

토양의 일산화탄소 제거에 관한 연구

金 明 子

숙명여자대학교 이과대학 화학과
(1982. 4. 15 접수)

Laboratory Measurements on the Uptake of Carbon Monoxide by Soils

Myung Ja Kim

Department of Chemistry, Sookmyung Women's University, Seoul 140, Korea
(Received April 15, 1982)

요 약. 실험실 조건에서 몇 개의 다른 종류의 토양에 의한 일산화탄소 소모를 측정했다. 시료로는 유기질이 많은 부식토 및 도로변의 토양과 실험에서 이미 사용한 높은 농도의 일산화탄소와 접했던 부식토 및 도로변의 토양을 택했다. 높은 CO농도 조건에서 CO의 소모성을 조사하기 위해서 18.2 l 반응용기에서 CO의 농도를 2,000 ppm에서 24,000 ppm으로 변화시켰다. 토양의 CO 제거는 기체크로마토그래피법으로 측정하였다. 본 실험에서 시행한 조절실험의 결과를 보면 CO를 주로 제거하는 것은 화분용 토양임을 지적하고 있다. 부식토의 CO 소모속도는 도로변의 흙에 비하여 월등히 크고, 실험에서 재사용된 부식토는 새로운 부식토에 비하여 약 15% 높은 소모속도를 나타냈다. 대기로부터 CO를 제거하는 토양의 능력은 9,000~24,000 ppm의 CO 농도 범위에서는 13,000 ppm 근처일때 최대치에 도달했다. 스트렙토마이신의 첨가는 토양의 CO 제거능력에 큰 영향을 미치지 못하지만, 10%의 소금물은 부식토의 CO 제거능력을 현저하게 억제시켰다.

ABSTRACT. The consumption of atmospheric carbon monoxide by soil was measured under laboratory conditions in different types of soils. Laboratory experiments were performed with humus containing high proportion of organic matter, roadside soils, and humus and roadside soils previously exposed to high concentration of CO by reusing in the experiment. CO concentrations in the 18.2 l-reaction vessel were varied from 2,000 ppm to 24,000 ppm to estimate the effectiveness of CO consumption at high level of CO. The uptake of CO by soil was measured by gas chromatography using a TCD detector. The control experiments conducted along with the soil experiments evidently indicated that the potting soil is responsible for CO consumption. Humus showed much higher CO uptake rates compared with the soil taken from roadside. The humus reused in the experiment showed somewhat higher rates (15%) of uptake than the fresh one. The soil's ability to remove CO from the test atmosphere reached a maximum near the CO concentration of 13,000 ppm in the range of 9,000~24,000 ppm. The addition of streptomycin did not influence the removal capacity of soil significantly, whereas 10% saline solution remarkably prevented CO uptake of the humus sample.

1. 서 론

토양이 일산화탄소를 제거할 수 있다는 사실은 이미 1926년에 알려진 바 있었고, 1939년에는 밀폐된 탄광 속의 박테리아가 탄광대기중의 일산화탄소를 제거할 수 있다는 사실이 보고되었다¹. 그러나 1970년대에 들어서는 환경오염의 심화에 따라 그 해결방안의 필요성이 절실해지면서 일산화탄소의 발생원과 제거메카니즘에 대한 연구가 새로운 관심대상이 되고 있다.

일산화탄소는 자연적 및 인위적으로 계속 대기중에 방출되고 있음에도 불구하고 그 농도는 20년 동안 지구 전체로 보아 일정한 수준에 머물고 있다². 따라서 환경에는 일산화탄소를 제거하는 메카니즘이 있는 것이 분명하지만 메카니즘의 상대적 중요성에 대해서는 파악되어 있지 못하다. 그러나 히드록시기가 일산화탄소를 산화시키며, 토양 및 토양미생물에 의한 산화가 일산화탄소 제거의 주요한 요인이 된다는 것은 일반적으로 받아들여지고 있다.

순수 배양연구에서는 곰팡이³, 조류⁴, 혐기성⁵ 및 호기성⁶ 박테리아 등의 작용에 의해 토양이 일산화탄소를 소모한다는 결과를 얻고 있다. 하지만 산화과정에 있어 박테리아가 산화시키는 것과 곰팡이가 산화시키는 것중 어느 쪽이 중요한지에 대해서는 잘 알려져 있지 못하다. Heichel에 의하면, 토양에 의한 일산화탄소 소모속도는 최대 $0.2 \text{ mg/dm}^2\text{h}$ 정도이며, 지구표면에서의 토양에 의한 일산화탄소 제거는 대류권의 발생원의 14%에 이른다고 발표되었다⁷. 또한 스탠포드 연구소의 Inman 등은 지구상에서 일산화탄소가 제거되는 주요한 경로로서 토양미생물에 의한 반응을 들고, 미국에서만 연간 5억톤의 일산화탄소가 제거되는 것으로 추산하고 있으나⁸, 다른 연구 결과들과 일치하지는 않는다.

미국, 소련 등 외국의 경우에는 최대 100 ppm 정도의 일산화탄소 농도수준에서 실험실 및 야외실험이 행해진 바 있다^{2,9,10}. 그러나 본 논문에서는 일산화탄소 증독사고 범위를 훨씬 넘는 수%의 높은 농도에서 토양미생물의 제거기능이 원활하게 진행될 것인가에 관심을 두었다.

그러하여 토양미생물의 일산화탄소 제거능력의 한계성을 고찰함으로써 인체의 증독범위 수준에서 일산화탄소 제거에 토양이 어떤 역할을 할 수 있을 것인지의 가능성을 가늠하는 하나의 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험

토양시료는 다음과 같이 선택하였다. 화분용으로 보통 화원에서 취급하는 유기물질이 많은 부식토, 청파동 도로변의 토양을 택한 이외에 실험에서 이미 사용함으로써 일산화탄소와 접했던 부식토를 다시 사용하고, 마찬가지로 높은 농도의 일산화탄소와 접했던 청파동 도로변의 토양을 다시 시료로 삼았다.

토양은 4.76 mm 거르개를 이용하여 체를 친 뒤에 18.2 l 폴리에틸렌 반응용기에 담았다. 폴리에틸렌 반응용기의 부피의 10분의 1 이상이 되지 않도록 토양의 무게는 3.0 kg으로 하였다. 실험대기에 직접 노출되는 흙의 표면적은 각 실험의 경우 약 0.1 평방미터 정도가 되도록 시료를 넣었다.

기체크로마토그래피법을 이용하여 시간에 따른 반응용기내 토양에 의한 일산화탄소의 감소변화를 측정하기 전에 먼저 일산화탄소 탱크로부터 유속결정을 하기 위하여 비누 거품계를 이용한 결과로서 유속계의 일산화탄소 유속에 대한 공높이의 관계를 검량선으로 그렸다.

토양이 담겨있는 반응용기에 합성공기를 충분히 통한 다음, 일산화탄소 탱크로부터 얻고자 하는 일산화탄소의 흐름을 37 ml/min의 비율로 통과시켜 주었다. 미리 비누 거품계로 측정된 검량선에 의해 공기와 일산화탄소를 통과시켰다. 예컨대 2,000, 4,000, 7,000, 10,000 ppm 수준으로 용기내의 일산화탄소의 농도를 조절하는 경우에는 유속계의 공높이를 47 mm로 놓고, 일산화탄소를 각 실험에서 1분, 2분, 3분30초, 5분동안 용기에 통과시킨 다음 밀폐하였다.

일산화탄소와 공기는 Matheson Gas Products (Max. Pressure 200 psig)를 사용하였으며, 유속계는 Matheson R 7640 Series로서, Tube No.는 공기 605, 일산화탄소 610을 사용하였다. 유속

계의 공의 재질은 유리였다.

본 실험에서 사용한 기체시료 채취용기의 부피는 50 ml였다. 채취용기의 내부를 진공으로 만들어, 폴리에틸렌 반응용기의 시료채취 입구에 연결시켜 실험대기를 채취용기에 채운 뒤 시료 채취용기를 기체크로마토그래피에 연결하여 시료를 도입시켰다.

본 실험에서는 KAIST에 소장된 Hewlett-Packard Co.-5730A Gas Chromatograph를 사용하였다. 여기에 Hewlett-Packard Co.-3390A Integrator를 부착하여 정량적 데이터를 얻었다. 검출기는 열전도도 검출기(TCD)를 사용하였다. 기체크로마토그래피법의 적분계산기로부터 얻은 일산화탄소에 대한 면적 %의 ppm 단위로의 환산인자는 1/1.15였다. 예비실험의 결과로 일만 ppm 내외의 농도에서 본 실험법의 오차는 5% 이내인 것으로 평가되었다.

기체크로마토그래피의 조작조건은 다음과 같다. : Stainless-steel column, 12 ft by 18 inch, filled with Sphero carb (80/100 mesh); He carrier gas, 52 psi, 32 ml/min; temperature-column, 20°C, detector, 200°C; filament current, 180 mA; sample inject volume, 0.5 ml.

토양의 온도는 실온으로 유지하거나, 항온조에 장치하여 실험온도로 유지했다. 토양의 수분 함량은 실험하기 전 그리고 과정이 모두 끝난 뒤 두 번에 걸쳐 90°C에서 24시간 오븐건조시킨 다음 무게를 재어서 결정했다.

실험조각 재제의 신뢰도를 시험하기 위하여 조절실험도 위와 똑같은 방법으로 실시하되 토양 시료만을 넣지 않은 조건에서 측정하였다.

대기중의 일산화탄소 정량법으로는 여러가지가 쓰여서 산화수은과의 반응을 이용한 원자흡수분광법, 백 ppm 이하의 미량분석에 유용한 불꽃이온화 검출기(FID)사용의 기체크로마토그래피법 이외에도 변형된 적외선분광법이 널리 쓰이는 경향이다.

본 실험에서는 일산화탄소가 최고 농도 2.4%로부터 영으로 떨어지는 과정을 추적한 것이므로, 열전도도 검출기를 사용한 기체크로마토그래피법에 의해 충분한 정확도를 얻은 것으로 평

가된다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서 사용된 반응체계가 신뢰할 만한 결과를 줄 수 있는가의 여부와 반응용기 내의 실험대기에 의해서 일산화탄소가 생성 또는 소모될 가능성을 시험하기 위해서 토양시료만을 넣지 않은 상태에서 조절실험을 시행하였다.

그 결과 평균 25시간 경과한 뒤 측정된 일산화탄소의 농도변화는 초기농도 1,800~10,600 ppm으로 변화시킨 네차례 실험에서 약 2.3% 정도로 관찰되었다. 실험대기는 gas-tight syringe로 채취하지 못하고 50 ml짜리 채취용기를 사용했으므로 여러 번의 기체시료 채취에서 오차가 발생했을 것이 예측되며 반응체계의 불완전성 또한 오차를 낳을 것으로 추측되었다. 실제로 초기 일산화탄소 농도가 높을수록 조절실험결과의 농도감소는 커졌으나 반응용기내에서의 토양에 의한 일산화탄소 제거에 대한 결과에는 이렇다할 영향을 미치지 않은 범위라고 판단되어 토양실험을 시행하였다. 일산화탄소 농도 네 값에 대한 조절실험의 결과는 Fig.1과 같다.

토양의 일산화탄소 제거에는 대기와 접촉하는 시료의 표면적이 변화인자로 작용할 것으로 예상되므로, 본실험에서는 3.0kg의 시료를 택하여 필수로 표면적이 일정하도록 용기에 담았다. 따

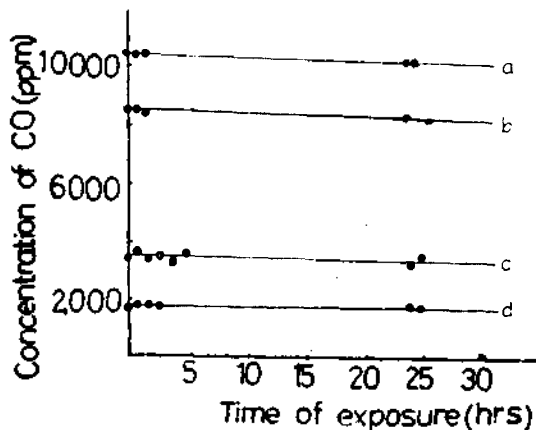


Fig. 1. Control experiments with different CO concentration. Initial CO concentration (ppm): a. 10,600; b. 8,600; c. 3,600; d. 1,800

라서 본 실험에서는 시료의 표면적 변화에 따르는 일산화탄소 소모의 영향은 고찰되지 않았으며, 공기의 유동상태 또한 실험대기를 밀폐하는 조건으로 고정시켰다.

토양미생물의 작용은 토양의 수분함량과 주위 환경의 이온강도의 변화에 매우 민감한 것으로 알려져 있다⁹. 그러나 토양 수분함량과 일산화탄소 소모능력사이의 관계를 조사한 Ingersoll 등의 연구에 따르면 25°C에서 100 ppm의 일산화탄소와 접한 토양시료의 제거능력은 토양의 수분함량에 의해 결정적인 영향을 받지 않는다⁹. 즉 토양의 수분함량이 5%에서 16%로 높아짐에 따라 일산화탄소 소모속도는 10%정도 빨라졌으며 수분함량이 28%로 높아지면서는 수분함량이 16%일 경우보다 5%정도 감소된다는 결과를 얻고 있다.

그러나 본 실험에서는 토양시료와 접하는 일산화탄소의 농도가 수만 ppm 수준이었으며 실험 전후의 토양시료의 수분 함량에 뚜렷한 차이가 생긴다는 것이 육안으로도 관찰되었고 수분측정에서도 확인되었다.

부식토-A시료의 경우 실험 전에 결정한 토양시료의 수분함량이 19%였으나 실험종료 후에는 실온에서 행한 경우 23%로 증가되었고 30°C에서 행한 경우 28%로 증가되었다는 결과를 얻고 있다.

또한 부식토-B시료의 경우에는 실험전에 결정한 토양시료의 수분함량은 31%였으나 실온(22±2°C)에서 실험 종료후 결정한 값은 초기 일산화탄소 농도 1~2% 범위에 걸쳐 약 40%가 된다는 결과를 얻었다.

이런 결과에 비추어 토양의 일산화탄소 제거 반응이 물의 생성과 관련되고, 반응의 진행과 함께 수분이 증가됨으로써 기체의 확산에 영향을 미쳐 일산화탄소 소모반응이 느려질 수 있음을 예측할 수 있다. 그러나 이러한 논의는 좀더 충분한 데이터를 필요로 하기 때문에 앞으로 밝혀야 할 과제가 생각된다. 따라서 본 실험의 결과는 수분함량에 의해 결정적인 영향을 받지 않는다는 가정 아래 비교한 것이 된다.

토양시료가 든 반응용기에서의 시간에 따른 일

산화탄소의 감소변화를 몇가지 도시하면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 거의 선형을 이루게 된다. Table 1에서는 도로변의 흙과 유기질이 함유된 부식토의 일산화탄소 소모속도를 비교하고, 실험에서 사용했던 토양시료를 재사용하는 경우에 그 제거기능이 어떻게 달라지는가를 아울러 비교하였다.

Table 1. CO consumption rate of road-side soil and humus.

Temperature	Soil type	Initial concentration of CO in reaction vessel (ppm)	CO removal rate (ppm of CO/h)
15°C	Road-side soil	1,900	40(37)
	Humus*	3,200	50(52)
30°C	Road-side soil	2,100	50(47)
	Road-side soil*	1,900	60
	Humus	3,400	140
	Humus*	3,300	160

*Refers to the soil sample previously exposed to high level of CO by reusing in the experiment.

부식토의 일산화탄소 소모속도는 도로변의 흙에 비하여 본 시료의 경우 2배 정도 빠르다는 결과를 얻었다. 15°C와 30°C의 제거능력 비교에서는 30°C에서 더 빠른 것으로 나타났으나 그 차이는 도로변 흙보다 부식토의 경우에 더욱 현저하게 나타났다. 실험에 쓰였던 토양시료를 다시 일산화탄소의 높은 농도에 접하게 함으로써 재사용하는 경우에는 새로이 접하게 했던 시료에 비해서 제거능력이 15%정도 증진되는 것으로 관찰되었다.

Table 2에서는 마소의 거름과 나뭇잎 등의 유기질이 든 부식토라 할지라도 그 출처에 따라 일산화탄소 제거기능이 상당히 달라질 것이 예상되었으므로 세가지 토양시료의 차이를 비교한 것이다.

그 결과로서 부식토라 하더라도 시료에 따라 일산화탄소 제거기능에는 상당한 차이가 관찰되었으므로 본 실험의 데이터에 있어서는 그 성격 상 같은 시료로 여러번 측정하여 평균값을 얻는다는 것이 커다란 의의를 지닌다고는 생각되지

Table 2. CO consumption of different source of humus at 30°C.

Soil type	Initial concentration of CO in reaction vessel (ppm)	CO removal rate (ppm of CO/h)
Humus A	8,600	360
Humus C	9,700	240
Humus B	10,800	380

않았다.

Fig. 2, 3은 두 가지 부식토에 대해서 실온과 30°C의 온도를 택하여 일산화탄소의 초기농도에 따라 그 제거속도가 어떻게 달라지는가를 보이고 있다. 이 결과에 의하면 토양시료의 일산화탄소 제거능력은 일산화탄소의 초기 농도가 높아지면서 함께 증가되다가 어느 범위를 넘으면 오히려 감소한다는 것을 보여주고 있다. 본 실험에서 택한 일산화탄소 농도 범위인 약 1%로부터 2.4% 사이에서는, 1.3% 근처에서 최대 제거능력이 얻어지는 것으로 추측된다. 부식토 시료 A, B의 경우 그리고 실온과 30°C의 경우에서도 이런 경향은 마찬가지였다. 더우기 토양시료는 처음에 택했던 것을 계속해서 세 번 더 재사용했으므로 오히려 약간씩 증가될 가능성도 없지 않았으나 실험결과와는 현저하게 감소하는

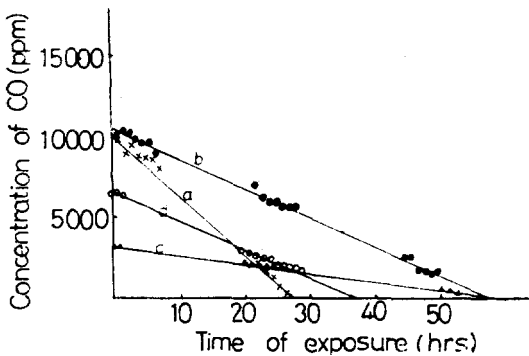


Fig. 2. CO consumption of humus-A and -C at various CO concentration.

Plot	Humus	Temp. (°C)	Initial concentration of CO (ppm)	CO removal rate (ppm/h)
a)	A	30	10,800	400
b)		20	10,700	195
c)	C	15	3,100	52
d)		30	6,600	180

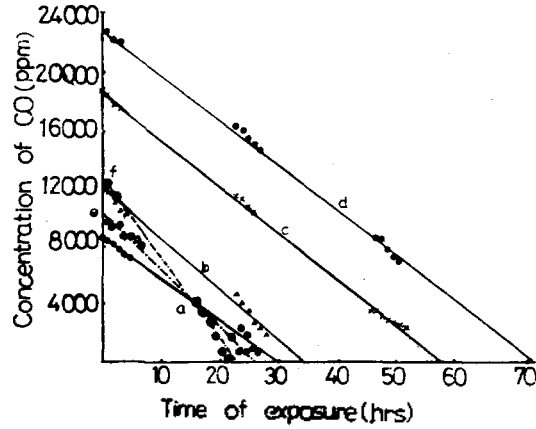


Fig. 3. CO consumption of humus-A and -B at various CO concentration.

Plot	Humus	Initial concentration of CO (ppm)	CO removal rate (ppm/h)
a	A	8,600	270
b		12,600	360
c		18,700	330
d		23,600	320
e	B	10,800	380
f		12,900	560

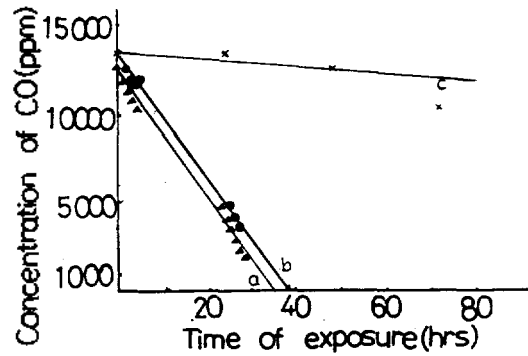


Fig. 4. Effect of streptomycin and 10% NaCl solution on the CO consumption rate of soil at 20°C.

Plot	Initial concentration of CO (ppm)	CO removal rate (ppm/h)
a (no antibiotics added)	12,600	360
b (500 ppm streptomycin)	13,300	350
c (10% NaCl added)	13,300	50

것으로 나타났다.

Fig. 4는 소금물과 스트렙토마이신의 첨가가 본 실험에서 사용한 토양의 일산화탄소 제거반응에 어떤 영향을 미치는가를 보인 것이다. 소금물은 무게비로 10% 용액을 만들어 그 750 ml를 3.0 kg의 토양시료에 처리하였으며, 스트렙토마이신은 500 ppm의 용액 750 ml를 3.0 kg의 토양에 처리하였다. 이 두 결과를 소금물이나 스트렙토마이신으로 처리하지 않은 토양시료의 일산화탄소 제거능력과 비교하면 흥미있는 결과가 얻어진다. 즉 소금물은 토양시료의 일산화탄소 제거능력을 거의 상실케 한 반면, 스트렙토마이신은 스독처리를 하지 않은 토양시료와 거의 비슷한 결과를 주어서 토양의 제거반응이 거의 아무런 영향을 받지 않았다는 사실이다.

4. 결 론

토양이나 토양미생물이 일산화탄소를 제거한다는 사실은 잘 알려져 있다. 그러나 지구상의 토양의 일산화탄소 제거용량, 관여하는 미생물의 종류 및 제거메카니즘 등에 대해서는 연구결과가 일치되지 않는 점이 상당히 있으며^{3,4,11}, 밝혀야 할 과제가 많은 것으로 생각된다. 이들 연구는 일산화탄소 농도 백 ppm 수준에서 이루어진 것으로서 예컨대 토양의 제거용량 계산에 있어 대류권 발생량의 14%라는 발표로부터 40%에 이른다는 결과의 차이를 보이고 있다^{2,8,10}.

본 실험의 실험실 측정으로부터 토양이 수 %의 농도에서도 일산화탄소에 대한 제거역할을 한다는 것은 확실해졌다. 화분 흙으로서 사용되는 유기물질이 많은 부식토와 도로변 토양의 실험으로 얻은 일산화탄소의 소모속도를 비교하면 부식토의 일산화탄소 소모속도가 빨랐다. 그리고, 일산화탄소에 이미 접했던 토양은 처음으로 일산화탄소의 높은 농도와 접하는 토양보다 일산화탄소 소모속도가 약간 빨라지는 것으로 보인다.

각각의 일산화탄소 소모속도는 여러가지 변화인자에 의해 상당히 폭넓게 변화한다. 미생물의 활동이 활발하도록 토양의 온도를 30°C로 유지한 경우와 15°C의 토양사이의 일산화탄소 소모

속도는 차이가 현저함이 관찰되었다. 따라서 미생물의 활동도가 높은가 낮은가에 따라 토양의 일산화탄소 제거 능력은 커다란 영향을 받는 것으로 보인다.

항생제 또는 살균남비를 써서 토양시료를 살균한 뒤에는 토양의 일산화탄소 소모능력이 상실된다는 사실은 이미 발표된 바 있다. 그리고 살균한 흙에 살균하지 않은 흙을 섞어주면 점차로 일산화탄소 제거기능이 회복된다는 것도 밝혀진 바 있다⁸.

본 실험에서 10% 소금물로 처리한 토양이 일산화탄소 제거기능을 상실한다는 사실은 본 시료의 일산화탄소 소모가 토양에서의 화학반응에 의해서라기 보다는 유기체의 생화학작용이었음을 뒷받침하는 증거로 사료된다. 일산화탄소는 자연계에서 히드록시 라디칼에 의한 메탄의 산화로부터 다량 생성되기도 하지만, 또한 히드록시 라디칼에 의해서 이산화탄소로 산화되어 제거되기도 한다. 그러나 10% 소금물의 첨가는 토양시료의 수분함량을 증가시킨 이외에는 생물체의 세포기능에 결정적인 영향을 준 것으로 생각되므로 토양미생물에 의해 제거반응이 진행된 것을 말해 준다고 볼 수 있다.

한편 스트렙토마이신의 첨가가 토양의 일산화탄소 제거능력에 거의 영향을 미치지 않았다는 사실은 토양시료에 따라 미생물의 분포가 다를 수 있을 것이 예상되므로 「일산화탄소 제거가 토양미생물에 의해 이루어진다」는 결론에 차질을 빚지는 않을 것이다. 좀더 다양하게 항생제를 선택하면 본 실험에 기여한 토양미생물의 범위를 축소시킬 수 있으리라 생각된다. 다만 스트렙토마이신의 첨가결과로부터 추측할 수 있는 것은 스트렙토마이신이 원핵세포 미생물의 30S 리보조움에 결합하여 단백질 합성을 방해하며 진핵세포 미생물에는 작용하지 않는다는 사실로 미루어 본 토양시료에서는 다수의 그람-음성 박테리아가 기여하지 않았을 것이라는 점이다.

본 연구에서는 다음과 같은 두가지 문제에 초점을 두었다. 하나는 화석연료의 다량사용으로 국부적인 일산화탄소의 고농도가 심각한 해독을 미치는 우리의 실정을 감안하여 토양미생물의

생화학적 활동이 수 %의 일산화탄소 농도에서도 유효할 것인가의 문제였다. 또 하나는 일산화탄소의 농도가 증가함에 따라 토양의 소모능력이 어떻게 달라질 것인가의 문제였던 바, 외국의 연구에서 토양의 제거용량 결정에서 상당한 차이를 보였다는 것은 실험에 사용된 일산화탄소 농도 범위가 다르므로 나타난 결과였을 가능성도 있기 때문이다.

따라서 본 실험에서는 일산화탄소 제거능력을 가진 부식토미생물에게 치사농도가 되는 일산화탄소의 한계값을 찾으려는 시도에서 농도를 변화시켰다. 그러나 2.4% 범위까지 올린 현 실험에서는 부식토의 일산화탄소 제거능력이 유효했으며 부식토-A와 B의 경우 접촉하는 일산화탄소의 초기 농도를 0.9%에서 2.4%로 변화시킨 일련의 실험결과 1.3% 근처에서 제거 속도가 최대값에 이른다는 것이 관찰되었다. 즉 토양의 일산화탄소의 농도에 비례하여 제거능력이 증진되다가 어느 한계에서 증가를 멈춘다는 결과를 얻었다.

그러나 본 실험의 결과만으로는 토양미생물의 작용이 효소반응에 대한 Michaelis-Menten 속도식의 관계를 만족시키는지 여부는 결정짓기가 어렵다. 더욱이 본 실험의 자료는 일산화탄소 농도가 1.7% 보다 높아지면서는 소모속도가 오히려 감소된다는 결과를 주고 있으며, 특히 부식토-A의 경우에는 일산화탄소 농도가 약 2%였을 때는 초기 단계에서 오히려 일산화탄소가 증가하는 경향을 보이다가 얼마뒤 감소하기 시작해서 명으로 떨어지는 복잡한 양상을 보였다. 따라서 일반적인 결론에 이르기 위해서는 좀더

다양한 시료를 택하여 광범위한 농도범위에 걸쳐 반응체계를 보완한 체계적인 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

그리고 토양시료의 유기물 분석, pH 측정 등으로 토양의 성질을 결정하고 소모반응을 확대화시키는 여러 조건을 찾아낸다면 일산화탄소의 해독을 경감시키는데 토양의 역할을 강화시킬 수 있으리라 기대된다.

인 용 문 헌

1. G. W. Jones and G. S. Scott, *Ind. Eng. Chem.*, **31**, 775 (1939).
2. G. W. Batholomew and M. Alexander, *Appl. Environ. Microbiol.*, **37**, 932 (1979).
3. *Chem. Eng. News*, May 10 (1971).
4. E. W. Chappelle, *Biochim. Biophys. Acta*, **62**, 45 (1962).
5. G. B. Diekert and R. K. Thauer, *J. Bacteriol.*, **136**(2), 597 (1978).
6. O. Meyer and H. G. Schlegel, *J. Bacteriol.*, **137**(2), 811 (1979).
7. G. H. Heichel, *J. Environ. Qual.*, **2** (4), 419 (1980).
8. R. E. Inman, R. B. Ingersoll, and E. A. Levy, *Science*, **172**, 1229 (1971).
9. R. B. Ingersoll, R. E. Inman, and W. R. Fisher, *Tellus*, **26**, 151 (1974).
10. R. Conrad and W. Seiler, *Appl. Environ. Microbiol.*, **40**, 437 (1980).
11. A. Kistner, *Proc. K. Ned. Akad. Wet. Ser.*, **C56**: 443 (1953).