

봄철 황사기간중 지역기상 영향에 의한 강릉지역에서의 아황산가스 농도 변화

최 효
강릉대학교 대기과학과
(1995년 12월 14일 접수)

Variation of sulfur dioxide concentrations at Kangnung under the Influence of Regional Meteorology for the Period of Yellow Sandy Dusts in Spring

Hyo CHOI

*Dept. of Atmospheric Sciences, Kangnung National University, Kangnung,
Kangwondo 210-702, Korea*

(Manuscript received 14 December 1995)

Analysis of hourly variations of sulfur dioxide (SO_2) concentrations affected by regional climates for the period of yellow sandy dusts was carried out from March 31 through April 9, 1993.

The concentration of SO_2 at a coastal city, Kangnung city, was much higher than that at an inland city Wonju in the west, but the hourly distributions of SO_2 concentrations show a similar tendency at both cities. Under the prevailing synoptic-scale westerly winds blowing over a high Mt. Taegualyang in the west toward Kangnung city in the eastern coastal region, the SO_2 at Kangnung is trapped by an easterly sea-breeze during the day and under prevailing easterly winds, it is also isolated by the high wall of Mt. Taegualyang, with its high concentration from 14 to 16 LST.

Furthermore, when the westerly winds were dominant all day long, the high SO_2 concentrations at Kangnung were produced by its intrusion from a urban city, Wonju or China in the west into a mountainous coastal city, Kangnung, to some extent, and when the air becomes rapidly cooled down at the clear daytime or the nighttime, their concentrations are also increased by a great amount of heating fuel combustion.

Especially, its maximum concentrations were shown in Wonju and Kangnung from 08 LST through 10 LST, due to the increase of auto vehicles near the beginning time of office hour and were detected again after sunset due to both increases of vehicles at the end of office hour and heating fuel combustion.

During the period of Yellow Sandy Dusts which are transported from China into Korea, the SO_2 concentrations on rainy days at Wonju and Kangnung were much lower than the monthly mean values of SO_2 , and their low concentrations could be caused by the scavenging process of rain.

Key words : yellow sany dusts, sulfur dioxide, synoptic-scale westerly wind, sea-land breeze

1. 서 론

원으로부터 배출량의 증감과 배출후의 확산속도에 따라 매우 상이하게 변화하게 되며, 타 지역으로 어떤 지역의 대기오염물질의 농도 변화는 배출 부위의 오염물질의 유입량에 크게 영향을 받게 된

다(원주지방환경청, 1989; Leighton, 1961; Martin and Barber, 1967; Perkins, 1974; Stephens, 1968b, 1969a). 대기오염물질의 농도변화는 지역적인 특성을 나타내는 지역기후와 지형 및 해양의 영향으로 그 양상이 매우 복잡하게 전개되므로 일률적으로 설명하기는 어렵다(조광명, 1988; Choi and Choi, 1995; Kimura, 1983).

이동인과 한영호(1984)는 대기질의 측정의 한 방법으로 대기중의 강하분진과 아황산가스의 측정에 대한 연구를 수행하였으며, 이동인(1993)은 SO₂의 샘플러 개발에 대해 연구하였다. 정종식(1993)은 고정원에서의 SO₂ 배출 저감을 위한 연구를 하였고, 이정식과 배정오(1991)은 SO₂에 대한 참나무속 식물의 반응을 조사하였다. 강인구 등(1988), 박일수와 김정우(1991), 김영성과 손재익(1992)은 서울지역의 SO₂ 오염도 조사를 수치해석적인 방법으로 분석하였으나, 대부분의 연구가 평지로 구성된 도시에서의 아황산가스의 오염도에 대한 연구에 국한되어 있다. 일반적으로 한국의 서해와 남해안의 연안도시들은 해륙풍의 영향을 많이 받지만 높은 산맥이 없으므로 산맥에 의한 영향은 작고, 오염물질의 이동과 확산 예측이 비교적 간단한 방법으로 규명이 이루어져 왔다. 동해안과 같이 높은 산맥과 해양의 영향을 복잡하게 받은 경우의 대기오염물질의 농도 변화에 대한 연구는 현재까지 미미하다.

본 연구의 목적은 황사기간중 강수현상 전후에 높고 긴 산맥과 해양에 둘러 쌓여 있는 동해안 연안 지역인 강릉에서의 아황산가스의 농도가 도시 자체에서의 배출량 증감 뿐만 아니라, 해륙풍과 강수 및 타 지역으로부터의 장거리 수송에 의해 어떠한 변화 양상을 나타내는가를 분석하여 아황산가스에 의한 오염의 저감에 기여하고자 한다.

2. 자료분석

Fig. 1에서 보는 바와같이 연구 대상으로 선정된 지역인 원주와 강릉은 남북으로 800m 이상의 높은

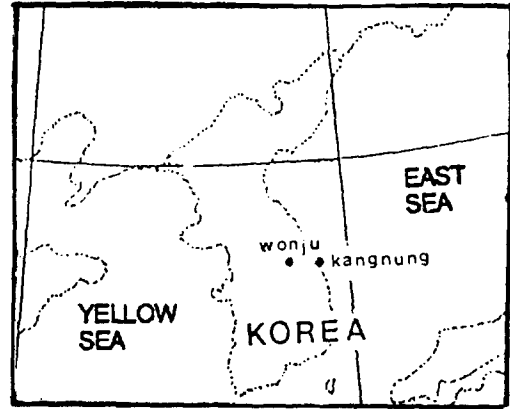


Fig. 1. Location of measurement points in the study area.

산들이 길게 뻗어있는 태백산맥의 서쪽과 동쪽에 위치하고 있다. 원주는 대관령의 서쪽에 위치하고 있고, 전형적인 내륙의 분지를 이루고 있으며 기후학적으로는 대륙성 기후를 나타낸다. 반면에 강릉은 대관령의 동쪽에 위치하고, 동해와 접하고 있으므로 서쪽으로 부터 불어오는 서풍과 북풍계열의 중관풍의(synoptic-scale winds)의 영향 뿐만 아니라 중규모 기상현상인 해륙풍(sea-land breeze)의 영향을 직접적으로 받고 있다. 그러나 원주 지역의 기후는 대관령에 의해 동해에서 불어오는 동풍인 해풍(sea breeze)의 영향을 차단되므로 해풍의 영향이 거의 없으며, 종관적인 바람장에 의해 주로 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 아황산가스의 시간별, 일별 농도 변화를 파악하기 위해 원주지방환경관리청에 의해 원주와 강릉에 설치되어 운영되고 있는 대기오염 자동측정기기를 사용하여 1993년 3월 31일부터 4월 9일까지 관측한 아황산가스의 매 시간별 자료를 분석하였다. 또한 어떤 시간대에 오염농도가 높은가를 조사하였으며(원주지방환경청, 1993) 설치된 환경관측장비는 SO₂ analyzer Model DASBI-4108였다.

연구지역에서의 아황산가스의 농도가 그 지역에서의 아황산가스의 방출량에 따라 크게 변화하지만, 타 지역으로부터 아황산가스의 장거리 수송, 그 지역의 지형영향, 종관바람장과 해륙풍에 의해

그 지역의 오염 농도가 변화하므로 아황산가스의 농도가 기상상태에 따라 어떻게 변화하는가를 연구하기 위해 1993년 3월 31일부터 4월 9일까지 강릉기상청에서 작성한 매 21시 (LST; Local Standard Time=9시+Greenwich Mean Time; GMT 또는 Z)의 표층일기도와 850 mb의 상층일기도를 활용하여 조사기간 동안의 종관기상규모의 바람특성을 파악하였고, 강릉기상청과 대관령 측후소에서 관측된 표층풍속을 조사하여 중규모 기상규모인 해륙풍의 흐름을 파악하였다 (강릉기상청, 1993). 조사 기간동안 중국으로부터 불어온 황사현상이 한반도를 덮고 있었기 때문에 중국으로부터 아황산가스의 유입이 예상되어 있었으므로 지표(약 10 m 고도)와 1.5 km 상공(약 850 mb)의 기류의 방향에 중점을 두었다.

관측 기간동안 강수가 있었기 때문에 원주와 강릉의 강수량을 조사하였으며, 강수시에 강수에 의한 아황산가스의 제거가 얼마나 일어나고 있는가에 대해서도 분석하였다. 본 연구에서는 강릉연안 지역에서의 해륙풍의 시기를 파악하기 위해 기상학적인 요소인 풍향과 풍속을 조사하였으며, 풍향과 산악지형의 영향에 의한 아황산가스의 농도 분포 특성을 중점적으로 연구하였다.

3. 결 과

황사기간중 산맥과 해륙풍의 영향에 의한 아황산가스의 농도변화가 어떠한 양상을 보여주는가를 파악하기 위해, 서쪽의 높은 산맥이 있는 대관령과 동쪽의 동해로 둘러 쌓여있는 강릉과 같은 도시에서 아황산가스의 급격한 농도변화에 대한 원인을 규명하고자 하였다.

Fig. 2a와 2b에서 보는 바와같이 강릉에서의 아황산가스의 농도분포는 3월 31일에는 대기질 환경기준의 1시간 평균치 0.25 ppm (=25ppb×10⁻³)를 초과하는 고농도가 새벽 4시부터 11시까지 나타나고 있으며, 특히 최고농도가 오전 8시에 나타나고 있다. 또한 오후 6시인 18시부터 밤 11시인 23시까

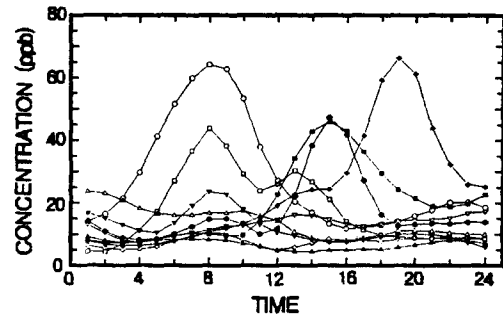


Fig. 2a. Hourly concentration of SO₂(ppb) at Kangnung from March 31 through April 9, 1993. ○, ●, ▽, ▼, □, ■, △, ▲, ◇ and ◆ mean March 31, April 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9

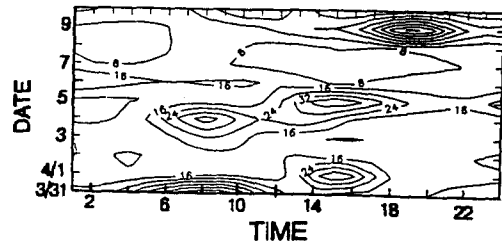


Fig. 2b. Same as Fig 2a except for contours of SO₂ distributions.

지 아황산가스의 농도가 증가하고 있으나 환경기준치를 초과하지는 않는다. 이것은 강릉에서 3월의 기온이 낮으므로 난방연료의 지속적인 사용이 있으며, 주로 오전 8시와 오후 6시는 출·퇴근 시간대이므로 통행차량의 증가로 인해 차량의 배기가스 방출량이 많아져서 아황산가스의 농도가 높게 나타나고, 밤에는 기온이 하강하므로 흔히 취침전 난방연료의 집중적인 사용이 저녁시간대에 있는 것도 아황산가스의 농도가 저녁 시간에 높게 초래하는 원인이 된다. Fig. 3a에서 보는 바와같이 강릉에서의 관측된 풍향은 06시에서 약한 서풍과 09시에는 반대로 약한 동풍이 불어오고 있다. 이것은 표층일기도와 850mb(약 1.5 km) 일기도에서 상공의 종관바람의 방향이 남서풍이고 (Fig. 4a, 4b), 또 대관령에서 관측된 표층풍도 서풍이므로 (Fig. 3b), 바다에서 불어오는 동풍인 해풍에 의해 종관풍인 서풍이 상쇄되므로 강릉에서의 표층풍이 06시에 약한 서풍이 불고, 09시에 해풍의 더욱더 발달함에

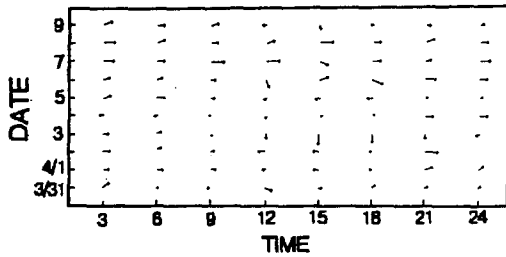


Fig. 3a. Hourly distribution of wind vector at Kangnung from March 31 through April 9, 1993.

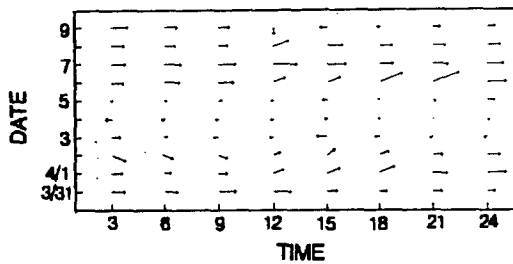


Fig. 3b. Same as Fig. 3a except for Mt. Taeguqyang.

따라 종관풍인 서풍보다 동풍인 해풍이 강해 결국 약한 동풍이 나타나고 있다. 이 시간대의 대관령에서의 바람은 서풍이 나타나고 있으므로 동풍인 해풍이 강릉를 거친후 대관령을 넘어가지 못하고 상승하여 동해쪽으로 되돌아 가는 순환을 갖음을 알 수 있다 (Fig. 5). 따라서 강릉시의 공기가 서쪽에 위치한 대관령을 넘지 못하게 되므로 공기층이 대관령 동쪽의 저층인 강릉시에 갇히게 되므로 강릉에서의 아황산가스의 농도가 높게 나타난다.

대관령에서 표층풍속 9.5m/s (850mb 상층풍속은 약 12.5 m/s)의 강한 서풍의 종관 바람은 여전히 서쪽에서 동쪽으로 불어오고 있으므로, 원주지역으로부터의 오염된 공기가 Fig. 5에서와 같이 강릉지역으로 유입이 될수 있다. 따라서 강릉지역 자체의 배출원에서 배출된 아황산가스와 대관령 서쪽으로부터 유입된 아황산가스가 두개의 대기순환 (즉 서풍의 종관바람과 동풍의 해풍에 의한 서로 반대방향의 순환)에 갇히게 되므로 오염농도가 높아진다. 이때 원주의 32 ppb의 농도보다 강릉에서의 지표 아황산가스 농도가 최고 65 ppb으로 두배 이상의 높은 수치를 보이는 이유는, 원주지역은 서풍에 의

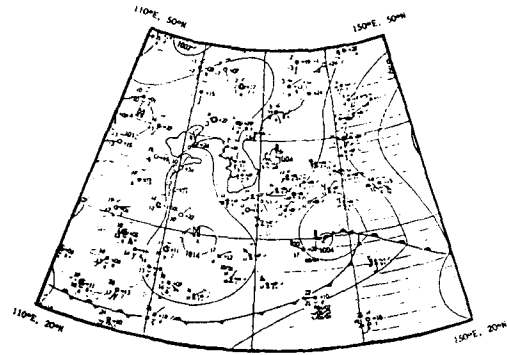


Fig. 4a. Surface meteorological chart at 21 LST on March 31, 1993.

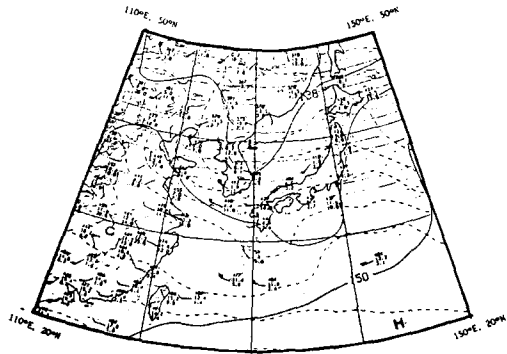


Fig. 4b. Same as Fig. 4a except for 850 mb chart.

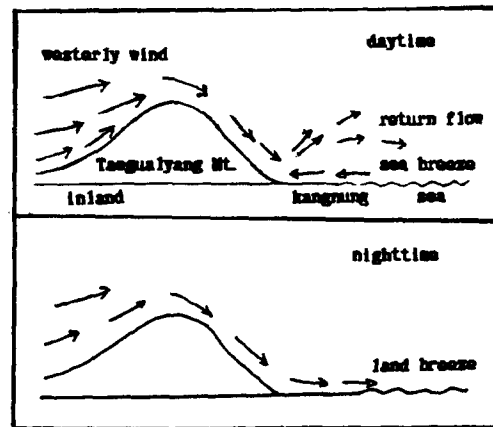


Fig. 5. Schematic profiles of winds near Kangnung area in the daytime and nighttime.

해 아황산가스의 농도가 동쪽으로 이동할수 있어 바람의 강도에 따라 감소할수 있고, 강릉의 경우는

봄철 황사기간중 지역기상 영향에 의한 강릉지역에서의 아황산가스 농도 변화

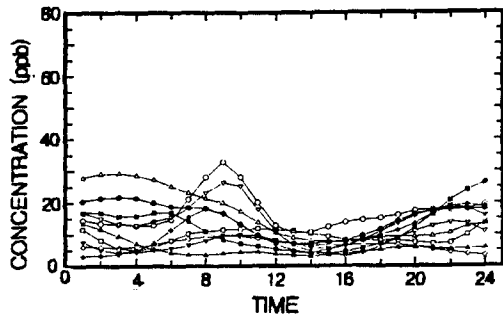


Fig. 6. Hourly distribution of SO_2 (ppb) at Wonju from March 31 through April 9, 1993. $\circ, \bullet, \nabla, \blacktriangledown, \square, \blacksquare, \triangle, \blacktriangle, \diamond$ and \blacklozenge mean March 31, April 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9

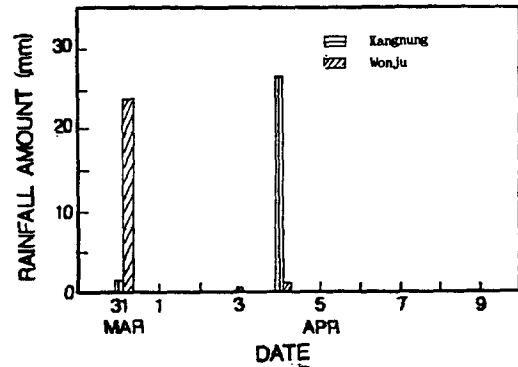


Fig. 8. Rainfall amount(mm) at Kangnung and Wonju from March 31 through April 9, 1993.

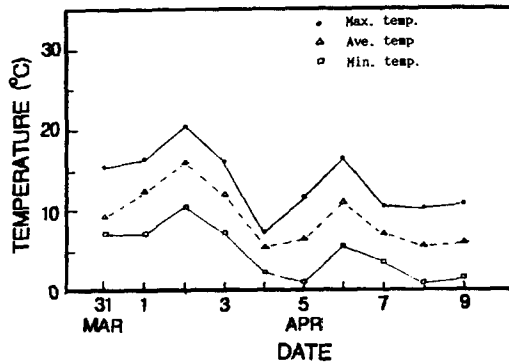


Fig. 7a. Daily distribution of surface air temperatures at Kangnung from March 31 through April 9, 1993.

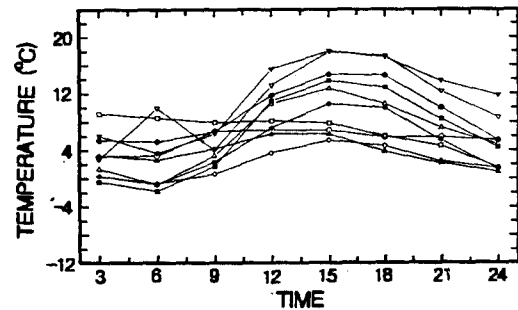


Fig. 9. Hourly variation of air temperature (3 hour interval) at Wonju from March 31 through April 9, 1993. $\circ, \bullet, \nabla, \blacktriangledown, \square, \blacksquare, \triangle, \blacktriangle, \diamond$ mean March 31, April 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9.

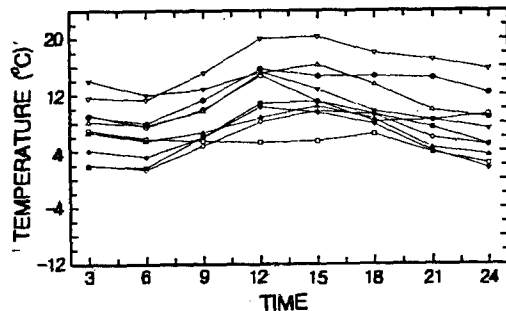


Fig. 7b. Hourly variation of air temperatures (3 hour interval) at Kangnung from March 31 through April 9, 1993.

강한 서풍에 의한 원주방면으로 부터의 아황산가스의 유입과 동풍인 해풍에 의해 강릉지역의 자체에서 배출된 아황산가스가 갇히게 되므로 농도가 높게 된다 (Fig. 6). 이날 강릉의 최대기온과 평균

기온은 15.6°C 와 9.6°C 로 비교적 낮으나 일출후에 해풍이 발달하게되고 (Fig. 7a, 7b), 종관풍인 서풍이 동풍인 해풍보다 좀더 강하므로 해풍의 영향보다 종관바람의 영향이 보다 크게 작용하였다고 본다 (Fig. 3a).

3월 31일에 강릉지방에서는 1.6 mm의 적은 강수량이 나타나고 있고 (Fig. 8), 반면에 원주의 강수량은 23.5 mm로 강릉보다 훨씬 많은 강수량을 보이고 있기 때문에 강수에 의한 아황산가스의 제거가 원주에서 더 많이 일어났음을 알 수 있으며, 원주지역의 아황산가스의 농도가 강릉지역보다 낮은 원인의 일부가 된다. 퇴근 무렵에는 동풍인 해풍의 세력이 약해져 강릉에서는 약한 서풍이 지배적이다. 활동이 많은 시간대인 14에서 18시까지의 서풍

인 종관풍과 동풍인 해풍에 의한 공기의 정체에 의해 아황산가스가 높게 나타나지만 오전의 경우와는 달리 일몰 시간대인 퇴근 시간무렵에는 육지에서 해양으로 부는 육풍(land breeze)의 영향에 의해 강릉 시내에 아황산가스가 갇히지 않고 쉽게 동해로 일부 이동 및 확산되므로 농도가 오전보다 낮다. 원주에서의 기온은 강릉과는 비슷한 분포를 보이고 있어 (Fig. 9), 원주지역에서 난방연료의 소비가 강릉과 큰 차이가 없고, 보유차량 대수도 비슷하므로 아황산가스의 배출량도 거의 같을 것으로 생각된다. 그러나 원주에서는 해풍의 영향이 거의 없고 일부 산악의 영향을 받을수가 있으나 강릉처럼 크지 않으므로 아황산가스의 농도 분포가 강릉과는 다소의 차이를 보이고 있다.

대관령 서쪽의 분지에 위치하고 있는 원주에서 3월 31일 부터 4월 10일 까지의 아황산가스의 시간별 분포 특성을 보면, 아황산가스의 오염농도가 3월 30일부터 31일까지 아침 8시부터 10시 사이에 매우 높은 32 ppb를 나타내며, 일몰후 부터 다시 그 농도가 높아지기 시작한 후 새벽까지 계속된다. 8시부터 10시 사이의 아황산가스의 농도가 매우 높게 나타나는 것은, 이 시간대에 많은 차량이 출근으로 뭉치기 때문이다. 일몰시간 이후의 아황산가스의 농도의 증가는 퇴근시간대에 차량의 많은 운행과 난방연료의 집중적인 사용에 기인한다. 즉 원주에서의 3월 31일의 평균기온이 5.7°C로 낮으므로 난방 연료의 소비가 저녁 무렵인 6시부터 새벽까지 집중적으로 이루어지기 때문에 야간의 아황산가스의 농도가 주간 아황산가스의 농도보다 높게 나타날수 있고, 특히 밤에는 지표면 냉각에 의해 발생하는 집적 역전층의 고도가 낮으므로 공기층이 하강하여 지표면에서 배출된 오염물질이 지표부근에 몰려있게 되므로 난방연료 사용에 의해 방출된 아황산가스가 확산되지 못하므로 농도가 높게 된다 (기상청, 1993). 이때의 종관바람은 3월 31일에는 지표 풍계는 남남서풍, 상층 850 mb의 풍계는 북서풍이었다. 또한 지표 및 상층에 20 kt와 25 kt의 강한 북풍이 불고있어 중국 북동해안의 공업지역으로 부터의 장거리 수송을 기대할수 있다.

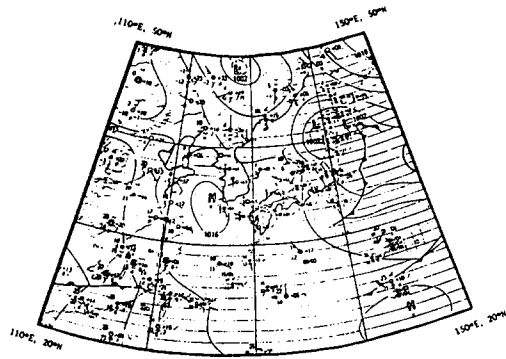


Fig. 10a. Surface meteorological chart at 21 LST on April 1, 1993.

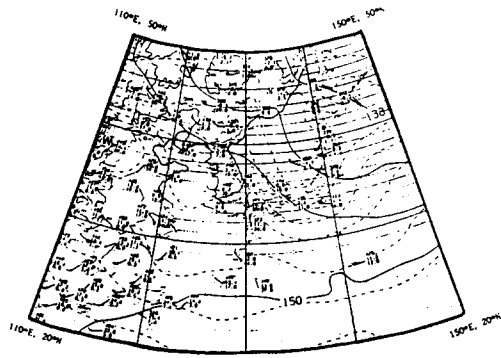


Fig. 10b. Same as Fig. 10a except for 850 mb chart.

원주에서 4월 1일부터 아황산가스의 농도분포는 3월 31일과는 매우 유사하다. 4월 1일 이후부터는 저녁부터 아침까지 아황산가스의 농도가 낮 시간대보다도 훨씬 높게 나타난다. 그러나 4월 1일의 평균기온이 9.3°C, 최고기온이 15.8°C로 기온이 상승함에 따라 난방 연료의 소비량이 줄어들므로 전반적으로 아황산가스의 배출량이 줄어들어 오염농도가 3월보다 낮아지게 된다. 그러나 일평균 아황산가스의 농도가 4월의 평균치를 넘고 있다.

강릉에서도 원주의 경우 처럼 기온의 상승에 따라 4월의 아황산가스의 일평균농도가 3월보다 현저히 감소하고 있음을 알 수 있다. 4월 1일에 15시부터 17시까지 최대 40 ppb의 아황산가스의 증가가 있었는데, 종관바람은 지표와 상층 모두 북서풍이지만 (Fig. 10a, 10b), 12시에서 18시 사이에는 해풍

의 풍계는 동풍과 북동풍이므로 서쪽으로 대관령에 막혀 있는 강릉지역에서는 아황산가스가 강릉 내륙으로 집중되어 높은 농도가 나타났다고 생각된다.

4월 2일에 원주에서의 아황산가스의 농도가 아침 출근 시간인 8시부터 증가하여 9시에 24 ppb를 나타내며, 3월 31일과 비슷한 시간별 농도분포를 보이고 있다. 지표와 상층의 종관바람은 북북서풍이며, 황사현상이 우리나라에 서서히 나타나기 시작하였다. 풍계가 북서풍이므로 중국의 공업지역으로 부터의 아황산가스의 유입이 예상할 수 있겠으나 원주에서의 아황산가스의 농도가 높지 않으므로 중국으로 부터의 장거리 수송은 미미하고, 원주의 아황산가스의 농도는 도시 자체의 방출에 의해서 지배되고 있음을 알 수 있다.

같은날 강릉에서는 일평균 아황산가스의 농도가 전날에 비해 급격히 감소하고 있으며, 아황산가스의 시간별 변화가 원주와는 달리 매우 미미하였다. 이때의 종관바람은 북서풍이었고, 관측된 최대풍속은 8m의 강한 서풍이므로 해풍이 영향이 소멸되고 단지 강한 종관풍인 서풍에 의해 아황산가스가 동해쪽으로 이동하게 되어 소산이 매우 활발히 일어나 강릉의 아황산가스 농도의 감소가 초래되었다.

그리고 4월 3일에는 원주에서의 아황산가스의 농도는 11 ppb이었고, 종관풍은 남서풍, 관측된 풍계는 서풍으로 4.3 m/s의 바람이 불고 있었으며, 아황산가스의 시간별 농도가 거의 일정하다. 3일은 토요일이므로 차량의 이동이 다른 요일에 비해 감소하여 차량으로 부터의 아황산가스의 배출의 감소가 농도의 감소에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 강릉에서는 원주와 비슷한 시간별 분포를 나타내며, 이는 토요일에 따른 차량 통행의 감소와 관측된 풍속이 7.5 m/s로 강한 북풍의 바람이 지배하고 있었으며, 0.6 mm의 강수가 발생하여 아황산가스의 농도 감소가 원주보다 더 쉽게 일어났을 것이다.

특히 4일에 원주에서 일평균 아황산가스의 농도가 9.8 ppb로 급격히 감소하였고, 아황산가스의 농도분포가 시간에 따라 별다른 변화를 보이지 않았

는데, 그 이유는 0.9 mm의 강수량을 동반한 강수에 의해 대기중의 아황산가스가 일부 제거되었을 뿐만 아니라, 일요일이므로 차량의 통행량이 매우 낮았기 때문이다. 이 날 지표와 상층의 종관바람과 관측된 풍계는 모두 북북동풍으로 오염배출원이 전혀 없는 강원도 산간 지방과 동해로 부터의 청정한 공기의 유입이 있었으므로 낮은 농도의 형성에 기여 하였을 것으로 생각된다.

이때 강릉에서는 원주와는 달리 낮 시간대에 아황산가스의 증가가 나타나며, 전 시간대에 모두 높은 농도를 나타낸다. 이날의 평균기온이 매우 낮은 5.5°C로 전날에 비해 6.5°C의 급격한 감소에 따라 난방 연료 소비가 하루 종일 증가하였고, 종관바람은 지표와 상층 모두 북동풍으로 각각 5 m/s와 10 m/s로 강풍을 나타내고 있어 강릉 시내에서 배출된 아황산가스가 동해로 확산되지 못하고 대관령에 의해 갇혀 있는 양상을 이었으므로 비록 26.3 mm의 강수가 있었지만 아황산가스의 농도가 18 ppb로 전날에 비해 증가하게 되었다.

4월 5일 원주에서 일평균 아황산가스 농도가 다시 증가하고 있고, 종관풍은 5 m/s의 서풍이 지배하고 있어, 중국쪽으로 부터 황사의 유입이 있게 되는 기상조건이 형성되어, 다시 황사현상이 강원도 지역까지 크게 영향을 미치고 있는 상태였다. 시간별 농도분포는 낮시간보다 저녁부터 아침까지의 시간대에 높은농도를 나타내고 있으며, 평균기온이 5.9°C로 낮아 난방연료의 소비의 증가와 황사현상에 의한 중국 등지로 부터의 장거리 수송에 의해 아황산가스의 농도가 높게 나타났다. 이날 강릉에서도 서풍이 지배하고 있었고, 평균기온이 6.6°C로 역시 매우 낮아 난방연료의 소비 증가와 황사현상에 의한 장거리 수송에 기인하여 일평균 20 ppb의 높은 농도를 나타내었다. 그러나 14시부터 16시까지 32 ppb의 높은 농도를 나타내고 있는데, 이것은 낮에 북동풍인 해풍의 영향에 의해 대관령 동쪽에 위치한 강릉 시내에 공기가 갇혀 있게되어 전반적으로 풍속은 작으며 (Fig. 11), 지표부근의 아황산가스의 농도가 높게 나타난다.

4월 6일에는 원주에서 종관바람은 북서풍이었고,

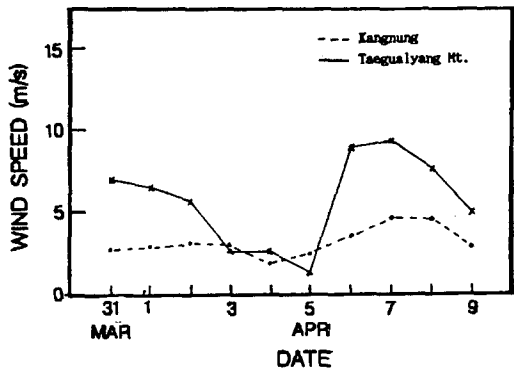


Fig. 11. Distribution of daily mean wind speed at Kangnung and Mt. Taeguilyang from March 31 through April 9, 1993.

관측된 바람은 6.0 m/s의 강한 남서풍 불어 강한 황사현상이 지속되고 있었기 때문에 아황산가스의 농도가 12 ppb의 높은 농도를 나타내었다. 그러나 기온이 6.2°C로 여전히 낮아 새벽부터 아침까지 난방연료의 증가에 의해 30 ppb 2시부터 5시까지 나타내고 있다. 강릉에서는 기온이 11.0°C로 높고 7.7 m/s의 강한 서풍이 지배하고 있어, 시간별 농도분포가 16 ppb로 거의 일정한 상태를 유지하고 있다 (Fig. 23, 24).

4월 7일에는 황사현상도 거의 소멸되었으며, 원주에서의 아황산가스의 일평균 농도가 6 ppb로 최저치를 보이는데, 8.2 m/s의 강한 북북서풍 내지 서풍이 원주 지역을 지배하고 있었기 때문에 아황산가스의 강한 소산이 발생하였을 것으로 생각된다. 따라서 시간별 아황산가스의 농도분포는 거의 일정한 약 8 ppb를 나타내는 이유는 강한 바람에 의한 소산의 결과로 생각된다. 강릉에서도 10.3 m/s의 강한 서풍이 불고 있어 아황산가스의 소산이 일어나게 되고, 시간별 아황산가스의 농도분포가 원주와 거의 비슷한 양상을 보인다.

4월 8일에 원주에서의 시간별 농도분포는 7일과 비슷한 양상을 보인다. 일평균 아황산가스의 농도는 7일에 비해 증가하고있으나, 7.0 m/s의 강한 남서풍에 의해 시간별 농도는 거의 일정하다. 8일의 평균기온이 7일에 비해 약간 낮기 때문에 난방연료의 소비가 약간 증가 하였을 것으로 생각되므로

일평균 아황산가스의 농도가 약간 증가하였다. 강릉에서도 원주와 매우 유사한 모습을 보인다.

4월 9일의 강릉지역의 풍계는 지표와 상층 모두 남서풍이 지배적이었으며, 원주에서의 시간별 아황산가스의 농도분포는 08시와 20시에서 24시까지 16 ppb의 높은 농도를 보이는데, 이것은 출근시간대의 차량통행과 저녁시간대의 기온하강에 따른 난방연료의 소비증가에 의해 농도가 높게 나타났다. 그러나 강릉에서는 6.2 m/s의 서남서풍이 불고 있었고, 16시부터 22시까지 아황산가스의 농도가 높으며 특히 19시에 56 ppb를 나타내고 있다. 일평균 아황산가스의 농도가 20 ppb로 황사현상의 영향이 사라진후 최대의 농도를 나타내었다. 이때 강릉의 평균기온은 5.9°C로 낮았기 때문에 아황산가스의 농도 증가가 예상되고, 22시에 농도가 매우 높게 나타내는 원인은 Fig. 6b에서와 같이 기온이 급격히 하강하게 되어 난방연료의 지속적인 사용과 접지역전층 고도의 하강에 의한 농도증가 때문이다.

강릉에서의 시간별 아황산가스의 농도분포는 전반적으로 원주와 유사한 형태를 보이나, 해풍이 산맥에 의해 어디까지 영향을 주게되는가 하는 것과 기온 하강에 따른 난방연료의 사용량과 접지역전층 고도에 따라 다르게 된다.

5. 결 론

황사현상의 발생전후 무렵에 오염원이 매우 적은 강릉지역에서 봄철의 아황산가스 농도변화가 어떠한 양상을 갖게 되며 산맥과 해양의 영향에 의해 오염농도가 얼마나 변화하는 가를 규명하고자 하였다. 원주보다 강릉의 아황산가스의 농도가 관측기간 동안 전반적으로 높으며, 강릉의 시간별 농도분포가 원주와 유사한 경향을 보인다. 관측기간 동안에 850 mb 상공과 지표 부근에서 서풍의 풍계가 지배적이므로, 원주방면으로부터 강릉으로 아황산 가스의 장거리 수송에 의한 유입은 강릉의 높은 아황산가스의 농도를 초래하는 것 같다. 원주와 강릉에서 출근 시간대인 오전 8시에서 10시에

아황산가스의 높은 농도를 보이며, 일몰후에도 퇴근시의 차량통행과 난방연료의 다양 사용에 의해 농도가 높아진다. 황사가 중국으로 부터 한반도로 유입되는 기간중 강수가 있었던 날의 아황산가스의 농도는 월평균 농도에 비해 많이 감소함을 보여준다. 강릉에서는 동풍인 해풍의 발달에 따른 풍속증가와 동풍이 서풍과 만나 서로 상쇄되면서 강릉의 표층풍의 풍속이 감소하여 아황산가스의 농도가 증가하거나 또는 대관령을 넘어오는 서풍이 매우 약할때 강한 동풍이 대관령에 의해 차단되어 강릉에서 배출된 아황산가스가 강릉시내에 갇혀서 14시와 16시에 높은 농도를 보인다.

대관령 서쪽인 원주와 대관령 동쪽인 강릉에서 일평균 아황산가스의 농도는 서풍하에서 황사현상이 발생하여 중국과 경인 지역으로 부터 아황산가스의 장거리 수송이 있게 되면 증가하게 되고, 강수현상이 있게 되면 강수에 의해 아황산가스가 일부 제거되어 농도가 감소한다. 또한 매우 강한 바람이 아황산가스 발생지역으로 부는 경우에는 아황산가스가 바람에 의한 강제 소산에 따라 농도가 감소함을 알 수 있다. 시간별 아황산가스의 농도변화는 출근시간대에 농도가 높게 나타나고, 저녁부터 아침까지 기온이 하강하는 시간대에 역시 높게 나타난다.

특히 해풍이 부는 낮시간에는 종관바람이 서풍 계열이라 하더라도 동해로 부터 대관령쪽으로 부는 해풍에 의해 아황산가스가 강릉지역에 갇혀 있게 되어 아황산가스의 농도가 높게 나타난다.

감사의 글

본 연구를 수행하는데 있어 기상자료 제공에 도움을 주신 강릉지방기상청 김문일 전청장님께 심심한 사의를 표합니다. 또한 강릉대학교 자연과학대학 대기과학과 이영호 학생에게도 감사를 드립니다. 이 논문은 1992년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 “산맥과 해륙풍의 영향에 의한 아황산가스의 농도 변화”에 대한 학술연구조성비 지원에

의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 기상청, 1993, 1993년도 기상월보, 1~40.
 강릉기상청, 1993, 현업 지상, 850 mb 일기도.
 김영성, 손재익, 1992, ISCLT에 의한 서울지역의 SO₂ 오염도 조사, 한국대기보전학회, 8(2), 128~137.
 강인구, 김양균, 이석조, 나진균, 유승도, 김진규, 김정수, 박보현, 1988, 대기어염 예측모델 개발에 관한 연구 (III)-수치모델 중심으로, 국립환경연구원보, 10, 213~224.
 박일수, 김정우, 1991, 서울지역 SO₂ 농도 분포에 미치는 지형의 영향, 한국대기보전학회지, 7, 105~113.
 이동인, 1993, 장기 노출 SO₂ 간이 샘플러 개발에 관한 연구. 한국환경과학회지, 2(3), 207~216.
 이동인, 한영호, 1984: 온산 공업단지의 대기중의 아황산가스와 강하분진에 대하여, 부산수산대학교 연구보고, 24(1), 153~162.
 이정식, 배정오, 1991, SO₂에 대한 참나무속 식물의 반응, 한국대기보전학회지, 7(3), 219~226.
 정종식, 1993, 고정원에서 SO_x 배출저감을 위한 기술, 한국대기보전학회지, 9(1), 25~32.
 조광명, 1988, 대기오염, 청문각, 1~220.
 원주지방환경청, 1989, 한국환경연감, 1~50.
 Choi, H. and J. Choi, 1995, Atmospheric pollutant concentrations under the influence of internal gravity wave and sea-land breeze circulations in the mountainous coastal regions, Korean J. Geophys. Res., 23, 18~33.
 Kimura, F., 1983, A numerical simulation of local winds and photochemical air pollution (I): two-dimensional land and sea breeze, J. Meteor. Soc. Japan, 61, 862~878.
 Leighton, P. A., 1961, Photochemistry of air pollution, Academic Press, New York, 10~65.

최 효

- Martin, A. and F. R. Barber, 1967, Sulfur dioxide concentration measured at various distance from a modern power plant, *Atmos. Environ.*, 1, 655~677.
- Perkins, H. C., 1974, *Air Pollution*, McGraw Hill, 1~407.
- Stephene, E. R., 1969a, Photochemistry of smog. *California Air Environ.*, 11~52.
- Stephene, E. R., 1968b: Chemistry of atmospheric oxidants. *J. Air Pollution Control Assoc.*, 19, 181~185.