

대기-4 Cheeka Peak(CPO)에서의 수송에 따른 봄철 CO와 O₃ 의 특성

전병일¹, Daniel Jaffe¹

신라대학교 바이오환경공학부,

¹Environmental Sciences, University of Washington

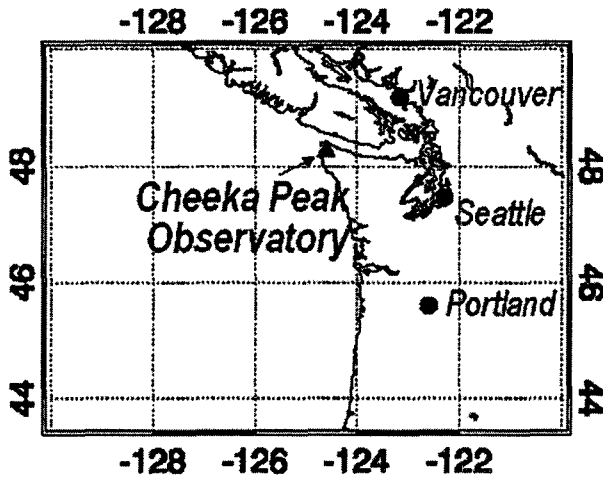
1. 서론

일산화탄소와 오존은 자연적 및 인위적인 원인에 의해 발생하며, 대류권의 산화화학(oxidation chemistry)에서 중요한 역할을 한다. 또한 일산화탄소는 생애주기가 1~2개월 정도로 길기 때문에 대륙이나 대륙간을 이동할 수 있다. 오존은 대류권화학에서 중요한 역할을 하며, 대류권에서 가장 중요한 산화제인 OH 라디칼을 생성하는 일차적인 원인물질이며, 성층권 오존의 유입이나 광화학적 반응에 의해 생성된다. 대류권의 광화학적 오존 생성은 질소산화물, 탄화수소류와 자외선이 필요하고, 대류권 대부분 지역에서 오존생성의 기인물질은 질소산화물(NO_x)이다. 특히 질소산화물(NO_x) 배출이 급속하게 증가된 동아시아의 오존농도는 눈에 띄게 증가하였다.

최근 배경대기관측소에 영향을 미치는 대기오염물질을 추적하기 위해 trajectory를 이용하여 그 오염원을 찾는 연구가 많이 수행되고 있다. backward isentropic trajectory는 측정지역에 미치는 공기괴의 오염지역을 결정하기 위해서 사용되며, 주로 동아시아의 대기오염물질이 태평양 상공이나 미국 서해안에 어떠한 영향을 미치는 지를 연구하기 위해 많이 사용되었다. 본 연구에서는 미국 워싱턴주 북서 연안에 있는 Cheeka Peak Observatory(이하 CPO)에서 2001년 봄철에 관측한 CO, O₃을 이용하여 배경지역의 특성을 알아보고, 이 지역에서 측정된 1997, 1998년의 봄철 자료와 비교하였다. 또한 고농도 CO, O₃ 발생에 대한 원인을 기상학적으로 규명하고, 해양성 공기에 대한 backward isentropic trajectory 분리를 통하여 위도에 따른 영향을 고찰하였다.

2. 측정 및 연구방법

CO와 O₃의 측정은 미국 북서부 워싱턴주의 CPO에서 2001년 3월 6일부터 5월 29일까지 약 3개월간 실시되었다. CPO는 위도 48.3°N, 경도 124.6°W, 해발고도 460m에 있으며, 태평양과 접해있는 올림픽반도 북서단에 위치하고, 관측소 주변에는 주택이나 교통량이 전혀 없다(아래 그림 참조). 또한 이 관측소는 중위도에서 오염되지 않은 해양 공기의 배경대기화학이나 에어로졸 성분을 모니터링 하는데 아주 귀중한 장소이며, 지난 15년 간 여러 과학자에 의해 대기화학이나 에어로졸연구를 위하여 사용되어 왔으며, NOAA의 CMDL은 매일 두 번씩(00UTC, 12UTC) 두 고도(500m, 1000m)에서 후진 등온위면 trajectory를 제공하여, 이 지역에 영향을 주는 공기괴를 연구하는데 도움을 주고 있다.



CPO에서의 CO측정은 검출한계를 향상시키고 수증기 간섭을 줄인 commercial nondispersive infrared absorbance instrument를 이용하여 측정하였으며, 그리고 O₃은 commercial ultraviolet absorption instrument를 이용하여 측정하였다. 후진 등온위 trajectory는 ECMWF 자료와 Harris *et al.*이 제시한 방법을 이용하여 관측기간동안 매일 두 번(00, 12UTC)계산되었다.

3. 측정 결과 및 고찰

1997년과 1998년의 CO와 O₃의 농도는 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 2001년의 경우, CO의 농도는 143ppbv로 1997년(160ppbv)과 1998년(178ppbv)에 비해 낮은 값을 나타내었는데, 이는 5월의 농도가 3, 4월에 비해 월등히 낮았기 때문으로 판단된다(Fig. 3(A) 참조). 2001년의 O₃농도는 48ppbv로 1997년(43ppbv)과 1998년(44ppbv)에 비해 높은 농도를 나타내었다. 비슷한 위도대의 배경지역인 알래스카 Shemya에서 측정한 시간별 평균 CO농도(1994. 6~1995. 5)는 149ppbv로 본 연구의 2001년 농도(43ppbv)와 비슷하였으며, 시간별 평균 O₃농도(1995. 2~5)는 42ppbv로 본 연구의 1997년(43ppbv)과 1998년(44ppbv)의 농도와 비슷하였다.

Table 1. Complete data set for 1997^{a)}, 1998^{a)} and 2001 CPO observation, hourly averages. The values in parentheses are from March 9 ~April 29.

	Mean			s.d.			N(hours)			5 th Percentile			95 th Percentile		
	1997	1998	2001	1997	1998	2001	1997	1998	2001	1997	1998	2001	1997	1998	2001
CO (ppbv)	160	178	143 (150)	22	22	17 (15)	1319	1388	1721 (1100)	132	154	109	201	220	183
O ₃ (ppbv)	43	44	48 (48)	5	6	6 (6)	1327	1407	1892 (1268)	34	34	33	50	54	59

^{a)}From Jaffe *et al.*¹⁸⁾

CPO의 지역적 특성을 고찰하기 위해 평균상대표준편차(r.s.d: relative standard deviation)를 이용하여, 우리 나라의 해안에 위치한 측정소와 비교하여 보았다. CPO의 봄철의 평균상대표준편차는 0.069로 매우 청정한 지역으로 분류되었으며, 농도의 일변화가 거의 없는 배경지역의 특성을 나타내었고 동아시아로부터의 대기오염물질 장거리수송과 관련된 연구를 하는데 매우 적당한 관측소라고 할 수 있다.

Table 2. Spring mean and relative standard deviation of O₃ at CPO, Kosan and Dongsamdong.

	CPO(USA)	Kosan(Jeju)	Dongsamdong(Busan)
Mean(ppbv)	48	52	35
r.s.d	0.069	0.09	0.39

trajectory는 하루에 두번(00UTC, 12UTC)의 자료를 사용하였으며, 각 trajectory일 때의 농도는 00UTC와 12UTC 중심으로 ±6시간을 하여 12시간 평균농도를 구하였다. Table 3은 trajectory 분류에 의해 CO와 O₃농도를 나타내었고, 1998년과 1997년의 자료는 Jaffe *et al.*의 결과를 이용하였다. 1997년의 경우, 아시아로부터의 수송에 따른 영향과 위도에 따라 차이가 있다는 것을 보여주고 있다. 특히 아시안 trajectory일 때의 CO는 165.7ppbv로 저위도 trajectory(146.3ppbv)보다 19.4ppbv 높은 농도를 나타내었고, 중위도 trajectory(150.7ppbv)와 고위도 trajectory(150.2ppbv)보다 15ppbv정도 높게 나타났다. 그러나 1998년과 2001년의 경우, 아시아의 trajectory일 때가 각각 170.9ppbv와 135.3ppbv로 중위도 trajectory(138.8ppbv)와 고위도 trajectory(145.8ppbv)보다 오히려 낮은 농도를 나타내었다. 2001년 O₃의 경우는 아시안 trajectory일 때가 53.1ppbv로 다른 위도의 trajectory(중위도:47.7ppbv, 고위도:50.1ppbv, 저위도:42.9ppbv)보다 높은 농도를 나타내었다. 대체로 아시안 trajectory일 때 PAN, Rn, 에어로졸 산란, 에어로졸 흡수는 다른 위도 trajectory일 때 보다 상당히 높은 값을 나타내었다는 보고가 있으나, 오염물질의 종류에 따라 상당한 차이를 나타내는 것으로 보인다.

Table 3. Marine data(12 hour average) segregated by trajectory classification at CPO.

	Midlatitude			High latitude			Low latitude			Asian		
	Mean	s.d.	N	Mean	s.d.	N	Mean	s.d.	N	Mean	s.d.	N
1997 ^{a)}												
CO(ppbv)	150.7	11.1	39	150.2	6.8	12	146.3	9.6	17	165.7	10.0	9
O ₃ (ppbv)	44.1	3.2	39	43.2	3.2	12	44.5	5.2	17	44.1	2.7	9
1998 ^{a)}												
CO(ppbv)	171.4	8.1	26	172.5	4.3	13	166.7	10.3	9	170.9	9.1	11
O ₃ (ppbv)	44.6	4.3	27	44.2	3.0	13	46.8	2.6	8	46.7	3.5	10
2001												
CO(ppbv)	138.8	17.2	78	145.8	11.6	33	132.7	13.2	6	135.3	8.1	4
O ₃ (ppbv)	47.7	6.5	78	50.1	4.0	33	42.9	7.3	6	53.1	2.1	4

^{a)}From Jaffe *et al.*

4. 결 론

2001년 3월 6일부터 5월 29일까지 미국 서북부 워싱턴주 Cheeka Paek Observatory에서 측정된 CO, O₃자료를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) CO와 O₃은 도시지역과 다른 일변화 경향을 나타내었고 배경지역과 비슷한 경향과 농도분포를 나타내었다.

(2) 해양성으로 분류된 공기가 유입될 때 CO농도는 낮았고 O₃농도는 비슷하거나 약간 높았다.

(3) 이 지역에서의 고농도 CO와 O₃은 해양에서 부는 서풍류가 있을 때보다는 대륙에서 불어오는 동풍류가 있을 때 발생하였다.

(4) 봄철 해양성 공기의 trajectory 분리를 이용하여 위도별 농도비교를 한 결과, 아시안 trajectory일 때의 CO농도는 다른 위도 trajectory에 비해 낮게 나타났고, O₃은 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- 전병일, 2000, 부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 9(4), 295-302.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 해풍이 부산지역의 대기오염농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 3(4), 357-365.
- Jaffe, D. A., A. Mahura, J. Kelley, J. Atkins, P. C. Novelli and J. Merrill, 1997, Impact of Asian emissions on the remote North Pacific Midway, and Mauna Loa, J. Geophys. Res., 102, 28,627-28,636.
- Jaffe, D. A., T. Anderson, D. Covert, R. Kotchenruther, B. Trost, J. Danielson, W. Simpson, T. Berntsen, S. Karlsdottir, D. Blake, J. Harris, G. Carmichael and I. Uno, 1999, Transport of Asian air pollution to North America, Geophys. Res. Lett., 26, 711-714.
- Jacob, D. J., J. A. Logan and P. P. Murti, 1999, Effect of rising Asian emission on surface ozone in the United States, Geophys. Res. Lett., 26, 2175-2178.
- Jaffe, D. A., T. Anderson, D. Covert, B. Trost, J. Danielson, W. Simpson, D. Blake, J. Harris and D. Street, 2001, Observation of ozone and related species in the northeast Pacific during the PHOBEA campaigns: 1. Ground-based observations at Cheeka Paek, J. Geophys. Res., 106, 7,449-7,462.