellis Horwood.
 Sanders(1980), Programming Calcomp Electromathematical Plotters,
 Warren B. Johnson(1980), Interregional exchanges of air pollution : Model types and applications, Plenum Press. 3-41.