

# 제주도에 수송되는 황사의 사례분석

이 기 호·허 철 구

## On the yellow sand transported to Cheju Island

*Ki-Ho Lee and Chul-Goo Hu*

### Summary

This study is carried out to investigate the characteristics of the yellow sand transported to Cheju island on 1995 and its influence on the concentration of TSP at Cheju area. For this purpose, the collection of TSP is conducted by using a high volume air sampler and the analyses of weather maps is also performed.

By the analysis of weather maps, it can be seen that the yellow sand occurred at Cheju area on March 1995 is transported from the upstream of the Yellow River via Shanghai region. The duration time for this case is 32 hours at Cheju area. Although the source regions of yellow sand occurred on April are not clearly inferred on the weather maps, it can be confirmed that the bend of yellow sand is flowed to Cheju area followed by cyclone passage with cold front passing the Korean peninsula. It can be also confirmed that the circulation associated with the yellow sand is characterized by the westerly to north-westerly of 40~50 knots in the 700hPa layer and southward movement of cold core.

The concentration of TSP when the yellow sand occurs is increased over 4 times than normal period.

## I. 서 론

국지적인 대기오염문제는 각 국가에서 자체적으로 대책을 수립하는 것이 가능하고 실제로 선진국에서는 대기중 오염물질

의 농도가 낮아지고 있는 실정이다. 반면에 비교적 안정한 물질들이 대기중으로 방출되면 이류, 확산에 의해서 궁극적으로는 지구 전체로 넓게 퍼져나가 산성비, 지구온난화 및 오존층 파괴와 같은 광역적 지구

환경문제가 나타나게 된다. 따라서 최근의 대기오염 문제의 중요성은 국지 규모의 문제로 부터 대륙간 또는 전 지구적인 규모의 대기오염문제로 확대되고 있다<sup>1)</sup>. 이런 광역적인 대기오염 문제의 대표적인 예가 산성비인데, 산성비는 SO<sub>2</sub>와 질소산화물 등의 1차오염물질이 배출되어 대기중에서 여러 경로를 거쳐 산화되어 최종적으로 황산과 질산이라고 하는 강한 산으로 되고 비, 호수, 토양 등을 산성화시킨다<sup>2)</sup>. 유럽지역의 예를 들면, SO<sub>2</sub>와 질소산화물등이 집중적으로 배출되는 유럽중앙부로부터 수백 km 이상 떨어진 지역까지 수송되면서 국경을 넘어가 오염물질 배출이 적은 청정 지역인 북부유럽 지역에 피해를 입히는 광역 환경문제가 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 국가간 협약이 필요하게 되었고, 유럽에서는 “長距離越境大氣汚染條約”, 미국과 캐나다간에는 “越境汚染에 관한 합의각서” 등이 체결된 바 있다<sup>23)</sup>.

우리나라를 포함한 극동아시아 지역은 중국 동부연안을 중심으로 급속한 산업화에 따라서 대기오염물질 또한 대량으로 방출되고 있다. 이로 인해 편서풍의 영향하에 있는 한반도 주변에서는 한, 중, 일본 간의 환경문제로 비약할 가능성이 대단히 높은 실정이다. 특히 극동아시아 지역에서는 봄철로 접어들면서 기온이 상승하고 건조한 날이 지속되면 중국북부의 타클라마칸, 고비, 알라산 사막과 황하유역의 광활한 황토지대에서 발생한 다량의 흙먼지가 한랭전선을 동반한 저기압의 강한 상승기류를 타고 상승하여 1~3km 상공의 강한 편서풍을 타고 풍하측으로 이동되어 우리나라 및 일본을 거쳐 멀리 화와이까지도 이동되는 자연현상인 황사라고 하는 뚜렷한 수송형

태가 매년 봄철을 중심으로 발생하고 있다. 이러한 황사는 대기의 혼탁도 증대, 태양에너지 유입의 감소, 강수 빙정핵으로서의 역할외에도 미세 입자의 침투로 인한 정밀기계 손상과 호흡기 질환, 안질환 등 건강과 일상생활에 미치는 영향이 크다<sup>4-6)</sup>.

대기중에 부유하고 있는 입자의 크기가 큰 경우에는 대기중에 체류시간이 짧아 장거리 수송이 불가능하지만 20 $\mu$ m이하의 크기를 갖는 입자는 장거리 수송이 가능하다고 알려져 있다. 황사의 크기는 직경이 0.2~20 $\mu$ m이며, 대부분은 0.4~12.0 $\mu$ m에 분포한다고 보고하고 있다. 통상 황사는 1~2 $\mu$ m 이상의 초대입자군에 속하며, 이들 입자는 대기 에어로졸의 주요한 성분이 된다고 알려져 있다<sup>9-11)</sup>.

황사현상시 대기중에는 토양성분인 금속 성분 즉 Si, Al, Fe, Cu, Mn, Na, Mg, Ca, K, Pb, Cd 등의 산화물이 많이 함유되어 있다<sup>5)</sup>. 그외에도 해염유래 성분들인 Na, Mg, Cl 성분들도 수송중에 함유될 수 있다. 그리고 대기중에서 화학적인 현상으로는 대기중에 상승한 토사가 장거리 이동시에 대기중의 SO<sub>2</sub>를 황산으로 산화시키는 촉매의 역할을 한다고 알려지고 있다<sup>12,33)</sup>. 더욱이 최근 중국의 공업발전에 따른 황해연안의 개발과 에너지 수요의 증가로 인해 대규모의 대기오염물질이 방출되고 있으므로 이들 물질이 우리나라에 미칠 영향이 우려되고 있다. 따라서 토양입자의 장거리 이동에 의해 생성된 황사현상에 관한 연구는 우리나라 대기중 에어로졸에 미치는 영향을 해명할 뿐 아니라 중국에서 배출된 대기오염물질의 장거리 이동에 대한 지표로서 그 해석의 필요성이 대두되는 등 여러 측면에서 연구의 중요성이 인식되고 있다.

지금까지 황사의 영향에 관한 우리나라의 연구는 대부분이 육지지역을 중심으로 행해져 왔다. 그렇지만 육지 지역에서는 주변에 산재된 자체오염원에 의한 영향을 무시할 수 없기 때문에 자연적인 현상인 황사의 영향을 평가함에 있어서는 주변에 위치한 인위적 오염원의 영향을 상대적으로 무시할 수 있는 청정한 지역에서 평가하는 것이 보다 타당하다고 생각된다. 제주도는 이러한 인위적 오염원이 거의 없는 청정한 지역일 뿐 아니라 중국, 한국, 일본을 잇는 황사이동 경로의 중앙에 위치하고 있어 황사의 관측 및 황사현상에 의한 대기 에어로졸 조성변화를 평가함에 있어 최적지라 볼 수 있다. 또한 아직까지 제주지역에서 황사의 출현 및 그 영향에 대한 연구가 수행되지 못해 기초자료가 부족한 실정으로 기초자료 확보가 시급할 뿐 아니라 황사가 청정지역인 제주지역에서 대기 에어로졸 조성에 미치는 영향 또는 그 특징을 평가하는 것은 중요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 제주지역 대기중 에어로졸의 조성에 미치는 황사의 영향을 살펴보기에 앞서 우선 1995년 제주지역에 출현한 황사를 지상 일기도에 근거하여 이동 경로와 지속시간등을 분석하고, 그때 부유분진의 농도변동 특성을 살펴보고자 하였다.

## I. 문헌 연구

황사는 지상 기상 관측 지침에 의해 관측되며, 그 강도를 시정과 하늘의 상태에 따라 0, 1, 2로 나타낸다. 이러한 지상에서의 황사 관측은 대개 목측에 의존하기 때

문에 관측자에 따라서 다소의 견해차이가 존재할 수 있으며, 일몰 후나 강수현상시에는 관측이 불가능하다. 따라서 최근 일부 황사 연구에서는 항공기상의 정밀한 관측장비를 이용한 정확한 시정자료를 이용하거나, GMS-4 가시광선영역의 구름사진과 NOAA 위성사진을 이용하여 분석하기도 한다.

여기서는 우선 한반도에서 과거에 지상에서 관측된 황사의 사례를 통하여 한반도에 나타나는 황사의 전반적인 특징을 살펴보고자 한다.

### 1) 황사관측일

1970년부터 1994년까지 우리나라의 춘천과 서울지역에서 관측된 황사 일수를 Fig. 1에 나타냈다<sup>4,15)</sup>. 춘천에서 1970년~1989년에 걸쳐 과거 20년동안 지상 관측된 황사 사례를 보면, 총관측일수는 61일로서 연간 3일정도이며, 주로 3~5월에 나타나며 그 중에서 4~5월에 전체의 77%를 보였고, 77년에는 2월에도 5일간이나 황사가 관측되었다.

1986년부터 1993년까지 8년동안 서울에서 관측된 황사일수를 보면 총 41일로서 년평균 5일 정도이며 1989년이후로 매년 꾸준히 증가하여 1993년에는 14일로 가장 많이 관측되었다. 서울에서의 월별 관측일수를 보면 4월에는 총 29일로 전체의 71%, 5월에는 11일이 발생하여 27%를 차지하였다. 황사현상은 그 범위가 광범위하므로 한반도 전체의 종관적인 기상상황의 상관성을 고려하여 볼 때, 우리나라에서는 매년 평균 4회 정도의 황사가 관측되는 것으로 나타나고 있다.

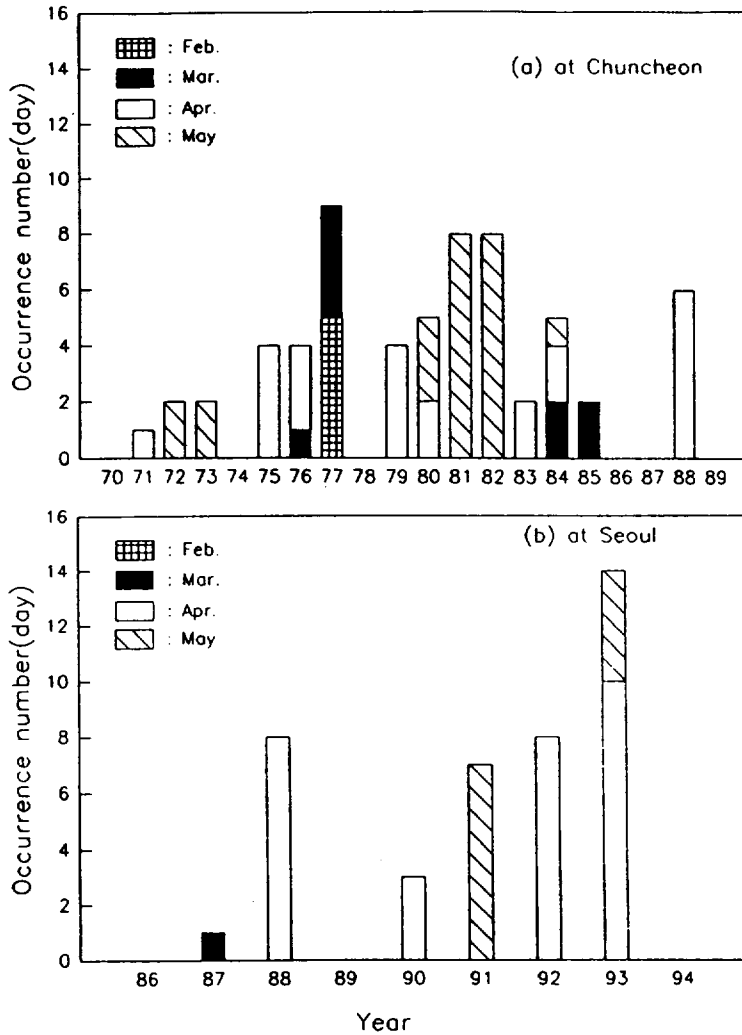


Fig. 1. The occurrence number of days on which the yellow sand was observed during the period of 1970~1994 : (a) at Chuncheon (b) at Seoul.

## 2) 발원지

Yutaka 등<sup>16)</sup>은 일본 상공에 운반된 모래 먼지의 성분을 분석하여 그 발원지가 Taklamakan 사막으로부터 Gobi, A-la shan 사막 등지와 황하상류의 황토지역 부근이라고 추정한 바 있으며 현재는 이들 지역이 황사의 발원지로 널리 알려져 있다. 황사 발원지의 지리적 위치는 Fig. 2와 같다.

황사는 대개 전선을 동반한 저기압의 통

과 후 대륙성 고기압의 세력확장에 의해서 발생하므로 황사의 발생빈도는 3월말부터 5월초까지 통과하는 기상구조의 출현회수에 좌우되는데, 대체로 황사는 4~5회 발생하며 그 중 한반도로 이동 및 침적되는 황사구름은 평균 1~2회 발생한다. 조<sup>17)</sup>는 1976년부터 1985년까지 서울에서 관측한 황사의 빈도가 평균 1~3회임을 이미 밝힌 바 있다.

1970년에서 1989년까지 춘천지방에서 20년 동안 관측된 26회의 황사를 발원지별로 구분해 보면(Table 1), 10회가 황하상류지역

및 A-la shan 사막에서, 9회가 Taklamakan 사막에서, 7회가 Gobi 사막에서 발생한 것으로 나타나고 있다<sup>15)</sup>.

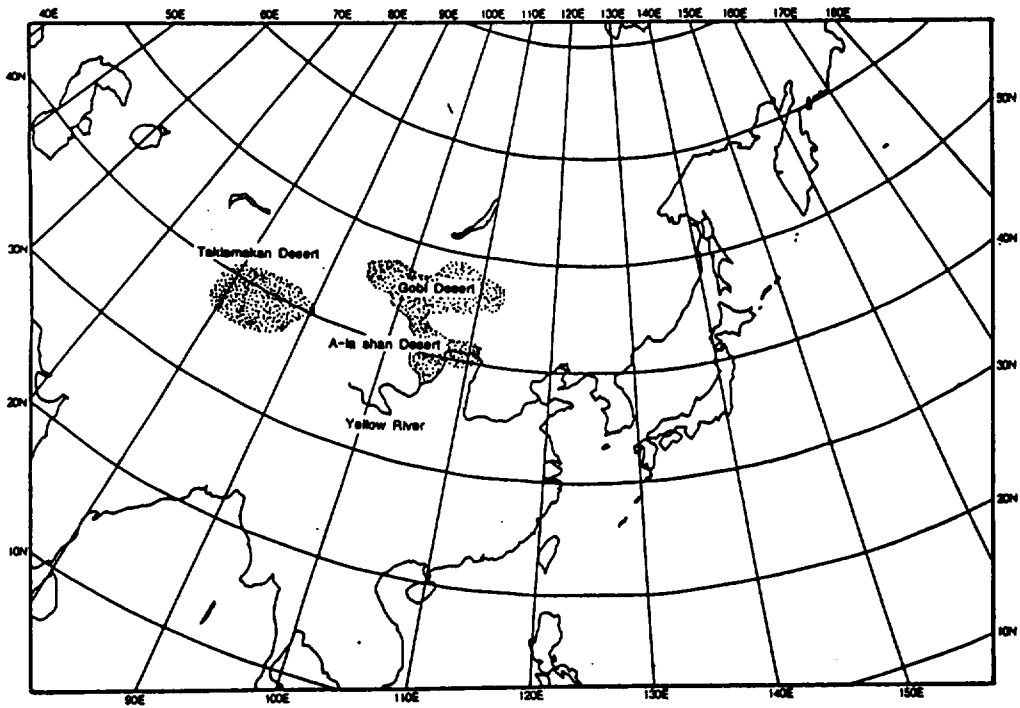


Fig. 2. The main origins of yellow sand.

Table 1. Number of occurrence for the main origins of the yellow sand

| Source Region                                     | Month |      |      |     | Total | Ratio |
|---|-------|------|------|-----|-------|-------|
|   | Feb.  | Mar. | Apr. | May |       |       |
| Taklamakan Desert                                 | 1     | -    | 5    | 3   | 9     | 34.6  |
| Gobi Desert                                       | -     | 2    | 2    | 3   | 7     | 26.9  |
| Upstream of the Yellow River and A-la shan Desert | -     | 3    | 4    | 3   | 10    | 38.5  |
| Total   | 1     | 5    | 11   | 9   | 26    | 100.0 |

### 3) 황사 지속시간

한반도에서의 황사지속시간을 Table 2에서 보면<sup>15)</sup>, 황사의 평균지속시간은 32시간이며, 조<sup>17)</sup>는 서울지역을 중심으로 한 지속시간을 약 2일로 발표한 바 있다. Table 2에서 보는 바와 같이, 과거 20년동안 춘천지방에서 관찰된 황사의 경우, 지속시간이 24

시간 미만인 경우는 46.2%이고, 24시간 이상이 53.8%였으며 그 중에서도 1~3일이 42.3%로 가장 많았음을 알 수 있다. 1993년 청주에서 관찰된 황사를 보면, 총 5회의 황사중에서 2회가 24시간 미만의 지속시간을 보였고 3회는 1~3일의 지속시간을 보인 것으로 보고한 바도 있다<sup>8)</sup>.

Table 2. Monthly number of occurrence for each duration class of the yellow sand over Korean peninsula

| Hour    | Month |      |      |      | Total | Ratio      |
|---------|-------|------|------|------|-------|------------|
|         | Feb.  | Mar. | Apr. | May  |       |            |
| <3      | -     | -    | 1    | 2    | 3     | 11.5       |
| 3~6     |       | 1    | 2    | -    | 3     | 11.5       |
| 6~12    |       | 1    | 1    | 1    | 3     | 11.5       |
| 12~24   |       | 1    | 2    | -    | 3     | 11.5       |
| 24~48   |       | 2    | 2    | 3    | 7     | 26.9       |
| 48~72   |       | -    | 2    | 2    | 4     | 15.4       |
| 72~96   | 1     | -    | -    | 1    | 2     | 7.7        |
| 96≤     |       | -    | 1    | -    | 1     | 3.8        |
| Tota    | 1     | 5    | 11   | 9    | 26    | 99.8       |
| Average | 84.0  | 18.4 | 30.1 | 36.1 | 32.0  | (1.3 days) |

유<sup>15)</sup>은 황사의 지속시간을 발원지와 관련지어 살펴본 결과(Table 3), Taklamakan 사막에서 발생한 황사는 한반도에서 평균 59.7시간이 지속되었고, Gobi 사막에서 발원한 황사의 경우에는 22.3시간, 황하상류 및 A-la shan 사막에서 발원된 황사는 13.8시간인 것으로 보고한 바 있다. 즉, 발원지가 한반도에서 멀수록 한반도에서 황사의 지속시간이 길게 나타난다는 것이다. 이는 발원지가 먼 곳에서 발생한 황사는 상층의 풍속에 연관되어 오랜 시간동안 수송되어 오면서 넓은 지역으로 분포되기 때문인 것으로 추정하고 있다.

### 4) 황사의 수송

#### 가. 수송시간

황사의 발원지로부터 한반도까지 수송되는데 소요되는 시간을 알기 위해서 지상일기도를 근거로 수송시간을 파악한 결과를 Table 4에 제시했다. 표에서 보면, 한반도에서 가장 먼 곳에 위치한 Taklamakan 사막으로부터는 평균 85.8시간, Gobi 사막으로부터는 55.3시간, 황하상류역과 A-la shan 사막으로부터는 43.3시간으로 나타나고 있다<sup>15)</sup>. 1990년 4월 8일부터 한국에 3~4일간

Table 3. Number of occurrence for each duration class of the yellow sand over the Korean peninsula depending on each origin

| Hour    | Source region |      |                          | Total |
|---------|---------------|------|--------------------------|-------|
|         | Taklamakan    | Gobi | Yellow river & A-la shan |       |
| <3      | -             | 2    | 1                        | 3     |
| 3~6     | 1             | -    | 2                        | 3     |
| 6~12    | -             | 1    | 2                        | 3     |
| 12~24   | -             | 1    | 2                        | 3     |
| 24~48   | 1             | 3    | 3                        | 7     |
| 48~72   | 4             | -    | -                        | 4     |
| 72~96   | 2             | -    | -                        | 2     |
| 96≤     | 1             | -    | -                        | 1     |
| Total   | 538           | 156  | 138                      | 832   |
| Average | 59.7          | 22.3 | 13.8                     | 32.0  |

지속된 황사와 4월 26일에 관측된 황사의 수송경로를 분석한 결과를 보면, 2000~3000km의 거리를 2~4일에 이동한 후 한국에 상륙한 것으로 보고된 바 있으며<sup>10)</sup>, 1993

년 4월 23일 오전부터 29시간정도의 지속시간을 보인 청주에서 관측된 황사의 경우 한반도까지 이동하는데 48~60시간이 경과한 것으로 보고된 바 있다<sup>9)</sup>.

Table 4. Number of required time(hours) for the transportation of the yellow sand from origins to Korea

| Hour      | Source region |      |                          | Total |
|-----------|---------------|------|--------------------------|-------|
|           | Taklamakan    | Gobi | Yellow river & A-la shan |       |
| 96~108    | 3             | -    | -                        | 3     |
| 84~96     | 4             | -    | -                        | 4     |
| 72~84     | 1             | 1    | -                        | 2     |
| 60~72     | 1             | 1    | 1                        | 3     |
| 48~60     | -             | 4    | 3                        | 7     |
| 36~48     | -             | 1    | 5                        | 6     |
| 24~36     | -             | -    | 1                        | 1     |
| Total(hr) | 772           | 387  | 434                      | 1593  |
| Average   | 85.8          | 55.3 | 43.4                     | 61.5  |

나. 황사 수송시의 기압패턴

황사가 한반도에 수송되어 올때의 기압 패턴을 살펴보면(Table 5), 대부분의 경우 지상에서는 한랭전선을 동반한 저기압이 통과할 때로서 그 중에서도 만주지방을 통과하는 경우가 대부분이었던 것으로 보고 되어 있다. 그리고 상층에서는 30~50 knots의 W-NW풍이 불며 특히 500mb층에서 냉핵(cold core)의 남하가 뚜렷하였다고 보고되어 있다. 이러한 기압계가 갖추어지

지 않으면 발원지에서 황사가 발생하여도 한반도에서는 전혀 황사가 관측되지 않았던 것으로 보고하고 있다<sup>15)</sup>. 정과 김<sup>16)</sup>도 1990년 4월에 발생된 황사의 경우 한랭전선 후면의 고기압대에서 황사가 발생하여 발해와 황하를 거쳐 중국 북부의 황토지대와 몽고에서 유입된 것으로 제시한 바 있다. 이런 경우에 대한 사례로써 1993년 4월 23일~24일 청주에서 관측된 황사를 보면 발원지가 고비사막 남동부와 황하상류 건조

Table 5. Number of days with the pattern of pressure system when yellow sand was transported

| Pressure feature                                       | Month |      |      |     | Total | Ratio |
|--|-------|------|------|-----|-------|-------|
|  | Feb.  | Mar. | Apr. | May |       |       |
| Low passed over the Manchuria (with cold front)        | 1     | 4    | 9    | 7   | 21    | 80.8  |
| Low passed over the Korean peninsula (with cold front) | -     | 1    | 1    | 1   | 3     | 11.5  |
| Trough (the edge of high)                              | -     | -    | 1    | 1   | 2     | 7.7   |
| Total  | 1     | 5    | 11   | 9   | 26    | 100.0 |

Table 6. Number(day) of the yellow sand occurrences in non-yellow sand years of Korea

| Year  | Month |      |     | Total |
|-------|-------|------|-----|-------|
|       | Mar.  | Apr. | May |       |
| 70    | 2     | 13   | 7   | 22    |
| 74    | 2     | 5    | 3   | 10    |
| 78    | 5     | 12   | 3   | 20    |
| 86    | 7     | 9    | 9   | 25    |
| 89    | 9     | 7    | 5   | 21    |
| Total | 25    | 46   | 27  | 98    |



지역이었으며, 강수없이 발달한 저기압 후면에서 돌풍과 함께 발생하여 남동진하다가 남서기류를 타고 한반도로 유입된 것으로서 황사가 소멸된 24일에는 500hPa와 700hPa, 850hPa 상층기류는 한반도의 북쪽인 북만주와 몽고 동쪽에서 유입되므로서

기온이 5~6도 하강하였고 이때에 북서풍이 불었던 것으로 보고되었다<sup>8)</sup>.

과거 20년 동안 한반도에서 황사현상이 관측되지 않았던 해(Fig. 1)에도 당시의 일기도를 살펴보면 황사발원지에서는 Table 6과 같이 황사가 빈번하게 발생하였으나

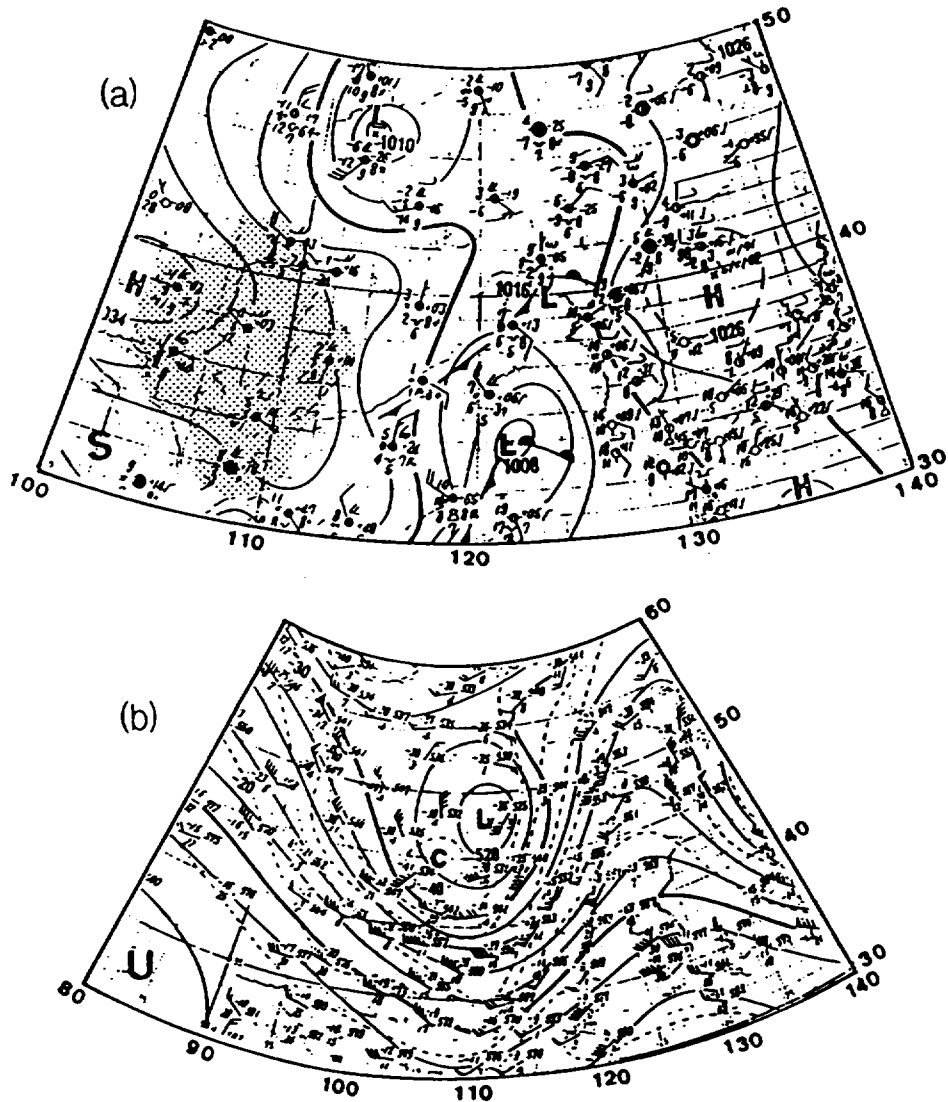


Fig. 3. The typical weather maps of sea and 500hPa levels when yellow sand was transported to Korean peninsula. The shaded area is a region of yellow sand observed : (a) sea level, (b) 500hPa.

앞에서 언급한 수송 기압계를 갖추지 못하여 한반도에서는 황사현상이 없었다고 보고되었다. Tanaka 등<sup>9)</sup>도 저기압의 활동에 따라서 황사현상이 일본에서는 나타나지 않아도 한국과 중국에서는 관측된다고 보고한 바 있다.

Fig 3는 중국대륙에서 황사가 발생하여 한반

도로 수송된 경우의 대표적인 지상 및 500mb의 분석 일기도이고 Fig 4은 중국대륙의 황사가 한반도로 수송되지 못한 경우에 대한 지상 및 500mb의 일기도를 나타낸 것이다<sup>10)</sup>. Fig 3에서 보면, 발달한 지상 저기압 뒷면의 중국대륙에는 황사구역(음영부분)이 뒤따르고 있고, 500mb 고

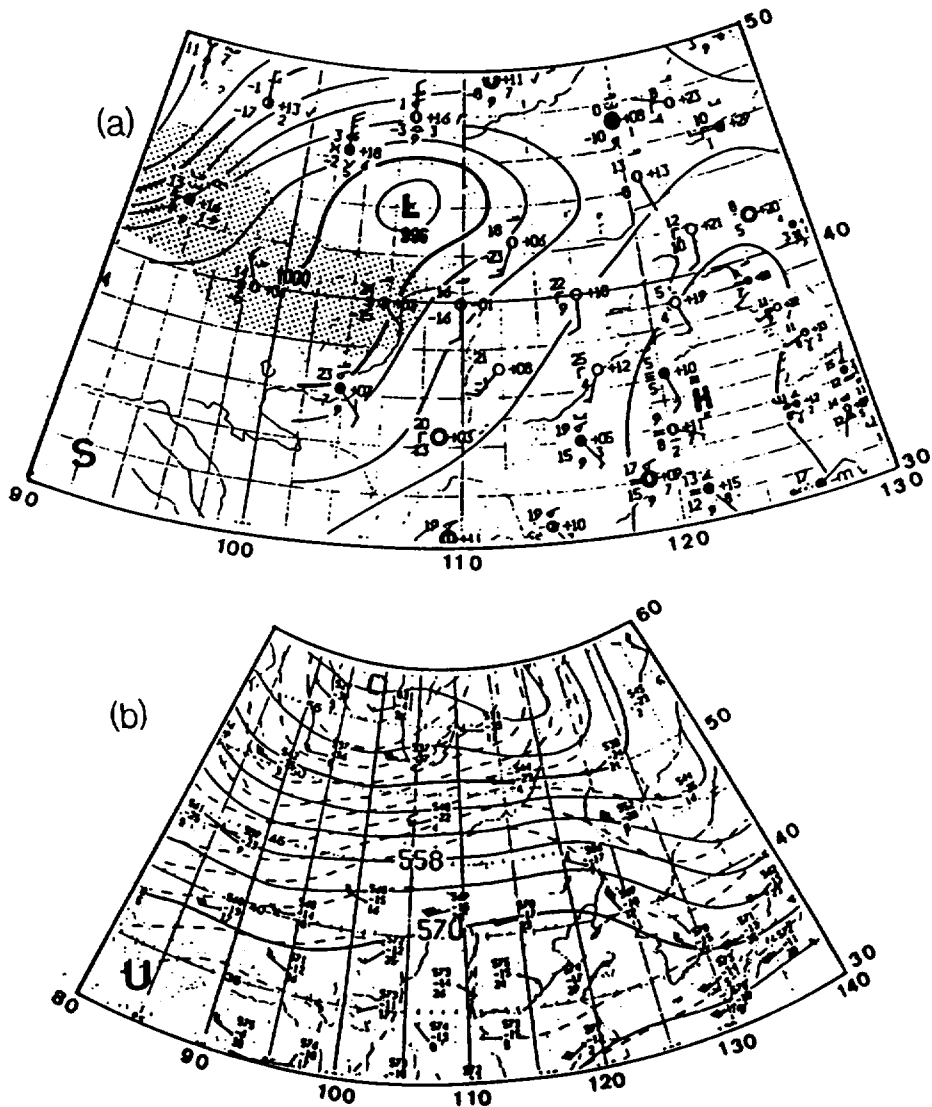


Fig. 4. The typical weather maps of sea and 500hPa levels when yellow sand was not transported to Korean peninsula. The shaded area is a region of yellowsand observed : (a) sea level, (b) 500hPa.

도에서는 40~80knots 정도의 W-NW 풍이 한반도로 유입되고 있으며 특히 냉핵(cold core)의 남하가 뚜렷함을 알 수 있다.

Fig 4과 Fig 3의 기압 패턴을 비교해 보면, 지상기압계는 비슷하지만 상층에서는 유입되는 바람의 속도와 방향이 다르며 냉핵의 남하도 없음을 알 수 있다. 다시 말하면 상층풍계는 강한 W-NW류가 아닌 20~30knots 정도의 SW류가 지배적이며 냉핵의 중심부는 상당히 고위도에 북편해 있음을 알 수 있다<sup>15)</sup>. 1994년 4월과 5월의 봄철에도 중국의 북동부 건조지대와 고비사막 근처에서 7회의 강한 먼지폭풍 또는 황사가 1~3일간 지상에서 관측되었으나 한반도의 기상관측소에서는 한 차례의 황사현상도 관측되지 않은 것으로 기록되었다. 통상 황사의 관측은 목측에 의존하기 때문에 인식할 만한 황사에 의한 시정감소가 초래될 때만 황사현상으로 간주하게 되므로 다분히 주관적인 면이 내재된 때문일 수도 있다. 1994년 봄철에 상공에서 항공기로 관측한 결과에 의하

면 한반도 상공에 세차례의 황사유입이 있었던 것으로 보고되었다<sup>8)</sup>. 결국 한반도에서 황사현상이 기상관측소에 의해 관측되지 않더라도 상층의 황사 주 흐름대에서는 황사의 유입이 있고, 상층의 황사는 지상에서 기록된 황사보다 훨씬 많이 나타나고 있음을 알 수 있다.

### Ⅲ. 연구 방법

#### 1. 시료채취 지점

채취지점은 Fig. 5와 같다. 총부유분진(TSP)의 채취는 주변에 인위적 오염원이 없는 제주시 외곽에 위치한 제주대학교(S1)에서 실시하였다. 제주대학교는 해발 300m 정도에 위치하고 있으며 주변지역은 산림지역이고 북쪽의 해안선과 7km 떨어져 있으며 북쪽으로 제주시 중심부가 위치해 있다. 그리고 본 연구에서는 환경부에서 운

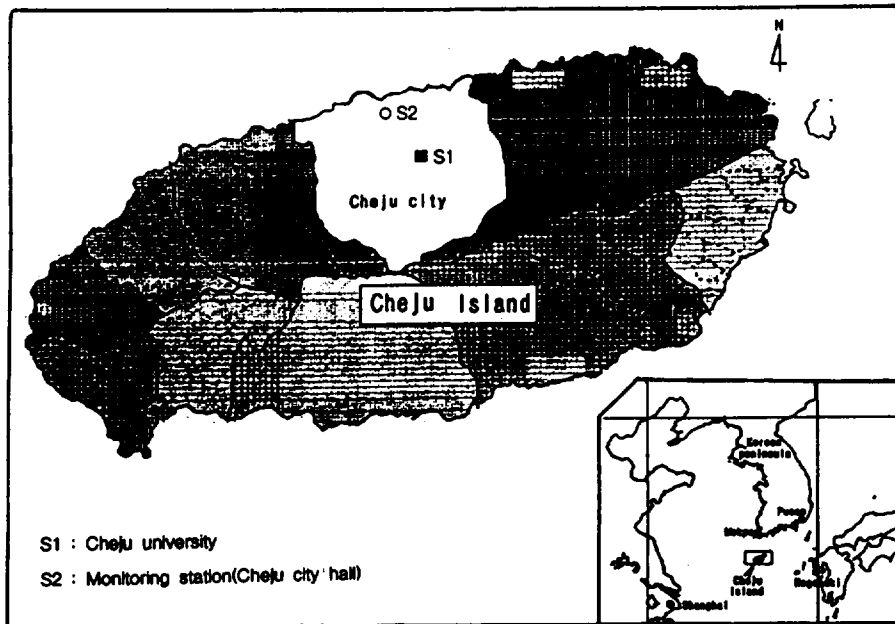


Fig. 5. The sampling station of TSP and the monitoring station of PM-10.

영하고 있는 제주시 대기질 자동 측정소 (S2)에서 연속 측정하고 있는 PM-10 자료도 참고로 이용하였는데 이 S2지점은 제주시의 구시가지에 위치한 제주시청으로서 해발 70m지점에 위치하고 있으며 주변에 차량왕래가 빈번한 도로변 지역이다.

## 2. 시료채취

대기중 총부유분진의 채취에는 2대의 High volume air sampler(Andeson B/M 2000A)를 이용하여 두 지점에서 24시간 분진을 포집하였다. 분진의 포집시 흡인유량은 12m<sup>3</sup>/min으로 등속 흡입하였으며 유량은 수은 마토미터를 이용하여 보정하였다. 이때 여지는 사각 유리 섬유여지(8"×10")를 사용하였다. 분진채취가 완료된 여지는 즉시 회수하여 Dry Oven에 넣고 110℃에서 항량하여 시료채취 전,후의 무게를 측정하여 부유분진량을 구하였다.

분진시료의 채취기간은 제주지역의 일상적인 분진 농도를 알아볼 수 있도록 1994년 10월부터 1995년 12월까지 계절별로 4회를

기준으로 설정하였다. 그리고 제주지역 대기중 부유분진에 대한 황사의 영향을 관찰하기 위해 황사시기를 전후로 8일간(4월 3일~4월 10일) 연속 포집도 실시하였다. 본 조사 기간 동안에 채취된 부유분진의 시료 수는 S1 지점에서 총 30개였다.

그리고 지상 및 상층의 일기도는 기상대에서 제공되는 일기도 및 일기상통계표를 사용하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 제주시 부유분진의 계절변동

제주시 지역의 대기중 부유분진의 계절별 변동 특성을 파악하고자, 본 총부유분진 측정자료, 1994년 11월부터 1995년 10월까지 제주시 대기질 자동 측정소(S2)에서 측정된 부유분진(PM-10) 자료 및 타 연안지역에서 측정된 자료를 상호 비교하여 Table 7에 나타냈다.

Table 7. Seasonal variation of particulate matter at various cities( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Site \ Season | This study* | Cheju (1)** | Pusan (2)** | Changwon (3)** | Taeon (4)** | Nagasaki (5)* |
|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|---------------|
| Spring        | 70.6        | 50.3        | 123.0       | 68.0           | 75.0        | 40.0          |
| Summer        | 28.5        | 34.3        | 96.7        | 42.0           | 36.0        | 32.0          |
| Autumn        | 39.0        | 43.7        | 102.0       | 65.3           | 40.5        | 34.3          |
| Winter        | 27.8        | 33.9        | 102.0       | 64.3           | 57.0        | 34.0          |
| Average       | 41.5        | 40.6        | 105.9       | 59.9           | 52.1        | 35.1          |

(1) : Cheju City (Monitoring Data), 1994. 11. ~ 1995. 10.

(2), (3) : 환경부 환경연감(TSP monitoring data), 1994

(4) : 국립환경연구원, 1992

(5) : 日本 長崎縣保健環境部, 1992

\* : PM-10 data

\*\* : TSP data

표 7에서 제주시 지역에서의 계절별 부유분진 농도 변화를 보면, 봄철에 부유분진의 농도가 비교적 높고 여름철에 낮아지는 경향임을 알 수 있다. 이런 변동은 우리나라의 다른 연안지역 및 일본의 연안도시에서의 변동 특성과 유사함을 알 수 있다. 여름철에 전반적으로 부유분진의 농도가 감소하는 것은 여름철에 강수가 타 계절에 비해 잦은 관계로 강수에 의한 세정효과가 크기 때문이다. 그리고 봄철에 부유분진 농도가 높게 나타나는 것은 제주지역을 포함한 한반도 및 일본 등 동북 아시아 지역에서 매년 봄철에 출현하는 황사와 같은 자연적인 요인때문으로 생각된다<sup>6,19)</sup>.

## 2. 제주도의 1995년 황사 사례

1995년 봄철에 기상청에 의해 3회의 황사를 예보하였으나, 제주지역에서는 실제적으로 3월과 4월에 각각 1회씩 황사 관측이 이루어진 것으로 일기도상에 나타났다. 앞에서 이미 언급한 바와 같이, 황사의 지상관측은 대개 목측에 의존하고 있기 때문에 일몰 후에 출현하는 황사를 관측하기 어려울 뿐 아니라 관측시에 관측자의 주관적 판단이 내재될 수 있을 뿐만 아니라 황사의 강도를 정량적으로 관측할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 황사가 출현하면 대기중 부유분진 농도가 평상시에 비해 크게 증가하는 것이 뚜렷한 특징이므로 제주시 대기질 자동 측정소의 부유분진(PM-10기준) 연속 측정자료와 기상대의 지상관측 자료(기상일기도)에 의거하여 1995년 봄철 제주에 발생한 황사의 발생 상황을 보다 구체적으로 파악하고자 했다.

### (가) 1995년 3월 황사

Fig. 6은 제주시 대기질 자동 측정소에서

1995년 3월에 시간대별로 측정된 부유분진의 농도 변동상황이다. Fig. 6에서 보면 3월 11일 23시부터 부유분진 농도가 급격히 증가되어 12일 04시에는  $592.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 크게 증가되었다가 일시적으로 감소된 후 다시 12일 15시경부터 급격히 상승하여 23시경에는  $452\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였고 13일 06시 이후부터  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 떨어지고 있음을 볼 수 있다. 이 때에 제주 기상대의 지상관측 자료(일기상 통계표)를 분석해 보면, 3월 12일 16시 20분부터 3월 13일 06시 30분까지 대략 14시간 정도 황사가 기록되고 있고, 이 때의 시정은 평균  $8\text{km}$  정도로서 대기질이 크게 악화된 것으로 나타났다. 이런 두 관측 결과를 근거로 볼 때, 3월 11일 야간에 출현한 황사는 목측으로 관측되지 않았던 것으로 평가된다. 따라서 3월에 출현한 황사는 실질적으로 3월 11일 23시경부터 3월 13일 07시경까지 32시간 정도의 지속시간을 보인 것으로 평가할 수 있다.

Fig. 7은 1995년 3월12일 오후에 제주지역에서 관찰된 황사와 저기압 중심부의 이동 경로를 지상 일기도로써 분석하여 추적한 것이다. 그림에서 보면 황사는 제주에 도달하기 이틀 전에 A-la shan사막 및 황하상류의 건조지역에서 발원하여 중국 북부 지역을 지나면서 서서히 남동진하여 중국 상해 지방을 거쳐서 제주도로 유입된 것으로 나타나고 있다. 이때에 저기압 중심부는 고비사막을 거쳐서 북만주 지방을 통과하여 남하하고 11일부터 한반도를 가로질러 대한 해협을 거쳐 남동진함을 알 수 있다. 이로써 볼 때, 저기압 중심부의 이동에 따라 저기압 후면에 위치한 황사대가 제주도로 이동해 왔음을 알 수 있다. 이때 황사의 수송시간은 약 2일간이고 지상일기도에 의한 황사지속시간은 14시간 정도인 것으로 나타나고 있어 지상일기도에 근거한 윤15)의 보고와 거

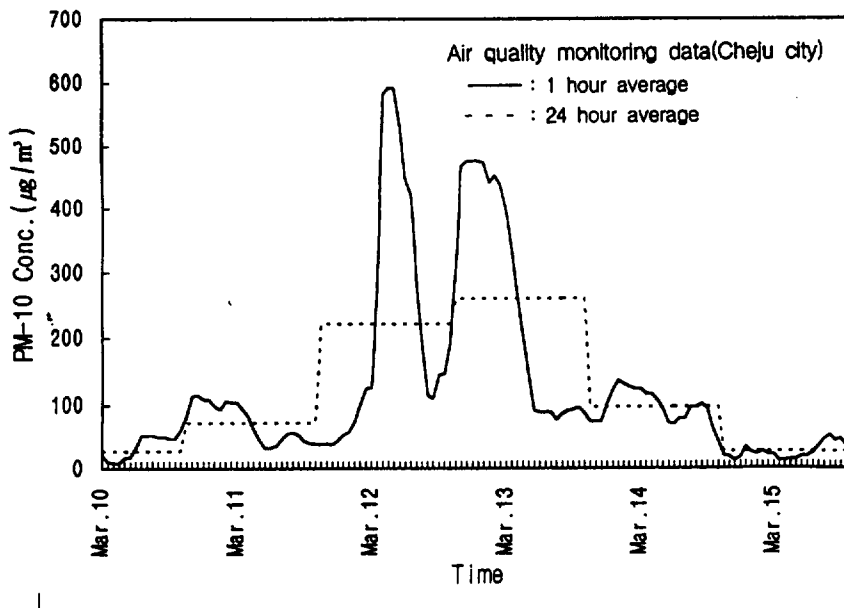


Fig. 6. Daily variation of suspended particulate matter(PM-10) at Cheju city (Mar. 10~15, 1995).

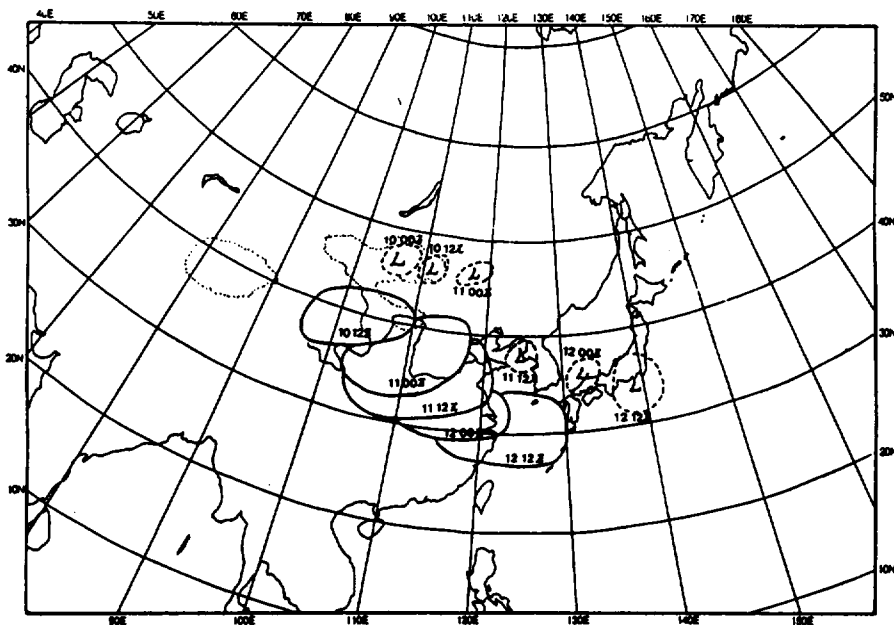


Fig. 7. Transportation region(solid circles) of the yellow sand occurred on 12 March 1995 at Cheju city and the passage of low center(dot circles) at surface.

의 일치하는 결과를 보임을 알 수 있다. 그렇  
지만 Fig 8에서 제주에 황사가 발생된 하루전  
날의 지상의 저기압과 한랭전선의 배치상황에  
서 바람장을 보면, 유적선이 제주도까지는 일  
치하지 않으므로 Fig 7에서와 같이 황사가 수

송된 것으로 보기에 다소 무리가 있는 것으  
로도 생각되나 700 hPa면을 보면 40knots 전,  
후의 W~NW풍이 불고 이때의 황사는 중국  
의 상해 상공을 거쳐서 제주도로 유입되었음  
을 알 수 있다.

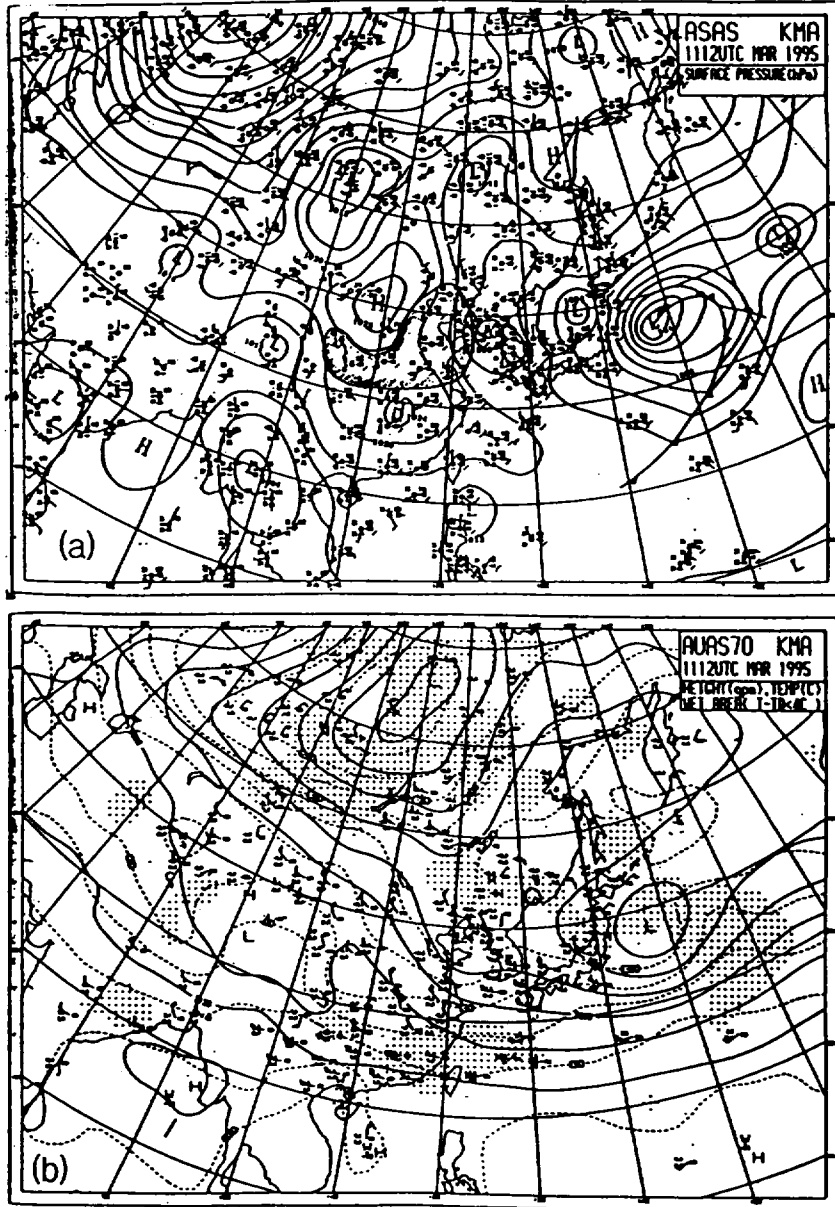


Fig. 8. The sea and upper level weather maps when yellow sand was transported on 1200GMT 11 March 1995 : (a) sea level, (b) 700hPa.

(나) 4월 황사 분석

Fig. 9는 Fig. 4의 경우와 마찬가지로 4월에 제주시에 관측된 부유분진의 시간대별 농도 변화에 대한 자료이다. Fig. 9에서 보면 4월 6일 16시경부터 부유분진의 농도가 증가하여 21시경에  $125.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가한 후, 18시간 동안은 평상시 수준으로 감소한 후에 다시 서서히 증가하여 8일 23시경에  $148.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로까지 증가하였으나 그 이후 내린 약한 강수로 인해 농도가 다시 떨어짐을 볼 수 있다. 제주기상대의 관측

결과를 분석해 보면, 4월 7일 08시 10분부터 황사가 기록되어 10시 40분까지 2.5시간 동안 지속되고, 2차로 8일 07시 10분부터 19시 40분까지 12.5시간동안 지속된 것으로 기록되고 있다. 4월 황사 관측시에 시정은 10~12km 정도였다. 이를 종합해 볼 때, 4월에 발생한 황사는 3월에 발생한 황사에 비해 그 정도가 비교적 약했으나 제주도는 4월 6일 오후부터 4월 9일 20시경까지 약 80시간 가까이 긴 시간 동안 황사의 영향권 내에 속했던 것으로 평가할 수 있다.

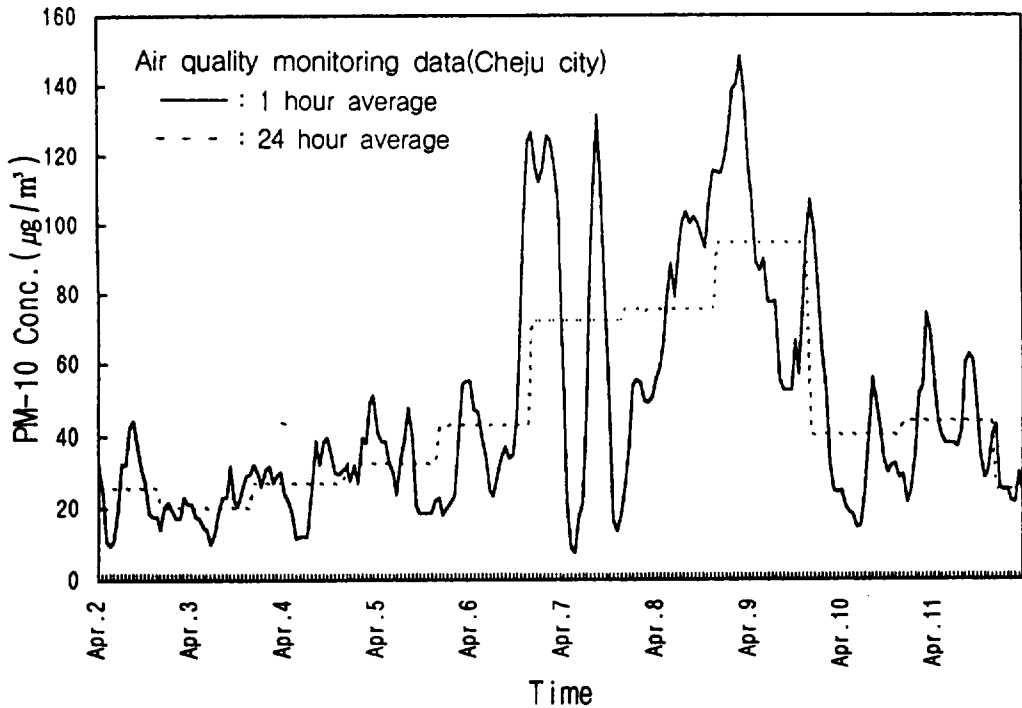


Fig. 9. Daily variation of suspended particulate matter(PM-10) at Cheju city (Apr. 2 ~11, 1995).

Fig. 10은 4월 7일에 제주시에 관측된 황사의 이동경로와 저기압 및 한랭전선의 이동상황을 지상일기도에 의해 분석한 것이다. 4월의 황사분석을 위해 지상일기도를

분석한 결과 4월초 부터 Taklamakan 사막 및 황하상류의 건조지역을 중심으로 매일 황사가 발생하고 있었으나 지상일기도만으로는 4월 7일에 제주에 출현한 황사의 발



원지를 정확하게 구분하기 곤란하였다. 그렇지만 Fig. 10에서 보는 바와 같이, 한랭전선의 남서단이 우리나라를 통과하면서 그 후면에 위치한 황사대를 한반도쪽으로 유입시키고 있음을 확인할 수 있다. 제주시에서 황사가 출현하기 하루 전의 지상 및 상층부 기류흐름을 Fig. 11에서 살펴보면, 기압패턴은 Fig. 2와 비슷하고 700hPa 면에서는 NW풍이 45knots로 불고 있음을 알 수 있다. 이로써 보면, 4월 7일의 황사는 산둥반도 근처에 위치한 황사대가 이 기류를 타고 다음 날 제주지역으로 이동한 것으로 예상된다. 그리고 Fig. 11에서 상층의 기상도를 보면 6일 12Z에 북위 55N 근처에 위치하던 냉핵이 7일에는 대략 48N까지 남하했

고 다음날에는 다시 43N까지 남하하고 있음도 확인할 수 있었다. 만주지역에 위치한 저기압이 약화되면서 중국 서쪽의 고기압 세력이 동쪽으로 팽창함에 따라 4월 8일에는 중국 중동부 지역과 한반도 전역에 걸친 넓은 지역에서 황사가 관측되고 있음도 확인할 수 있었다. 이런 상황으로 인해 4월 7일부터 관측된 황사는 비교적 장시간 동안 제주지역에 영향을 미친 것으로 생각된다.

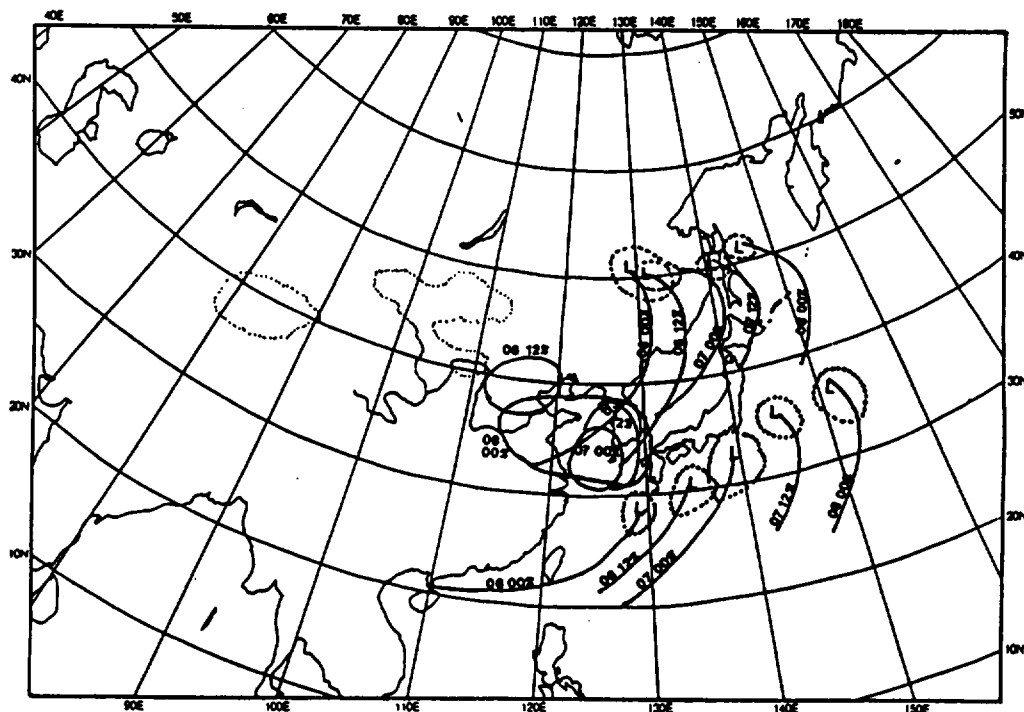


Fig. 10. Transportation region(solid circles) of the yellow sand occurred on April 1995 at Cheju city and the passage of low center(dot circles) and fronts at surface.

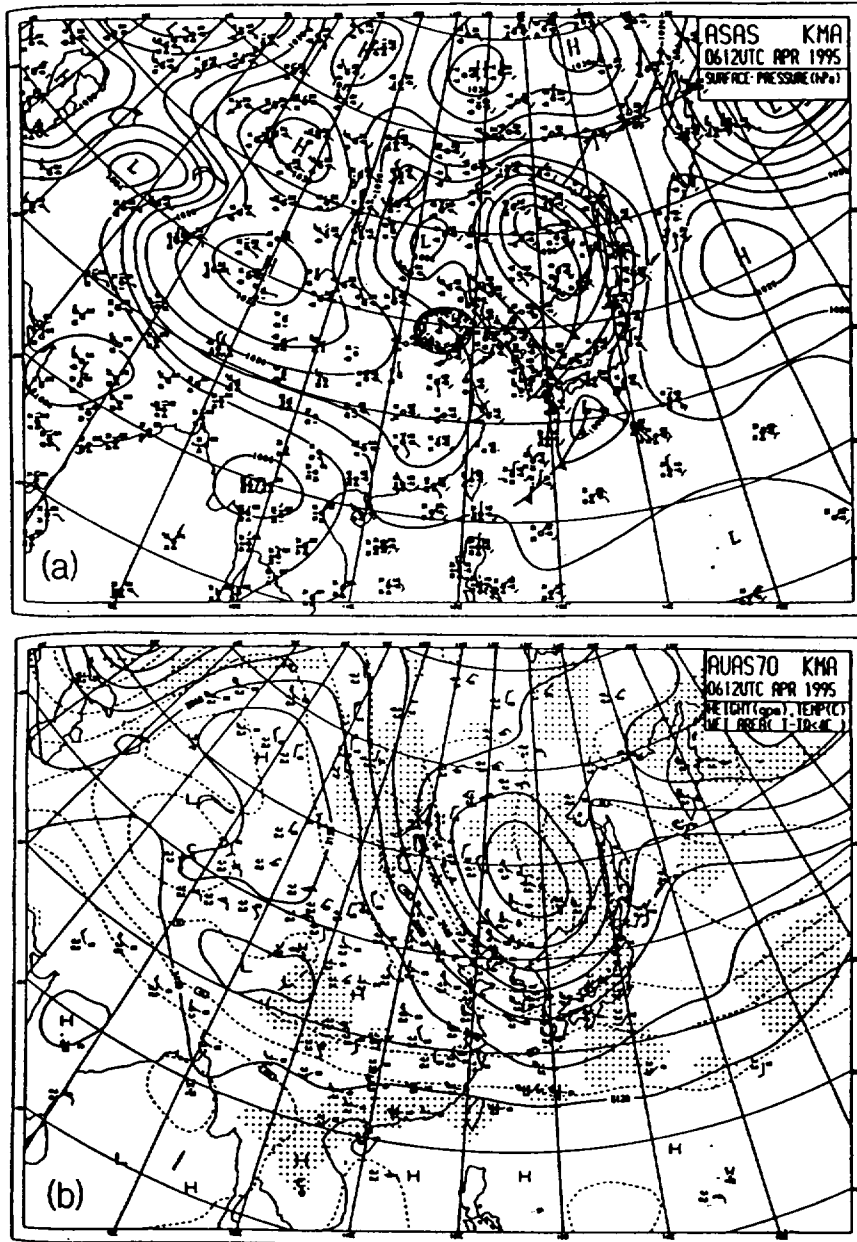


Fig. 11. The sea and upper level weather maps when yellow sand was transported on 1200GMT 6 April 1995 : (a) sea level, (b) 700hPa.

### 3. 부유분진 농도에 대한 황사의 영향

본 조사기간 동안에 제주에서 출현한 황사가 부유분진의 농도에 미치는 영향을 본

조사지점중 S1 지점에서의 측정·분석 결과를 토대로 검토해 보고자 한다.

Fig. 12는 본 S1지점에서 측정된 총부유

분진의 계절별 평균농도 및 황사시의 TSP의 농도를 Table 7에 나타낸 연평균 농도와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 평상시 봄철에 총부유분진의 농도수준은 연평균치의 약 1.3배 정도로 타 계절에 비해 다소 높은 경향을 보임을 알 수 있다. 그리고 봄철의 황사시에는 연 평균의 4배

이상 증가됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 Table 7의 PM-10 농도변화 양상과 비슷함을 알 수 있다. 이로써 보면 제주지역은 3월과 4월에 집중적으로 출현하는 황사현상으로 인해 봄철 부유분진의 농도가 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

황사시에 총 부유분진의 변동상황을 구

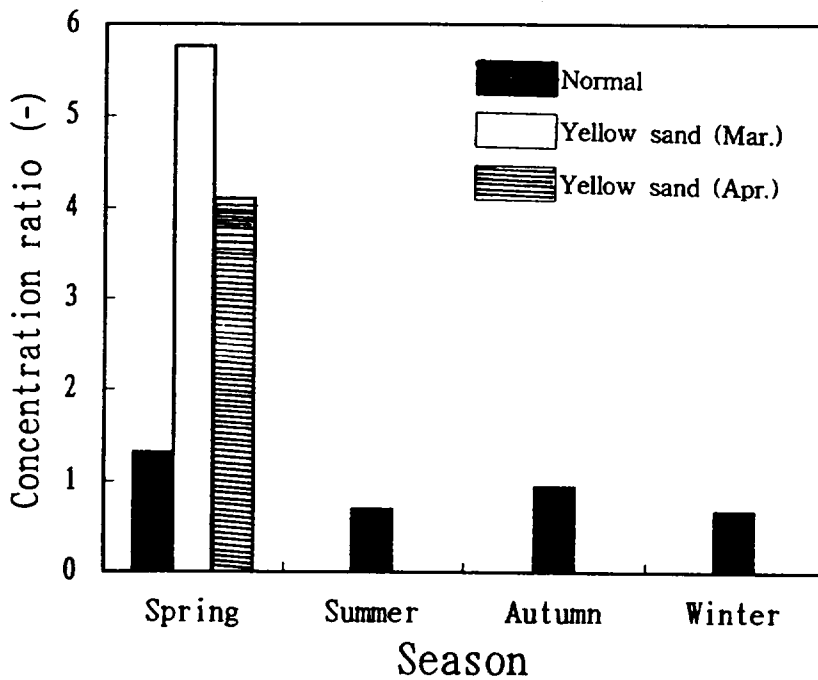


Fig. 12. Ratio of TSP concentration to annual average concentration.

체적으로 살펴보기 위해 황사를 전, 후한 일별 TSP농도 변화를 Fig. 13에 나타냈다. Fig. 13은 4월 2일 16시부터 4월 11일 15시까지 24시간 간격으로 연속 측정된 결과이다. Fig. 13에서 보면 황사가 시작되기전 3일간의 부유분진 농도는 낮고 그 변동폭이 적은 반면에 황사가 출현하면 총부유분진의 농도가 급격히 상승함을 볼 수 있다. 그리고 황사가 물러가면서 부유분진의 농도

는 다시 현저히 낮아져 황사이전의 수준으로 떨어지는 경향을 보임을 알 수 있다. 그리고 황사시에 총부유분진 농도 증가는 황사 직전(6일)의 농도에 비해 3.1~4.5배, 연평균 농도 수준의 1.5~5배에 달하는 것임을 알 수 있다. 4월 9일 역시 황사의 영향권에 속했던 시기였으나 8일 자정부터 내리기 시작한 강수의 영향으로 총부유분진의 농도는 크게 떨어진 것으로 나타났다.

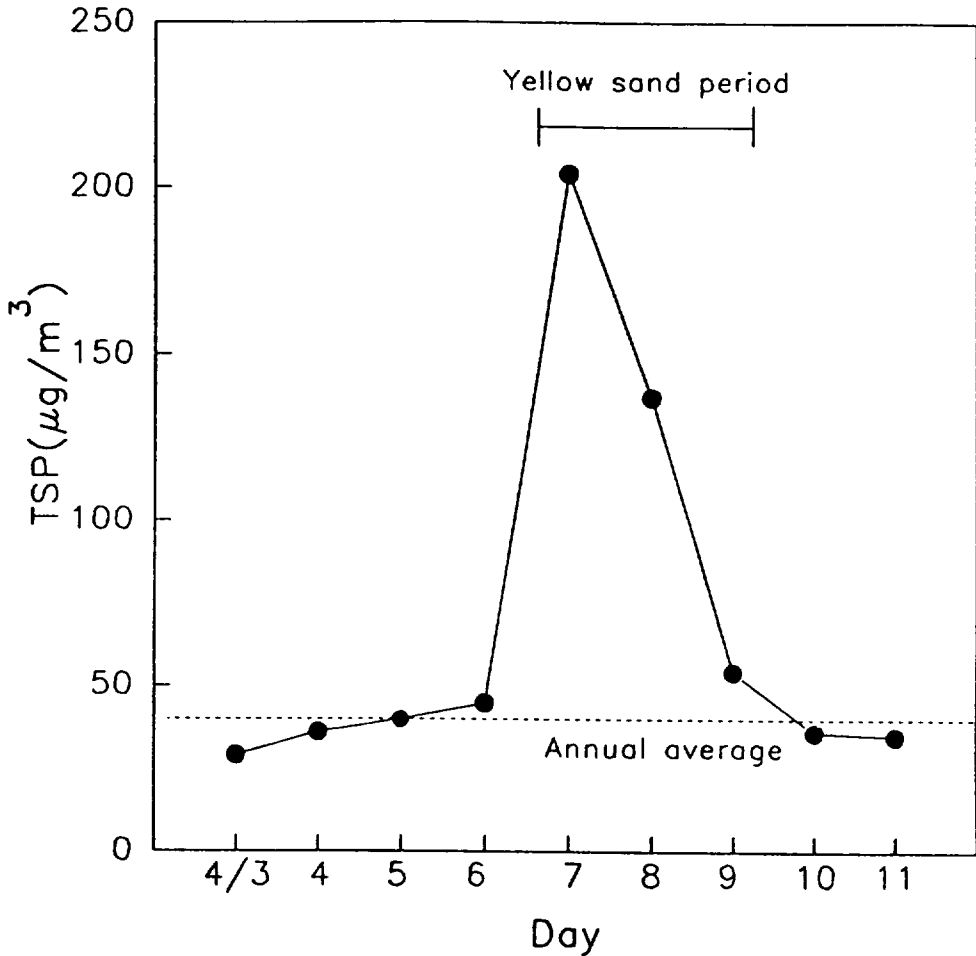


Fig. 13. Daily variation of TSP concentration on April 1995 at Cheju area.

## V. 결 론

1995년 제주지역에 출현한 황사를 지상 일기도에 근거하여 분석하고, 황사에 의한 부유분진의 농도변동 특성을 살펴본 결과는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 1995년 3월에 제주지역에 출현한 황사는 중국 황하상류의 건조지역에서 발원하여 상해지방을 거쳐 약 2일 후에 제주도로 유입되어 32시간정도 지속되었다.
2. 1995년 4월에 제주지역에 출현한 황사는

지상일기도상으로 그 발원지를 뚜렷하게 평가할 수 없었으나, 한랭전선의 남서단이 우리나라를 통과하면서 그 후면에 위치한 황사대가 한반도쪽으로 유입되고 있음을 확인할 수 있다.

3. 제주도에 황사가 출현할 경우 기압배치 상황은, 지상 저기압 뒷면의 중국대륙에는 황사구역이 뒤따르고 있고, 700mb 고도에서는 40~50knots 정도의 W-NW 풍이 한반도로 유입되고 있으며, 특히 냉핵(cold core)의 남하가 뚜렷하다는 것을

확인할 수 있었다.

4. 제주시에서 봄철에 총부유분진의 농도수준을 보면, 평상시에는 년평균치의 약 1.5배 정도로 타 계절에 비해 다소 높으며, 황사가 출현한 경우에는 일시적으로 연평균의 4배 이상 높은 농도를 보임을 알 수 있었다.

## VI. 참 고 문 헌

1. 公害資源研究所地球環境特別研究室, 地球温暖化の對策技術, オ-ム社, 1~11, 1990.
2. 村野健太郎, 酸性雨と酸性霧, 葦華房, 48~63, 1993.
3. Sandroni, S., Regional and long-range transport of air pollution, Elsevier, 1~42, 1987.
4. 신은상, 김희강, 서울시에서의 대기부유먼지에 대한 황사의 영향, 한국대기보전학회지, 8(1), 52-57, 1992.
5. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 황사현상시 분진의 입도 분포와 화학적 조성에 관한 연구, 대기보전학회지, 4(2), 57~68, 1988.
6. Tanaka S., S. Tamura, Y. Hashimoto and T. Otoshi, Long Range Transportation of Soil Dust from Asian Continent to Japan and its Influence to the Atmosphere in Japan, by the Results of NASN(National Air Surbey Network) Data, J. Janpan Soc. Air Pollut., 18(3), 263~270, 1983.
7. Nishikawa M., S. Kanamori, N. Kanamori and T. Mizoguchi, Environmental Significance of Aerosol(Yellow Sand Dust) Collected in Japan, IUAPPA, 2, 35~41, 1991.
8. 정용승, 윤마병, 황사의 사례분석과 한반도 유입량, 한국대기보전학회지, 10(4), 233-244, 1994.
9. 이선기, 최재천, 이민영, 최만식, 소백산 대기중 입자상 물질의 화학적 특성에 관한 연구(I), 한국대기보전학회지, 11(2), 179~184, 1995.
10. Laurent G., A Comparison of Characteristics of Aerosol from Dust Storms in Central Asia with Soil-Derived Dust from other Reagions, Atmos. Environ., 27A(16), 2539~2544, 1993.
11. 大氣汚染研究協會, 黃砂エアロゾルに関する調査研究, 日本環境廳委託業務結果報告書 : エアロゾル中の炭素成分等の分析に関する調査, 1~147, 1989.
12. 김용표, 심상규, 문길주, 백남준, 김성주, 허철구, 강창희, 제주도 고산지역 입자 특성 : 1994년 3월 11일~17일 측정 결과, 한국대기보전학회지, 11(3), 263~272, 1995.
13. Seinfeld J. H., Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Willey and Sons, New York, U.S.A., 1986.
14. 김우규, 전영신, 이원환, 김현미, 서울 부유분진 농도와 황사 특성에 관한 사례 연구, 한국대기보전학회지, 11(2), 199~209, 1995.
15. 윤용황, 한반도에 수송되는 황사의 특징에 관한 연구, 한국기상학회지 26(2), 111-120, 1990.
16. Yutaka I, O. Akira, and K. Satoshi, Size Distribution and Mineral Composition of

- Yellow Sand in the Air over Japan and its Main Origins, 天氣, 28(10), 57~60, 1981.
17. 조희구, 황사현상, 환경보전학회지, 209호, 4~6, 1990.
  18. 정용승, 김태근, 대기오염의 장거리 이동 사례연구 : 황사, TSP, Sulphate의 발원지 추적, 한국대기보전학회지, 7(3), 197~202, 1991.
  19. 환경부, 환경백서, 1995.