

## SS6) 황해상에서 SO<sub>2</sub>의 건성침착량의 추정 Estimation of Dry Deposition of SO<sub>2</sub> on the Yellow Sea

박문수 · 박상종 · 박순웅  
서울대학교 대기과학과

### 1. 서론

황해는 한반도와 중국으로 둘러싸인 평균 수심 44 m 이하의 얇은 바다로 남쪽으로는 제주도와 중국의 상해를 잇는 선에 의해 동중국해와 구분된다. 동쪽의 한국쪽으로 수심이 깊은 곳이 치우쳐 있어 수심의 변화가 급한 편이고, 서쪽의 중국 쪽으로는 완만한 편이다 (과학기술처, 1997). 한편 중국 동부쪽에 대규모의 공업단지들이 있어 상당 부분의 오염 물질들을 배출하고 있어(Bai, 1997) 배출된 오염물질들이 한반도로 오는 경우가 많다. 환경부와 과학기술처 (1997)에서 중국에서 발생된 오염물질들 중 상당부분이 한반도로 이동해 올 수 있음을 밝혔다. 중국에서 한반도로 수송되는 과정에 많은 오염물질들이 그대로 한반도까지 넘어 오겠지만 상당부분은 황해상에서 침착이 일어날 것으로 추측된다.

황해에서 SO<sub>2</sub>의 정확한 침착량을 추정하려면 정확한 SO<sub>2</sub>의 농도와 침착속도가 필요하다. 그러나 해상에서 SO<sub>2</sub> 농도의 시간별 자료를 얻는 것은 관측기기의 설치와 관리가 어려워 매우 어려우며 SO<sub>2</sub>의 해상에서의 침착속도의 추정도 육지에서와는 다른 방법을 적용해야 할 것이다.

여기서는 서해안에 위치한 강화, 인천, 태안, 군산, 목포의 다섯 지점에서 관측된 SO<sub>2</sub> 농도의 자료와 덕적도와 칠발도에서 관측된 BUOY 자료를 이용하여 황해상에서 SO<sub>2</sub>의 침착량의 특성을 파악하고자 한다..

### 2. 자료 및 연구 방법

#### 2.1 연구 대상 지역 및 자료

본 연구에서 사용한 SO<sub>2</sub> 농도 자료는 환경부에서 강화, 인천, 태안, 군산, 목포의 다섯 지점에서 관측한 1시간 평균한 값이다. 분석 기간은 1996년 7월부터 1999년 6월까지 3년간 자료이다. 관측 지점 중 태안 파도리는 제주 고산리, 울릉군 태하동, 강화군 석모리와 더불어 남한의 배경대기를 측정할 수 있는 지점이고 (환경부와 국립환경연구원, 1999), 나머지 네 지점은 상시오염 관측소이다. 오염자료들의 기상 상태에 따른 변동을 보기 위해 오염관측소 부근에서 관측된 지상기상 관측자료를 사용하였다. 태안의 경우에는 서산 관측소의 자료를 사용하였다. 기상장의 종관 분류를 위해서는 오염농도 분석과 같은 기간의 850 hPa 일기도를 사용하였다.

#### 2.2 SO<sub>2</sub> 농도의 특성

SO<sub>2</sub>의 농도의 특성은 일반적으로 배출량의 차이, 기온, 상대습도 등의 농도에 영향을 미칠 수 있는 기상 요소들의 차이, 그리고 이류에 영향을 줄 수 있는 주풍향의 차이들 때문에 계절에 따라 다르게 나타난다. SO<sub>2</sub> 농도의 특성을 파악하기 위해 각 계절별 풍향에 따른 오염 농도의 특성과 시간에 따른 오염 농도의 특성 변화를 분석하였다.

#### 2.3 해상에서 비반응성 물질들의 건성침착속도의 추정 방법

해상에서 SO<sub>2</sub>의 건성침착속도를 추정할 때 BUOY 관측 자료중 풍속, 기온, 수온 등의 시간평균 자료를 사용한다. Bulk Richardson number와 Monin-Obukhov 상사 이론을 적용하여 iteration 방법을 이용하여 지표면 거칠기 길이( $z_0$ ), 마찰속도( $u_*$ ), 마찰온도( $\theta_*$ ), Monin-Obukhov 길이규모( $L$ )등을 구하여 계산한다.

하여 지표면 거칠기 길이( $z_0$ ), 마찰속도( $u_*$ ), 마찰온도( $\theta_*$ ), Monin-Obukhov 길이규모( $L$ )등을 구하여 계산한다.

### 2.4 황해에서 건성침착량의 산출

황해에서의  $SO_2$ 에 대한 건성침착량의 산출은  $SO_2$  농도와 건성침착속도와 시간을 곱하면 단위 면적당 건성침착량이 된다. 이렇게 얻어진  $SO_2$ 에 대한 건성침착량의 계절적, 시간적인 특성에 대해 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 황해에서 $SO_2$ 농도의 특성

그림 1은 각 지점에 대해 계절별  $SO_2$ 의 평균 농도의 변동을 나타내었다. 평균 농도는 강화와 태안을 제외한 나머지 지점들은 뚜렷한 계절변동을 하고 있다. 즉 여름과 가을에 낮은 오염 농도를 나타내며 평균 오염 농도의 지역별 편차가 적고, 겨울과 봄에는 높은 오염 농도를 나타내며 지역별 평균 오염 농도의 편차가 크다. 강화는 오히려 겨울에 평균 오염 농도가 낮아지는 경향을 나타낸다. 태안이 다른 네 지점보다 평균 농도가 훨씬 낮은 것은 주위에 특별한 오염원이 없는 청정 지역이기 때문이다.

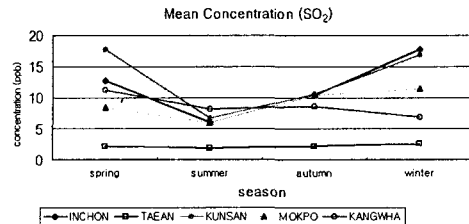


그림 1.  $SO_2$  평균 농도의 계절 변동

표 1에서는 각 지점에서  $SO_2$  농도의 평균, 표준편차, 왜도, 그리고 첨도를 나타내었다. 표준편차는 평균과 유사하거나 평균의 약 80% 정도의 값을 가지는 것으로 나타났다. 왜도는 평균에 비해 태안은 매우 큰 편에 속하는 것으로 나타났으면 첨도도 다른 지점에 비해 크게 나타났다. 왜도와 첨도가 크다는 것은 자료의 구조가 낮은 값이 많이 있으면서 큰 값들이 가끔 나타난다는 것을 의미한다. 실제로 태안에서 관측된 자료의 최소 값인 1 ppb를 기록한 경우가 전체 값의 약 50% 정도를 차지한다.

그림 2는 목포에서의 계절별 풍향에 따른  $SO_2$  농도의 평균과 표준편차, 그리고 각 풍향의 발생 빈도 농도 장미로 나타내었다.

표 1. 계절별  $SO_2$  농도의 평균, 표준편차, 왜도, 첨도 특성

site	statistics	spring	summer	autumn	winter
INCHON	mean	12.7	6.0	10.4	17.7
	std	8.5	4.8	7.7	13
	skew	1.8	1.6	1.6	2.3
	kurt	4.5	15.8	3.4	9.2
TAEAN	mean	2.1	1.9	2.1	2.6
	std	2.3	2.1	2.1	2.7
	skew	3.4	3.0	3.1	2.4
	kurt	15.8	8.5	10.1	5.8
KUNSAN	mean	17.7	6.7	10.6	16.9
	std	16.7	6.9	8.6	12.3
	skew	2.8	2.5	1.9	1.9
	kurt	10.7	8.4	6.6	6.1
MOKPO	mean	8.4	6.0	10.5	11.5
	std	8.6	4.5	9.8	12.6
	skew	3.2	2.5	3.8	2.8
	kurt	15.4	11.7	25.7	10.1
KANG WHA	mean	11.1	8.1	8.6	6.8
	std	5.6	5.1	5.9	6.1
	skew	1.9	2.3	1.7	1.7
	kurt	6.4	6.9	3.5	5.7

### 3.2 황해에서 $SO_2$ 의 건성침착속도의 분포

그림 3는 덕적도에서 관측된 봄철 강한 서풍이 불고 날씨가 맑은 경우에 해당하는  $SO_2$ 의 건성침착속도를 나타낸다.

## SO<sub>2</sub>(MOKPO)

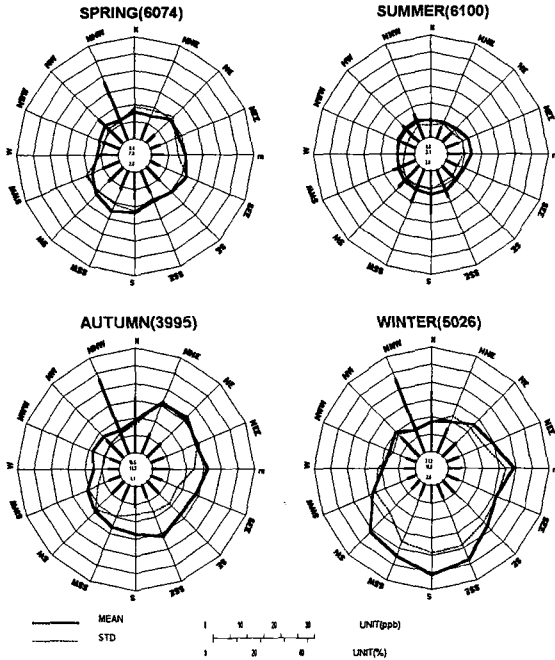


그림 2. 목포에서 관측된 SO<sub>2</sub> 농도의 평균, 표준편차, 그리고 풍향의 발생 빈도.

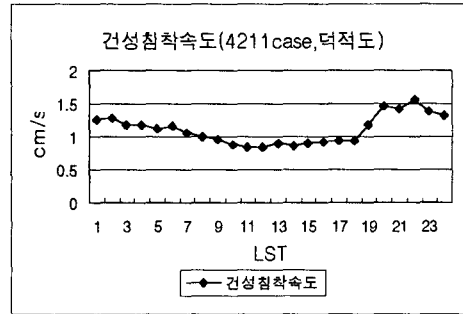


그림 3. 덕적도에서 봄철 강한 서풍, 맑은날의 SO<sub>2</sub>의 건성침착속도(cm/s).

### 참고 문헌

과학기술처, 1997: 해양기상관측시스템 개발 연구 (III), 기상청과 기상연구소.

환경부, 과학기술처, 1997 : 산성비 감시 및 예측기술개발, 서울대학교.

환경부, 국립환경연구원, 1999 : 1999년 4월 대기환경월보.

Bai, Naibin, 1997 : International Workshop on monitoring and prediction of acid rain, seoul, korea.