

## 지렁이 분변토의 SO<sub>2</sub> 가스 흡착특성

金 春 姬 · 高 京 淑 · 安 喆 優  
동아대학교 환경공학과  
(1999년 11월 20일 접수)

### Adsorption characteristics of SO<sub>2</sub> on Vermi Cast

Chun-Ji Jin, Kyoung-Suk Ko, and Ahn-Chul Woo

Dept of Environmental Engineering, Dong-A University

(Manuscript received 20 November, 1999)

The purpose of this study was to determine whether Vermi Cast could be used effectively to remove SO<sub>2</sub> from flue gas, and then to investigate optimum adsorption conditions. The Vermi Cast used as adsorbent was mechanically screened with 8~20 mesh sieve. The adsorption data for SO<sub>2</sub> were regressed using the Freundlich isotherm. The fit was generally satisfactory ( $R^2=0.945\sim0.982$ ). With the temperature changes from 20°C to 40°C, the constant  $k$  in Freundlich isotherm  $q_e = kC_e^{1/n}$ , decreased from 1.409 at 20°C to 0.297 at 40°C, and the exponent  $1/n$  were decreased from 0.343 to 0.134. With the bed depth changes from 10cm to 30cm, the adsorption capacity expressed as mmol of SO<sub>2</sub> adsorbed per g of Vermi Cast increased from 0.247 to 0.381. Moisture content is an important parameter in the SO<sub>2</sub> adsorption efficiency. When the moisture content ranging 23~53% temperature 28°C the amount of SO<sub>2</sub> adsorbed were observed over 0.3mmol SO<sub>2</sub>/g Vermi Cast. The best adsorption capacity was 0.487mmol SO<sub>2</sub>/g Vermi Cast, and it was obtained with moisture content 37%, temperature 20°C. From the above results, it might be concluded that Vermi Cast is effectively available as a good adsorbent to remove SO<sub>2</sub> from flue gas.

Key words : adsorption, SO<sub>2</sub>, vermi cast

#### 1. 서 론

석유, 석탄 등 화석연료 연소시 배출되는 아황산가스 등 대기오염물질에 의한 생태계 파괴와 그 피해가 심각한 수준에 이르면서 세계 각국은 탈황장치 설치를 단계적으로 의무화하는 등 아황산가스와 같은 대기오염물질 배출량을 줄이려고 노력하고 있다. 그러나 산업의 발달과 생활수준의 향상으로 석유와 석탄 등 화석연료 소모량은 아직도 증가하는 추세이다. 환경부가 발표한 주요 국가별 대기환경자료<sup>1)</sup>에 의하면 화석연료 연소시 발생하는 아황산가스의 국내 배출량(96년 기준)은 150 만톤으로 국토 1km<sup>2</sup>당 15195.6kg에 해당되어 OECD 국가 중 1위를 차지했다 특히 OECD국가 평균 1288.6kg의 11.8배나 되어 아황산가스 배출량이 지나치게 많은 것으로 드러났다. 따라서 아황산가스의 제어에 대한 보다 적극적인 다각적인 연구가 필요하다고 생각된다.

아황산가스와 같은 대기오염물질은 주로 알칼리성 흡수제를 이용한 습식 스크러버와 건식 스크러버 또는 활성탄 흡착 등 공법에 의해 처리되었다. 그러나 습식법은 세정폐수의 처리 및 산성 세정액에 의한 장치의 부식문제가 발생하고 건설비가 과다하며 건식법은 경제성은 있

으나 제거효율이 낮다. 활성탄 흡착 또한 제거효율은 좋으나 유지비가 많은 단점이 있다. 이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 가스상 오염물질 처리방법으로 지렁이 분변토를 이용한 토양흡착법을 보다 경제적이고 효율적인 대안으로 선정하였다.

지렁이 분변토는 입경 2mm 이하인 團粒狀이며 비표면적이 크고 제올라이트와 비슷한 이온흡착능력을 가진 다공질체로 약취물질 흡착능이 우수한 것으로 알려졌다.<sup>2)</sup> 지렁이 분변토를 토양상 흡착제로 이용할 경우 일반 토양보다 유기물 성분이 많아서 미생물 생장에 유리하며 통기성과 보수성도 좋다. 따라서 산성가스 흡착제거에 아주 적합하다.

본 연구에서는 지렁이 분변토를 충전한 흡착칼럼을 이용하여 SO<sub>2</sub> 가스의 흡착실험을 수행하여 흡착제로서 지렁이 분변토의 이용가능성을 검토하고 SO<sub>2</sub> 가스 흡착 효율에 영향을 미치는 인자와 적정 흡착조건을 도출하는 것을 목적으로 하였다 또한 본 실험에서 얻은 결과를 Freundlich 등온흡착식을 적용하여 회귀분석한 결과와 비교검토하여 Soil bed 설계에 필요한 기초자료를 얻고자 하였다

2. 실험

2.1. 지렁이 분변토의 물리적 특성

지렁이 분변토는 김해시 H지렁이 사육농장에서 채취하여 자연풍건후 미국 표준체로 체분석하여 8 번째(1.7 mm)를 통과하고 20 번째(0.85mm)에 남는 입경의 것만을 취하여 흡착실험에 사용하였다. 지렁이 분변토의 밀도, 공극율, 유기물 함량, 함수율 등은 토양화학분석법<sup>3)</sup>에 의하여 분석하였고 비표면적은 BET법(Coulter omnisort 360 series)으로, pH는 pH meter(Model 725P, Istek)로 측정하였으며 그 결과를 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Physical characteristics of Vermi Cast

Properties	Vermi Cast
Size Range (mesh)	8~20
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.69
Particle Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.19
Porosity (%)	42
Specific Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	610
Volatile Organic Content (wt %)	61.3
Moisture Content (wt %)	37~57
pH	7.2

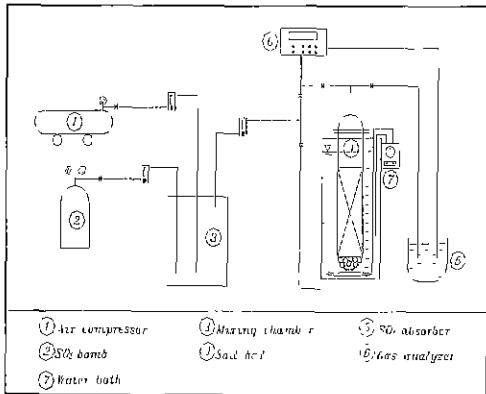


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

2.2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치는 SO<sub>2</sub> 가스발생장치, 흡착칼럼, 가스 분석기, 배출가스 흡수부로 구성되었으며 개략도는 Fig. 1과 같다. 유리체 mixing chamber에서 SO<sub>2</sub> 가스와 공기가 혼합되는데 Air compressor와 SO<sub>2</sub> bomb의 유출압력과 유량을 조절하여 일정농도의 SO<sub>2</sub> 가스를 발생시킨다. 흡착칼럼은 길이 60cm, 내경 3cm인 원통형 유리로 제작되었으며 유입가스의 균일한 주입을

위하여 하부에 5mm 크기의 유리구슬을 4cm 높이로 충전하였다. 흡착칼럼을 자동 온도조절기가 부착된 투명 아크릴 수조안에 설치하여 일정온도를 유지하도록 하였다. 또한 지렁이 분변토는 자연풍건후 스프레이로 수분을 분무하여 함수율을 조절하였다.

본 실험에 적용된 SO<sub>2</sub> 가스농도는 600~1200ppm인데 흡착칼럼으로 주입되기 전에 Combustion Gas Analyzer (BACARACH 300NSX)로 농도를 측정, 조절하여 실제농도의 변화폭이 설정농도의 ±5% 이내로 안정되었음을 확인한 후 흡착칼럼으로 주입하였다. 칼럼을 통과한 가스는 분석기기로 5분 간격으로 SO<sub>2</sub> 농도를 측정하였으며 배출가스는 알카리용액에 흡수시킨 후 대기 중으로 배출시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1. SO<sub>2</sub> 가스 주입농도에 따른 흡착특성

충전층 높이 10cm, SO<sub>2</sub> 가스 유량 1.2ℓ/min으로 고정하고 SO<sub>2</sub> 가스 주입농도를 600, 900, 1200ppm으로 변화시켜 실험하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 그림에서 알 수 있는바 5% 파괴점 도달시간은 각각 240분, 142분, 76분으로 166분의 차이를 보이므로써 주입농도가 높을수록 5% 파괴점 도달시간은 단축되는 것으로 나타났다. 이는 Peat를 이용하여 비슷한 농도범위의 SO<sub>2</sub> 가스를 흡착할 경우<sup>1)</sup>보다 28 ~ 180분의 긴 시간차이를 보인 것으로 지렁이 분변토의 특성에 따른 결과로 사료된다.

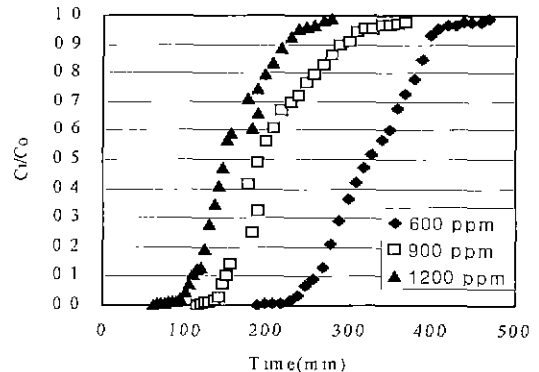


Fig. 2. Effect of gas concentration on the adsorption of SO<sub>2</sub> using Vermu Cast at 30°C, Moisture content 32%.

3.2 SO<sub>2</sub> 가스 유량에 따른 흡착특성

Fig. 3은 SO<sub>2</sub> 가스 주입유량에 따른 흡착특성을 나타낸 것으로, 지렁이 분변토를 10cm 충전하고 SO<sub>2</sub> 가스 주입농도를 1200ppm으로 일정하게 한 후, 가스유량을 1.2, 1.5, 1.75 ℓ/min으로 변화시키면서 실험하였다. 가스유량이 1.2~1.75 ℓ/min으로 증가함에 따라 5% 파괴점 도달시간은 각각 76분, 64분, 39분으로 가스유량이 증가할수록 파괴점 도달시간은 단축되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Peat<sup>1)</sup>와 Char<sup>1)</sup>를 이용한 SO<sub>2</sub> 흡착에서도 보

고되었다.

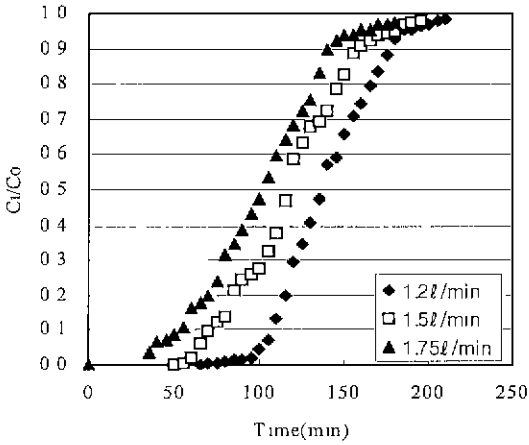


Fig. 3. Effect of gas flow rate on the adsorption of SO<sub>2</sub> using Vermi Cast at 27°C, Moisture content 35%.

3.3. 지렁이 분변토 충전높이에 따른 흡착특성

SO<sub>2</sub> 가스 주입농도 1200ppm, 가스유량을 1.2 l/min으로 고정하고 흡착층 높이를 10, 20, 30cm로 변화시켜 실험한 결과를 Fig 4에 도시하였다 지렁이 분변토 충전높이를 증가시키에 따라 5% 파괴점 도달시간은 각각 72분, 206분, 380분으로, 충전높이가 증가할수록 5% 파괴점 도달시간은 길어졌다. 그리고 흡착층 높이가 증가에 따라 지렁이 분변토의 단위 g당 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량은 0.247 mmol/g에서 0.381mmol/g으로 증가하였다. 이는 충전높이 증가에 따라 상내에서 가스 체류시간이 길어지고 가스가 보다 균일하게 분산되면서 흡착량이 증가하는 것으로 사료된다

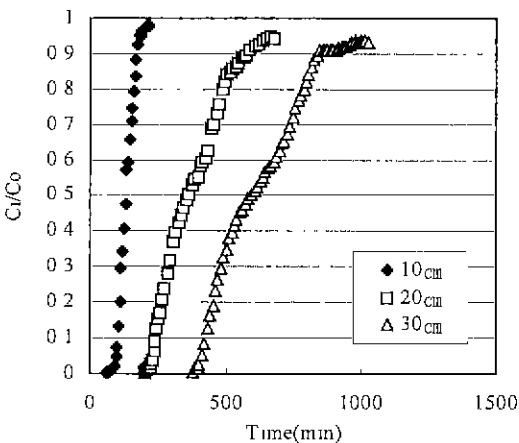


Fig 4. Effect of bed depth on the adsorption of SO<sub>2</sub> using Vermi Cast at 32°C, Moisture content 28%.

3.4 온도변화에 따른 흡착특성

SO<sub>2</sub> 가스 주입농도 1200ppm, 가스유량을 1.2 l/min, 충전층 높이를 10cm로 고정하고 흡착칼럼의 온도를 20, 30, 40°C로 변화시켜 흡착실험을 수행한 결과를 Fig. 5에 도시하였다 흡착온도가 상승함에 따라 5% 파괴점 도달시간은 각각 147분, 76분, 63분으로 20°C에서 파괴점 도달시간은 30°C와 40°C보다 84분, 71분의 시간차이를 보였다. 지렁이 분변토의 흡착량도 20°C에서 0.487mmol/g으로, 30°C의 0.289mmol/g과 40°C의 0.196mmol/g에 비하여 1.7배, 2.5배 높게 나타났다 이는 일반적인 물리흡착에서 흡착질의 흡착평형량이 온도에 반비례하기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에서 지렁이 분변토의 SO<sub>2</sub> 흡착량은 비슷한 비표면적을 가진 Char<sup>5)</sup>나 활성탄<sup>6)</sup>에는 못 미치지만 지렁이 분변토는 경제적인 면에서 훨씬 우수하고 또한 흡착결과 생성된 황산을 제거하기 위한 추가비용도 없으므로 SO<sub>2</sub> 흡착제로서 이용가능성이 충분한 것으로 판단된다

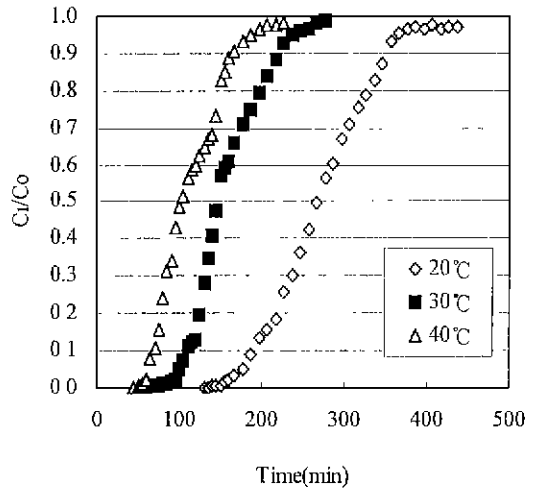


Fig 5. Effect of temperature on the adsorption of SO<sub>2</sub> using Vermi Cast at Moisture content 37%.

3.5 흡착평형실험

일반적으로 흡착제 입자의 표면이 불균일하면 Langmuir isotherm보다는 Freundlich isotherm이 더 적합한 것으로 알려졌다.<sup>4,7,8)</sup> 따라서 본 연구에서는 Freundlich isotherm 실험결과를 적용하였다.

지렁이 분변토 충전높이 10cm, SO<sub>2</sub> 가스 유량 1.2 l/min으로 고정하고 SO<sub>2</sub> 가스 주입농도를 600, 900, 1200 ppm으로, 온도는 20, 30, 40°C로 변화시켜 실험한 결과 흡착온도가 낮을수록 분변토에 의한 SO<sub>2</sub> 가스의 흡착량은 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 6은 흡착평형 실험결과를 Freundlich isotherm에 적용시킨 것으로 상관계수 R<sup>2</sup> 값이 0.945~0.982로서 실험결과는 선형관계식에 대한 상당한 신뢰도를 보였다. 한편 흡착강도 1/n 값은 0.134~0.343으로 나타났으며 k값은 온도증가에 따라 1.409

에서 0.297로 감소하였다(Table 2).

Table 2. Constants k and 1/n in the Freundlich isotherm equation

Constants	20℃	30℃	40℃
k (mmol/g)/[(mg/l) <sup>1/n</sup> ]	1.409	0.469	0.297
1/n	0.343	0.155	0.134

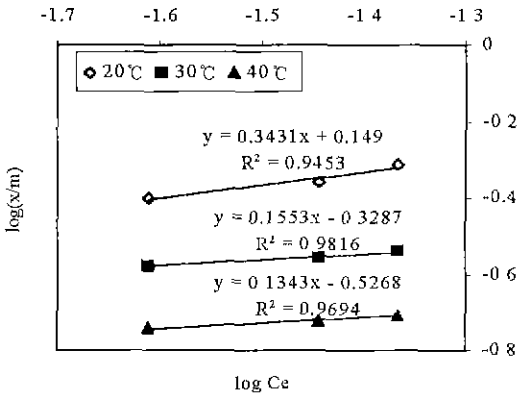


Fig. 6. Equilibrium isotherm in Vermu Cast for SO<sub>2</sub> adsorption with Moisture content 37%

3.6. 지렁이 분변토 함수율에 따른 흡착특성

SO<sub>2</sub> 흡착에서 함수율은 아주 중요한 인자로서 활성탄이나 char, peat 등 흡착제를 이용할 경우에도 함수율이 14 ~ 20% 정도일 때가 수분이 전혀 없을 때보다 흡착용량이 현저하게 상승하는 것으로 보고되었다.<sup>9-13)</sup> 또한 토양을 이용한 경우에도 상대습도 50%에서 흡착량이 최대에 달한다는 연구결과<sup>14)</sup>도 발표되었다

지렁이 분변토의 함수율에 따른 흡착특성을 파악하기 위해 SO<sub>2</sub> 가스 유입농도 1200ppm, 가스 유량 1.2 l/min, 흡착층 높이를 10cm로 고정하고 지렁이 분변토의 함수율을 각각 11.4, 23.2, 33.1, 47.3, 57.2%로 변화시켜 흡착실험을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 7에 도시하였다

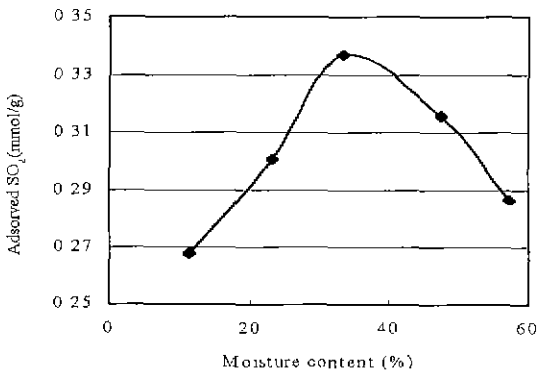


Fig. 7. Effect of moisture content on the adsorption of SO<sub>2</sub> using Vermu Cast(Temperature 28℃)

수분함량이 11.4%에서 33.1%로 변화함에 따라 지렁이 분변토의 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량은 0.268mmol/g에서 0.337mmol/g으로 증가하였다. 그러나 수분함량이 57.2%까지 증가했을 때 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량은 0.287mmol/g으로 감소하는 경향을 보였다. SO<sub>2</sub> 가스는 물에 대한 용해도가 큰 산성가스로서 이론적으로 함수율이 높으면 흡착, 용해가 잘 되어 흡착량이 증가하지만, 함수율이 직경선을 초과하면 분변토 미립이 뭉쳐서 단립이 커지고 분변토 입자내의 공극이 수분에 의해 막힘으로써 흡착효율이 저하하는 것으로 사료된다. 본 실험의 결과로부터 지렁이 분변토의 함수율이 23 ~ 53% 범위에 있을 때 단위 g 흡착제당 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량 0.3mmol 이상을 보장할 수 있을 것으로 판단된다

4. 결 론

본 연구에서는 지렁이 분변토를 흡착제로 이용하여 SO<sub>2</sub> 가스 흡착실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 흡착평형 실험결과에 Freundlich isotherm을 적용하여 해석한 결과 R<sup>2</sup> 값이 0.945~0.982로 실험결과와 잘 부합되었다. Freundlich isotherm  $q_e = k \cdot C_e^{1/n}$ 에서 상수 k 값은 온도가 20℃에서 40℃로 상승함에 따라 1.409에서 0.297로 감소하였으며 흡착강도 1/n도 0.343에서 0.134로 감소하는 추세를 보였다.

2) 지렁이 분변토 충전높이를 10cm에서 30cm로 증가시킨 결과 단위 g당 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량은 0.247mmol에서 0.381mmol로 증가하였다.

3) 지렁이 분변토의 함수율이 23 ~ 53% 일때 분변토의 단위 g당 SO<sub>2</sub> 가스 흡착량은 0.3mmol 이상 되는 것으로 나타났다.

4) 지렁이 분변토의 단위 g당 SO<sub>2</sub> 최대 가스 흡착량은 온도 20℃, 함수율 37%에서 0.487mmol로, 지렁이 분변토는 SO<sub>2</sub> 가스 흡착제로서의 이용가치가 크다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 1998, 주요국가별 대기환경자료
- 2) 이길철, 1993, 지렁이 糞便土의 脫臭效果, 국립환경연구원보, 15, 395~401.
- 3) 토양화학분석법, 1996, 농업기술연구소
- 4) 오광중, 김정자, 전영화, 손병현, 1996, Soil bed를 이용한 SO<sub>2</sub>의 흡착특성에 관한 연구, 대한환경공학회지, 18(2), 171~179
- 5) Lizzio, A. A. and J. A. DeBarr, 1996, Effect of surface area and chemisorbed oxygen on the SO<sub>2</sub> adsorption capacity of activated char, Fuel, 75(13), 1515~1522.
- 6) Begoña R. and M. T. Izquierdo, 1998, Low cost adsorbents for low temperature cleaning of flue gases, Fuel, 77(6), 631~637.
- 7) 이혜령, 고경숙, 임경택, 1998, 토양상에 의한 Trichloroethylene 처리에 관한 연구, 한국환경위생학회

- 지, 24(3), 41~47.
- 8) Colella L. S., P. M. Armenante, D. Kafkewiz, S. J. Allen, and V. Balasundaram, 1998, Adsorption isotherms for chlorinated phenols on activated carbons, *J. of Chemical & Engineering Data*, 43(4), 573~579.
  - 9) Salem ABSH and H. S. Hamid, 1997, Removal of sulfur compounds from naphtha solutions using solid adsorbents, *Chemical Engineering & Technology*, 20(5), 342~347.
  - 10) Wojtowicz, M. A., K. Erik, and A. S. Michael, 1997, Mercury, SO<sub>2</sub> and NO removal from flue gas by adsorption on activated carbons, *Proc. of the Carbon, Pennsylvania, USA*, 2, 130~131
  - 11) Rodriguez-Mirasol J., T. Cordero, and J. J. Rodriguez, 1997, Effect of oxygen on the adsorption of SO<sub>2</sub> on activated carbon, *Proc. of the Carbon, Pennsylvania, USA*, 1, 376~377.
  - 12) Linders M. J. G., L. J. P. van den Broeke, and E. P. J. Mallens, 1997, Equilibrium and kinetic properties of hydrocarbon vapour adsorption on activated carbon under dry and humid conditions, *Proc. of the Carbon, Pennsylvania, USA*, 1, 72~73.
  - 13) Takeuchi Y., Y. Tanaka, and K. Yanagisawa, 1996, Removal of nitrogen oxides from air by activated carbons impregnated with chemicals, *The Fourth Japan-Korea Symposium on Separation technology*, Tokyo, Japan, 1, 539~542.
  - 14) Kidokoro T., T. Yasuoka, and S. Mitsuzawa, 1998, Interaction of atmospheric SO<sub>2</sub> with soils, *J. Chem. Soc. Jpn*, 8, 519~524.