

## 한국의 태안반도에서 관측된 CO의 지역적 배경농도에 관한 연구

### On the Regional Background Level of CO Observed at Tae-ahn Peninsula in Korea During 1990~1992

정 용 승 · 이 근 준

한국교원대학교 환경과학연구소  
(원고접수 : 1993. 6. 30)

Young-Seung Chung, Keun June Lee

Environmental Science Institute, Korea National University of Education, Chongwon, Choongbook 363~791  
(Received, 30 June 1993)

#### Abstract

Since November 1990, observations of carbon monoxide(CO) levels have been carried out at Tae-ahn Peninsula(TAP) in Korea. Analysis on atmospheric data, obtained in the period from November 1990 to February 1992, is carried out and the results are included in this study.

It is observed that variations of monthly average level on CO are in the range of 141.61 ~516.06ppb(amplitude 374.45 ppb). An average level in 1991 is 308.18 ppb. CO observed at TAP has a larger seasonal variation. One of reasons appears that CO of TAP is strongly influenced by local sources and westerly airflows.

When this gas of TAP is compared with data observed at Korea National University of Education(KNU) and in Seoul, we learn that CO values of KNU are higher(in average 2.15 times) than those of TAP; CO value observed in Seoul are 7 times higher than those of TAP. We interpret that air samples taken both at KNU and in Seoul are influenced strongly by local sources than those at TAP. According to analysis of trajectories and airflows, the CO value is higher with NW airflows than the value with SW airflows.

#### 1. 서 론

일산화탄소(CO)는 주로 연료의 불완전 연소시에 많이 발생하며 이는 자동차 배기가스와 석탄의 연소등에서 많이 배출된다. 이러한 일산화탄소는 오늘날 특히 차량의 급증으로 급격히 증가하여 주요 대기오염 물질의 하나로 고려되고 있다. 일상 대기중의 농도(100ppm 이하)에서는 식물에 별 뚜렷한 피해를 입히지 않는 것으로 알려져 있으나 사람과 동물에게 있어서 일산화탄소는 혈액중의 헤모글로빈과 결합하여 Carboxy hemoglobin (COHB)을 형성함으로써 혈액중의 산소 전달기능을 방해한다(Dix,

1981). CO의 동·식물에 관한 영향은 매우 중요하며, 특히 지구대기의 온실효과에 관한 연구에도 CO의 배경적 관측이 요망되고 있다. 기후 관련 가스의 배경적 모니터링에 관한 필요성 등 일산화탄소에 대한 관심이 증가하면서 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 CMDL(Climate Monitoring and Diagnostic Laboratories)에서는 전 세계 35개소에 NOAA/CMDL flask sampling network을 설치하여 CO를 관측하고 있다(Conway et al., 1988). 이들 관측장소에서 측정된 관측치를 살펴볼 때 CO가 계절변동한다는 사실을 알 수 있다. Cape Point (34° 21'S, 18° 29'E)에서

1978년에서 1986년까지 측정된 결과에 따르면 최대값과 최소값의 차이가 25ppb이며 최대값은 9~10월(남반구 봄)에, 최소값은 2~3월(늦은 여름이나 이른 가을)에 나타난다(Brunke et al., 1990). 비슷한 CO의 계절변화가 Mauna Loa에서도 관측되며 계절차로 인하여 6개월 늦어진다(Seiler et al., 1976).

이러한 세계 여러 지역의 관측에 비하여 우리나라에서는 CO 가스의 배경농도에 대하여 monitoring하고 있지 않다. 본 연구에서는 우리나라에서는 처음으로 NOAA/CMDL의 도움을 받아 지구대기의 온난화와 장기적인 모니터링을 위해 CO의 배경적 관측을 수행하였다. 1990년 11월부터 1992년 2월까지의 자료를 분석하여 첫째 CO 배경농도의 변화 경향을 알아보았으며, 둘째 태안반도(TAP)에서 관측한 지역적 배경농도를 한국교원대학교(KNU)에서 관측한 local 농도와 환경처에서 관측한 청주, 서울농도를 비교하여 국부적 CO의 생성률을 밝혔으며, 셋째 기류에 따른 CO의 농도변화를 조사하였다.

## 2. 관측 및 자료

### 2.1 관측장소

CO의 배경농도를 측정하기 위해서는 가능하면 지역적인 영향을 적게 받는 곳으로서 공업 및 상업 지역이나 인구밀집지대에서 100km 이상 떨어진 곳이 적당하다(WMO 권장). 우리나라는 지역이 협소하고 산업시설이 산재하여 이러한 조건을 갖춘 곳을 찾기가 매우 힘들다. 그러나 연구목적과 한국의 중부를 가로지르는 기류가 도착되는 측정장소로서는 서해안의 한 곳이 적당하며 이러한 목적으로 본 연구소가 선정한 곳이 충청남도 태안군 소원면 파도리(TAP) 관측소이다. 관측장소인 파도리는 주로 농업과 어업에 종사하는 농어촌 지역으로 본 연구의 목적에 잘 부합되는 관측소로 사료된다. 관측은 인근 해발 20m의 언덕에서 실시하였으며 관측소의 서쪽은 황해로 이어져 있다.

### 2.2 관측 및 분석방법

관측기기는 미국 NOAA/CMDL에서 제공한 Martin and Kitzi's Sampler(MAKS)를 사용하였다. MAKS은 무게가 11kg으로 휴대가 가능하다.

CO 가스의 sampling은 펌프를 이용하여 flask에 공기를 넣는 flask air sampling 법을 사용하였다. 이전에는 flask를 진공으로 만든다음 마개를 열어 공기를 넣었으나, 오차가 크므로 flushing 방법으로

pump를 이용하여 flask에 공기를 채집한다. 이러한 방법은 공기를 압축하여 넣기 때문에 종전보다 1.3~1.5배 정도 더 공기를 넣을 수 있다. 매주마다 TAP에서 포집된 sample들은 미국 NOAA/CMDL에 보내져 GC with mercuric oxide reduction/resonance fluorescence detection으로 분석되었다. 분석상의 정밀도는 ~1%이다(Conway et al., 1988).

## 3. 일산화탄소의 source와 sink

### 3.1 일산화탄소의 source

표 1은 자연적이며 인위적인 sources로부터 방출되는 global CO의 범위를 나타낸다(Informatics, 1979). 자연적인 sources 중 가장 중요한 것은 CH<sub>4</sub>의 산화이며, 대류권에 있는 natural hydrocarbon과 식물로부터의 직접적인 방출과 해양에있는 미생물의 활동 등에 의해서도 방출된다. 인위적인 방출은 화석연료의 연소와 산불 등에 의해서 발생하며 화석연료의 연소에 의한 증가가 두드러진다. 이들 추정치는 불확실성이 있으며 특히 자연적인 sources에서 더욱 크다(Finlayson-Pitts, 1985).

CO의 양은 매년 증가하고있다. 이러한 증가는 주로 인위적인 CO 방출에 기인한다. CO를 생성하는 기구는 다음을 들 수 있으며 외부로부터 에너지(h)가 있을 때 주로 탄화수소계열의 화합물이 모체가 된다(Finlayson-Pitts, 1985).



Table 1. Estimated range of global emission of CO from natural and anthropogenic sources (Informatics, 1979).

Source Category	Estimated Emission(10 <sup>6</sup> metric ton)
<i>Nature</i>	
CH <sub>4</sub> oxidation	60-5000
Oxidation of natural hydrocarbons	50-1300
Microbial activity on oceans	20-200
TOTAL	150-6700
<i>Anthropogenic</i>	
Fossil fuel combustion	250-1000
Forest fire	10-60
TOTAL	260-1060



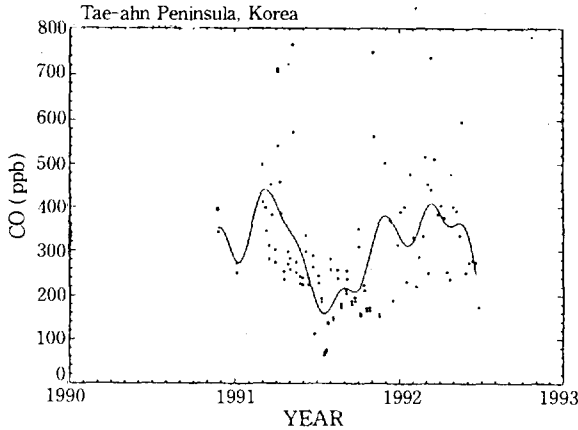


Fig. 1. CO variations at Tae-ahn Peinsula, Korea from 1990 to 1992.

로의 계속적인 관측을 통하여 변동경향을 알 수 있을 것이다.

4. TAP과 KNU에서의 일산화탄소 농도 비교

표 3은 TAP과 KNU에서 관측한 CO의 농도를 비

교한 것이다. 비교한 날 모두KNU의 CO 농도가 TAP보다 훨씬 높으며, 평균 차는 507.12ppb이다. 이는 태안과 청주 사이에서 발생하는 한국 농촌지역 source의 역할을 제시하고 있다. CO의 농도차가 큰 것은 CO의 발생원이 주로 도시와 공업지역의 화석연료 소비와 자동차 배기가스로부터 발생하기 때문이다.

KNU 지역은 인근에 있는 청주, 조치원으로부터의 오염물질의 유입과 인근 공장지대로부터 배출되는 많은 source를 가지고 있으며, 약 2km로 떨어진 곳에는 4차선의 도로가 있어 많은 차들이 이동한다. 이와는 반대로 TAP은 전형적인 농·어촌 지역으로 약간의 논과 밭이 있으며 주위에 낮은 산들과 서쪽에는 바다로 이어진 시골 지역이다. 논, 밭, 가축으로부터 약간의 자연적인 가스들은 발생할 수 있으나 공업지역에서도 CO가 다소 발생할 수 있다. 특히 안개가 많고 haze가 관찰될 때 CO 농도가 높게 나타난다. 이것은 공기가 정체되어 있어 확산이 어렵기 때문이다.

표 4는 환경처가 관측한 서울과 청주의 일산화탄소의 일 평균값을 보여준다. 환경처는 ppm 단위로 관측하며 NOAA는 ppb 단위로 분석한다.

Table 3. Comparison of atmospheric gases measured at the seashore(TAP) and inland sites(KNU).

Date	Site	CO (ppb)	Wind direc	Wind speed (m/s)	Temp. (°C)	Remark
92/2/28	TAP	377.57	WSW	2.5	14.0	cloudy
"	KNU	1,409.09	WNW	0.3	9.2	hazy
92/3/6	TAP	271.87	NNE	5.0	6.0	-
"	KNU	564.33	NNE	2.4	4.3	-
92/3/13	TAP	543.87	NNE	1.0	8.0	-
"	KNU	1,076.90	-	calm	4.0	dense fog
92/3/20	TAP	573.89	NNE	4.0	9.0	-
"	KNU	745.34	N	1.5	9.0	cloudy
Av. diff.		507.12				-

Table 4. Average CO values(ppb) observed in Seoul and Chongju.

Date	Seoul	Chongju
92/2/28	4,500	2,300
92/3/6	1,600	600
92/3/13	3,700	1,600
92/3/20	2,300	600

표 3과 4를 비교하면 1992년 2월 28일의 경우 태안이 378ppb, KNU가 1409ppb로서 태안에서 직선거리 120km 떨어진 KNU에서 CO가 3배 이상 증가했으며 청주시내는 1300ppb로서 청주교외에 위치한

한국교원대와의 값과 비슷하다. 그러나 서울은 태안의 약 12배의 CO가 기록되었다. 3월 6일은 태안이 272, 교원대 564, 청주 600ppb로서 내륙이 2배 이상 기록하였으며 대도시 서울은 CO 농도가 약 5.9배 증가 되었다. 세번째 사례는 3월 13일로서 태안 544, 교원대 1077, 청주 1600ppb를 기록하여 이 경우도 태안보다 교원대가 약 2배, 청주가 약 3배 높다. 한편 3월 20일 관측된 값은 태안 574, 교원대 745, 청주 600ppb로서 내륙이 서해안보다 다소 높다. 그러나 서울의 평균값은 2,300ppb로서 태안보다 4배나 높게 CO가 생성됨이 입증되었다.

첫번째 사례인 2월 28일은 약한 서남서 바람이

고기압의 후면에 위치한 태안반도에 붙었으며 지상과 850mb에는 20KTS의 남서기류가 중국쪽에서 유입되었다. 사례 2는 고기압의 전면에서 전형적으로 찬 북풍기류의 영향을 받고 있어 태안의 값이 매우 낮으며 교원대와 청주도 태안의 2 배에 그친 544~600ppb를 기록하였으며 서울도 6배인 1600ppb 이었다. 사례 3은 우리나라가 고기압의 중심에 있어 풍계가 약하였으며 이로 인해 교원대가 태안의 2배 서울이 6배를 기록하였다. 4번째 사례는 남해에 위치한 저기압의 영향으로 우리나라는 북동계열의 바람이 불었으며 이로 인해 태안은 574ppb의 높은 값이 기록되었고 한국교원대가 745ppb, 서울이 2300ppb를 기록하였다.

이상 4개의 사례를 종합하면 태안에서 관측된 지역적 배경농도의 평균값(441.8ppb)을 기준으로 120km 동쪽의 풍하측에 있는 청주 외곽 KNU는 배경농도에 2.15배 높이가 관측되었다. 태안의 관측은 중국의 영향을 파악하기 위해 주로 서풍이 부는 날 수행되었으며, 청주는 태안반도의 풍하측으로 고려될 수 있다. 한편, 대도시 서울의 평균값은 3,025ppb로서 태안 배경농도의 6.68배로서 이는 서울의 CO 대기오염 생산율을 말해주고 있다.

5. 온실 가스들(이산화탄소, 메탄)과 일산화탄소의 상관

본 연구소는 이산화탄소와 메탄가스를 동시에 관측하였다(자료생략). 표 5는 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 CO의 상관관을 조사한 것이다. CO<sub>2</sub>와 CO, CH<sub>4</sub>와 CO의 상관계수는 각각 0.7024, 0.4925로서, 0.001의 수준에서 CO<sub>2</sub>와 CO는 상관이 높고 CH<sub>4</sub>와 CO도 상관이 있다. 이것은 CH<sub>4</sub>의 산화과정을 볼 때 CH<sub>4</sub>에서 CO<sub>2</sub>의 생성은 여러 과정을 거치지만 CO는 바로 생성될 수 있기 때문이다.

또한 CO는 local source의 영향을 크게 받으므로 CO가 높을 때 CH<sub>4</sub>와 CO<sub>2</sub>가 높으면 이들 값이 배경적이기 보다는 local source의 영향을 더 받고 있다는 것을 의미한다.

Table 5. Correlation of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO.

Correlations:	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO
CO <sub>2</sub>	1.0000	.2846	.7024**
CH <sub>4</sub>	.2846	1.0000	.4975**
CO	.7024**	.4975**	1.0000

N of cases: 56      1-tailed signif:      \*-01      \*\*-.001

6. 사례연구

사례 1. 1991년 4월 20일

4월 19일 지상일기도에 따르면 우리나라는 전반적으로 몽골에 중심을 둔 1044mb 고기압의 영향으로 날씨가 맑았으며 북서쪽에서 바람이 유입되고 있었고, 남부지방은 남쪽해상에 걸쳐있는 장마전선의 영향을 약하게 받고 있었다. 한편 만주 동부에 자리잡은 1006mb 저기압이 한반도의 북부지방에 영향을 미치며 서서히 발달하여 전선을 형성하면서 동쪽 해상으로 이동하였다. 20일이 되면서 몽골에 자리잡고 있던 고기압은 1,034mb로 약해져 약간 동쪽으로 이동하여 우리나라 전체의 날씨에 영향을 미치고 있었으며 만주지방에는 다시 1,006mb 저기압이 형성되었다. 이날 850mb 및 500mb 일기도는 우리나라에 강한 북서풍이 불고 있음을 알 수 있다.

그림 2은 1991년 4월 20일의 backward trajectory이다. 0000UT 및 1,200UT의 850mb와 1,000mb의 시간에 따른 기류 이동에 따르면 기류가 만주와 바이칼호수지역으로부터 빠르게 유입되고 있음을 볼 수 있다.

이상의 지상 일기도와 중층일기도, 그리고 trajectory 분석에 의하면 이날 기류는 만주지방에서부터 발생된 오염체와 가스들을 동반하고 빠르게 우리나라로 이동해 왔음을 알 수 있다. 관측당시(4월 20일 12:00) 관측지점의 바람은 NNW, 5m sec<sup>-1</sup>이었고 맑은 날씨를 보였다. 분석된 일산화탄소의 농도는 253.46ppb이었다.

TRAJECTORIES TO TAP(36.73N, 126.13E) 91110-4/20/91  
 A: 0000 UT 1,000hPa      C: 1,200 UT 1,000hPa  
 B: 0000 UT 850hPa      D: 1,200 UT 850hPa

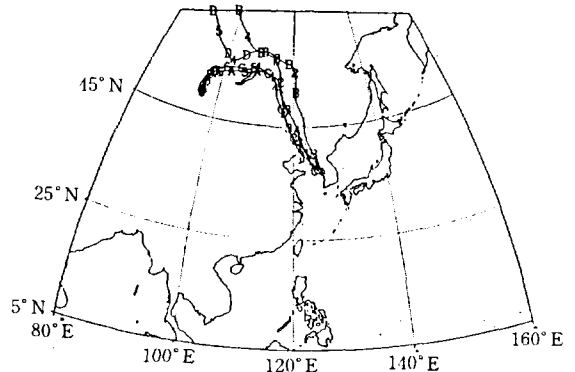


Fig. 2. Backward air-parcel trajectories arriving at Tae-ahn Peninsula on 20 April 1991.

사례 2. 1991년 7월 24일

7월 23일 지상일기도에 따르면 장마전선이 북상하여 우리나라 중부지방에 걸쳐 있으므로 우리나라 전역에 비가 내렸고(서산 40.6mm) 북태평양으로부터 바람이 유입되고 있었던 24일 역시 장마전선으로 계속하여 중부지방에 비를 내렸으며 약간 세력이 약화되었다. 24일 850mb와 500mb 일기도에 따르면 한반도 북부에서는 북서풍이 유입되고 있었고 중부 및 남부는 남서풍이 비교적 강하게 유입되고 있었다. 그림 3는 24일 trajectory이다. 1000mb 기류는 동지나해상과 북태평양을 거쳐 빠른 속도로 한반도에 유입되고 있었으며 850mb 기류는 인도차이나반도, 필리핀, 화남지방로부터 비교적 빠르게 이동하였다.

이상의 일기도 및 trajectory 분석에 의하면 이날의 기류는 주로 북태평양의 비교적 깨끗한 공기가 대부분이었으며 화남지방의 기체들이 약간 혼합된 것으로 사료된다. 이날 관측된 CO 농도는 69.61ppb이었다. 이 값은 전지구의 배경농도에 해당되는 값이다(富山史郎, 1990).

이들 두 사례를 비교해 볼 때 주로 북서풍 기류에 의한 중국 기원의 오염물질 및 가스가 한반도에 유입될때가 북태평양의 비교적 깨끗한 기류가 이동할 때보다 CO의 농도가 더 높은 것을 알 수 있다. 이것은 중국의 산업발전에 따른 오염물질과 가스들이 기류를 따라 한반도로 이동해 올 수 있음을 말해준다.

TRAJECTORIES TO TAP(36.73N, 126.13E) 91205-7/24/91  
 A: 0000 UT 1,000hPa      C: 1,200 UT 1,000hPa  
 B: 0000 UT 850hPa      D: 1,200 UT 850hPa

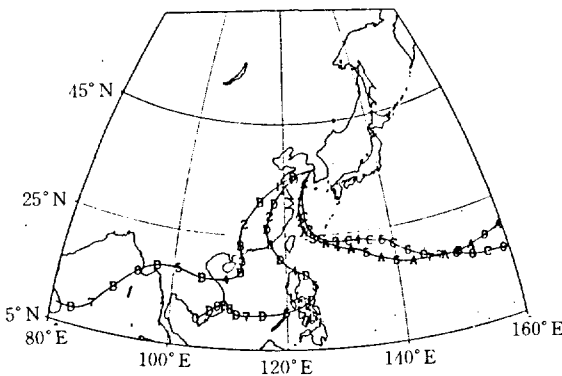


Fig. 3. Same a Fig. 2, but on 24 July 1991.

7. 결론 및 제언

1990년 11월부터 1992년 2월까지 CO의 배경농도가 미국 기상해양청의 도움을 얻어 태안에서 관측되었다. 관측결과에 따르면

1. 농도변화가 심하기는 하지만 CO가 계절 변동한다는 것을 뚜렷하게 알 수 있다. CO의 계절 변동은 식물의 연간변화, 겨울철 화석연료의 소비와 북서풍 기류에 의한 source로부터의 이동 등에 그 원인이 있으며 농도변화가 심한 것은 기류의 이동 및 지역적 오염 source의 영향을 CO가 강하게 받기 때문으로 사료된다.

2. 1991년 CO의 연평균 농도는 308.18ppb였으며 가장 낮은 농도는 63.02ppb였다. 북반구에서의 CO 배경농도가 100ppb 정도이므로 약 200ppb는 기류를 따라 이동되어 온 양과 지역적 source의 영향을 받은 농도로 생각된다.

3. TAP에서 관측한 CO의 농도가 KNU에서 관측한 값보다 훨씬 낮았다. 이것은 CO의 발생원이 주로 자동차의 배기가스 및 화석연료인 것을 볼 때 KNU 지역이 TAP보다 local source의 영향을 강하게 받고 있는 지역이기 때문이다.

4. 1년 이상 관측된 자료 및 분석결과는 북서기류가 유입될 때가 남서기류의 유입 때보다 CO의 농도가 높음을 보여주었다. 이것은 중국의 산업화에 따른 가스와 오염물질이 기류를 따라 이동할 수 있음을 말해준다.

5. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와는 달리 태안의 CO값은 지역적 배경농도를 잘 나타내고 있다. 태안의 배경농도값은 160~440ppb의 큰 변동을 보여주었다.

6. 태안에서 동쪽 120km의 풍하측에 위치한 KNU의 CO 값은 배경관측소의 2배 이상을 보여주었으며 이는 한국 농촌에 흩어져 있는 CO 발원의 강도를 말해준다.

7. 한편 서울에서 관측한 대기중의 평균 CO값은 지역적 배경농도의 약 7배인도 확인되었다.

이상의 결과들은 적은 관측 data를 분석하여 얻은 결과이므로 변동을 이해하기에는 여러 가지 미흡한 점이 있다. 앞으로의 계속적인 관측을 통한 세밀한 분석을 통하여 변동경향을 파악할 수 있으며 특히 서풍이 부는 날의 관측치를 다른 여러 지역과 비교해봄으로서 우리나라의 상대적인 농도와 중국의 CO 유입 및 그 영향 등을 알아보는데 이용될 수 있다.

## 감 사

이 연구는 한국과학재단의 목적기초(특정연구 90-07-00-14)연구지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 富山史郎 (1990) 温暖化에 關與하는 大氣 微量成分의 發生源(地球規模의 環境問題 I), 中央法規, p. 127.
- Brunke E. G., H. E. Scheel, and W. Seiler (1990) Trends of tropospheric CO, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> as observed at Cape Point, South Africa. *Atmos. Environ.* 24A, 585-595.
- Cheng C. K. J., C. F. Callis, and M. H. Hirschler. (1986) Global man-made emission of carbon monoxide and hydrocarbons. Paper presented at the 7th World Clean Air Congress, Sydney, Australia, 25-29 August.
- Conway T. J., P. Tans, L. S. Waterman, K. W. Thoning, K. A. Masarie, and R. H. Gammon. (1988) Atmospheric carbon dioxide measurement in the remote global troposphere, 1981-1984. *Tellus* 40B, 81-115.
- Dix H. M. (1981) *Environmental pollution*. John Wiley & Sons, New York, 64.
- Finlayson-Pitts B. J. and J. N. Pitts. (1986) *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental techniques*. New York, 24, 67-97, 967-977.
- Informatics, Inc. (1979) "Air Quality Criteria for Carbon Monoxide" prepared for U. S. Environment Protection Agency. EPA-600/8-79-022, October.
- Seiler W., H. Giehl, and H. Ellis. (1976) A method for monitoring of background CO and registrations at Mauna Loa Observatory Hawaii. *WMO Special Environment Report 10: Air Pollution Measurement Technique*, WMO 460, 31-39
- Seinfeld J. H. (1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley, New York, 134-140.