

무안지역을 중심으로 한 메탄의 장주기적 농도변화 특성 연구

최규훈¹ · 윤용훈² · 김기현^{1,*} · 강창희³ · 조영민⁴ · 고의장¹

¹세종대학교 지구정보과학과 대기환경연구소, 143-747, 서울특별시 광진구 군자동 98

²기상연구소 지구대기감시관측소, 357-961, 충청남도 태안군 안면읍 승언리 1764-6

³제주대학교 화학과, 690-756, 제주시 아라1동,

⁴경희대학교 환경응용화학부, 449-701, 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1

Studies of Long-term Variability of Methane in the Moo-Ahn Observatory Site in Korea

Gyoo-Hoon Choi¹ · Yong-Hoon Youn² · Ki-Hyun Kim^{1,*}
Chang-Hee Kang³ · Young-Min Jo⁴ · Eui-Jang Ko¹

¹Dept. of Earth Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

²Korea Global Atmosphere Watch Observatory, Meteorological Research Institute, Chung-Nam 357-961, Korea

³Dept. of Chemistry, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

⁴School of Environment and Applied Chemistry, Kyunghee University, Yongin, Kyunggi-do, 449-701 Korea

Abstract : In this study, we analyzed the long-term distribution patterns of CH₄ determined from the Moo-Ahn (MAN) observatory in relation with those derived from the world major background monitoring sites. Comparison of the data were made using those data sets collected for the period between Aug. 1995 to Dec. 1997. The mean CH₄ concentration of MAN observatory was measured to be 1898 ± 85.3 ppb, recording the highest concentration of all the monitoring sites. When the concentration of CH₄ for different stations was compared over latitudinal scale, its concentration appeared to increase systematically as a function of latitude with an exception of MAN (and the other Korean monitoring site at Tae Ahn). Moreover, such phenomenon was more distinctive in Northern than Southern Hemisphere. According to the analysis of the monthly distribution patterns of CH₄ at MAN observatory, its concentration level began to increase from the months of February/March and peaked during August. In addition, when the level of oscillation in monthly concentrations (between the maximum and minimum values) was checked, differences were significant between MAN and other monitoring stations. If the rate of concentration change was checked using the data sets collected for this limited time period in terms of linear regression analysis, results for MAN showed the highest annual increasing rate of 16.5 ppb. It is hence suggested that the largest variability in the CH₄ distribution patterns at MAN observatory may be reflected by the high irregularity in its source/sink processes.

Keywords : methane, greenhouse gas, Korean Peninsula, emissions, distribution characteristics

요약 : 본 연구는 전남 무안 관측소에서 1995년 8월부터 1997년 12월까지 측정된 CH₄의 농도자료를 이용하여, 비교대상으로 설정된 국내·외 관측점들과의 관계를 설명하기 위해 다양한 분석을 수행하였다. 연구관측 기간동안 무안지역에서는 CH₄의 평균농도가 1898 ± 85.3 ppb로 나타나, 여타 모든 관측지점들 중에서 가장 높게 측정되었다. 그리고 국내의 또 다른 관측점인 태안 지역에서도 이에 가까운 고농도를 유지하였다. 또한 기타 국외 지점들에서는 인구가 적고 해양이 많은 남반구에 비해 북반구에서, 그리고 저위도에서 고위도로 갈수록 CH₄의 농도가 높게 나타났다. 무안지역의 월주기 농도경향을 분석한 결과, 2, 3월에 CH₄의 농도가 서서히 증가하여 8월에 1958 ppb로 정점을 보여주었다. 모든 관측점들에서 월별 변화양상을 동일한 기준으로 비교분석하기 위해서, 월별 진동폭의 변화를 살펴보았다. 그 결과, 국내의 두 지점에서 80 ppb 이상의 높은 진동폭을 띠는 것으로 보아서, 국외 관측점들에 비해 CH₄의 발생/소멸이 매우 불규칙하게 진행되고 있음을

볼 수 있었다. 이와 더불어 무인지역의 자료를 계절적 주기를 중심으로 분석하면, 농경지나 축사와 같은 인근지역에 위치한 자연적 발생원의 영향이 강한 여름철을 전후하여 고농도를 보였다. 반면 북반구에 위치한 국외 관측지점들에서 동일 계절에 저농도를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 이 기간에 OH radical의 생성이 활발해져, CH₄의 소멸이 촉진되었을 가능성이 큰 것으로 나타났다. 전체 CH₄의 일평균 농도를 이용한 장주기적 추세에 대한 분석결과에 따르면, 국내의 두 관측지점들(무안, 태안)에서는 수일 주기의 농도 변화가 급격하게 이루어졌지만, 뚜렷한 계절적 주기는 발견하기가 어려웠다. 그런데 국외의 관측지점들에서는, 계절적 주기의 변화가 상대적으로 뚜렷하고 규칙적인 양상을 보여주었다. 지역별 CH₄ 농도간의 상관분석을 실시한 결과, 국내 두 지점들 간에는 양의 상관관계, 무인지역과 북반구의 관측점들과는 음의 상관관계를 보였다. 반면 남반구에 위치한 관측점들과는 양의 상관관계를 확인 할 수 있었다. CH₄ 농도의 장주기적 변화경향을 분석하기 위해, 단순회귀분석을 실시한 결과, CH₄ 농도의 증가율이 무안과 태안 지역에서 각각 연간 16.5, 14.8 ppb로 가장 높게 관측되었다. 관측점 주변에 복잡한 배출원의 작용이 가능하다는 점을 감안하여, 무인지역의 CH₄ 농도변화와 풍향과의 연계성을 비교해 보았다. 이 결과에 의하면, 동풍계열의 풍계가 나타날 때 고농도의 값이 나타났으며, 청정한 공기가 유입되는 남서풍의 풍계시에는 비교적 낮은 CH₄ 농도가 유지되었다. 이처럼 CH₄의 장주기적 분포특성은 연구대상지역의 복잡한 배출·소멸작용과 연계되어 매우 다양하고 독특한 형태를 띠고 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 메탄, 온실기체, 한반도, 배출원, 분포특성

서 론

산업 활동의 증가와 다양한 오염물질의 배출로 인하여 기후변화 또는 기상이변 등과 같은 다양한 환경문제가 발생하고 있다. 이처럼 전 세계적으로 빈발하고 있는 이상기후현상은 일시적인 현상으로 단정하기 보다는 장기적인 기후변화에 의해 발생하는 현상으로 보아야 한다는 견해가 높다(박정규, 2000). 이러한 환경관련 문제는 앞으로 인류가 해결해야 할 가장 중대한 현안으로 대두되고 있다. 특히 온실기체의 과다한 배출로 인해 촉진된, 지구온난화현상은 다시 해수면 상승, 사막화현상 등과 같은 부수적인 환경문제를 야기하고 있다. 해수면 상승은 해안에 발달한 도시의 존립에 위협이 되고 있고, 대기의 기온상승으로 인한 이상기상현상은 지구촌 곳곳에서 가뭄, 한파, 폭설 등 대규모 자연재해를 일으키는 핵심적인 요인의 하나로 지목되고 있다(기상연구소, 1998). 이와 같은 문제의 해결을 위해 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)는 대기 중의 온실기체 및 이와 관련된 인자들의 거동을 체계적으로 관측하기 위해, 1998년에 지구대기감시(Global Atmosphere Watch, GAW) 프로그램을 시행하게 되었다. GAW 프로그램의 일환으로 1990년 10월에 대기와 해양에서의 온실기체(CO₂, CH₄, CFC-11, CFC-12, CFC-13, CCl₄, CH₃CCl₃ 등) 및 이와 관련된 기체들(CO, NO₂, NO, SO₂)의 농도에 관한 자료의 수집 및 분배를 위하여, 일본기상청(Japan Meteorological Agency, JMA) 산하에 세계 온실기체 자료센터(World Data Center for Greenhouse Gases, WDCGG)를 설립하였다. 이러한

노력의 성과로 국내에서도 정기적인 온실기체의 농도 관측 및 자료집의 발간이 이루어지고 있다(기상연구소, 1988).

대표적인 온실기체 항목으로 CO₂, CH₄, N₂O, CFCs, O₃, 수증기 등이 포함된다. 그런데 이들 성분의 발생원은 인간의 활동과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에, 대기 중에서 쉽게 제거되지 않는 특성을 유지한다. 이들은 오히려 장기적인 관점에서 볼 때, 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이들 가스의 분자 당 승온효과는 CO₂를 1로 했을 때 CH₄가 약 10배, N₂O가 약 100배, O₃이 약 1000배, CFCs가 약 10,000배인 것으로 추정되고 있다. 총량적인 관점에서 접근하면, 이들 주요 온실기체 중에서 대기의 온실효과에 미치는 기여도는 CO₂가 55%로서 가장 크고, 그 다음 CFCs 17%, CH₄ 15%, O₃ 12%, N₂O 6%의 순으로 분류되기도 한다(홍성길, 1995). 이 중 CH₄와 N₂O는 주로 1차 산업이나 자연생태계에서 동시에 발생하는 것으로 알려져 있다. 대기 중 CH₄의 농도는 꾸준히 증가하여 현재 전 지구적으로 약 1750ppb에 달하고 있다. 그러나 1992년의 경우, 그 증가율이 정체되었다가, 1993년 이후 그 증가율이 8ppb/yr 수준을 나타내고 있다(IPCC, 1988, 1990).

이들 온실기체들은 각각 발생과 소멸과정이 다르며, 또 대기복사과정에 미치는 영향 및 온실효과에 미치는 기여도도 다르게 나타난다. 본 연구에서는 온실기체의 환경거동을 연구하기 위한 목적 하에 과거 본 연구진이 수행한 CH₄의 단주기적 경향성 분석에 대한 연구(최규훈, 2001)의 후속작업으로 CH₄에 대한 수년 단위의 장주기적 분포특성에 대한 분석을 수행

하였다. 이를 위해 이들의 발생원과 소멸원에 의한 영향을 간략히 제시해 보면 CH_4 의 경우, 전 지구적 규모의 발생량 $535\text{Tg}(\text{CH}_4)/\text{yr}$ 중 약 70%인 $375\text{Tg}(\text{CH}_4)/\text{yr}$ 가 인위적 요인에 의해 발생하며, 나머지 30% 정도는 자연적 요인에 영향을 받는 것으로 나타나고 있다(이경보, 이덕배, 1999). 한편 CH_4 의 주요 소멸 과정을 살펴보면, 대류권에서 대기 중 OH와의 결합에 의해 파괴되는 CH_4 의 총량은 $490\text{Tg}(\text{CH}_4)/\text{yr}$ 으로 추정되고 있다. 나머지는 성층권으로 이행되든지 토양 중이나 물 속의 산화제에 의한 분해로 소실된다. 참고로 CH_4 의 연간 증가율이 두드러지게 나타났

던 1980~1990년 기간 중에는 대기 중 연간 증가율이 $37\text{Tg}(\text{CH}_4)/\text{yr}$ 로 보고되고 있다(기상연구소, 1997).

연구방법

본 연구에서 CH_4 의 측정은 기상연구소에서 일상적으로 수행하는 연구사업의 일환으로 시작된 온실기체의 정기관측사업을 그 기반으로 한다. 이를 위해 기상청에서는 1993년에 전라남도 무안(Moo-Ahn: 이하 MAN으로 총칭함)에 정기적인 온실기체 관측을 목적으로 MAN 관측소를 설립하고 관측사업을 실시하였

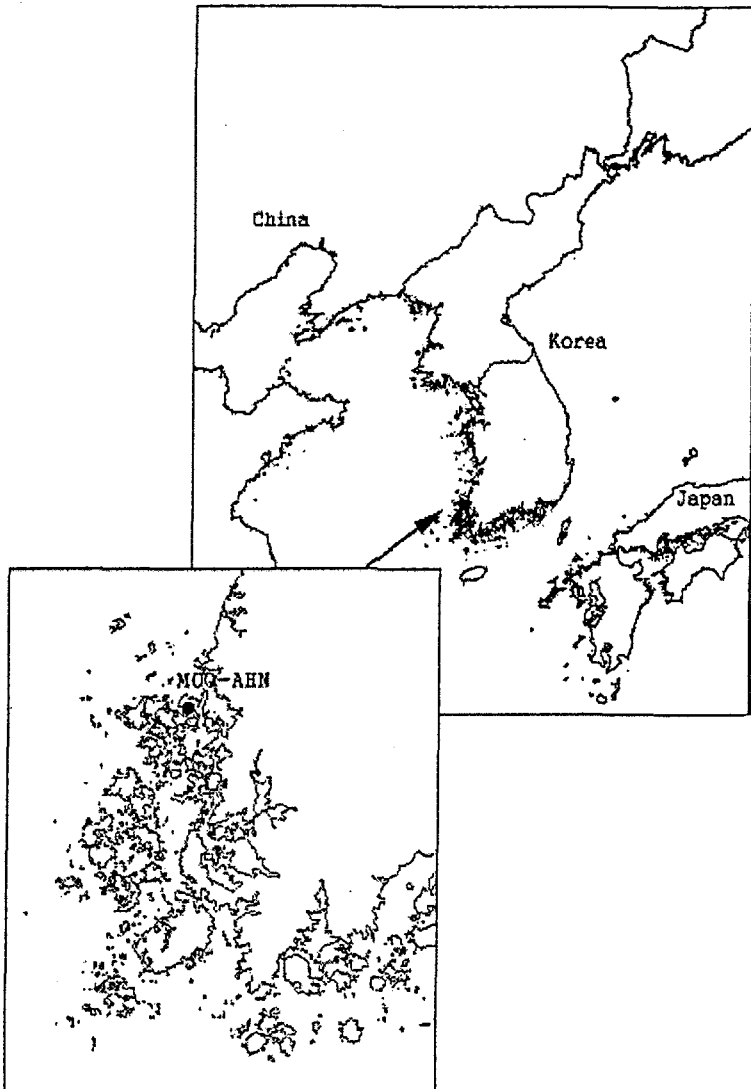


Fig. 1. Location of Moo-Ahn (MAN) station (35°06'N, 126°17'E) in Korea.

다. 이 관측소에서는 온실기체 연속 관측 시스템을 갖추고 현지의 대기 성분을 in-situ로 분석하였다. 관측사업은 1994년 1월에 CO₂ 관측을 기점으로 하여, 1995년 3월 이후에는 N₂O, CFC-11/12, CH₄ 등의 항목을 추가하였다. 그러나 현지의 주변 환경이 온실기체의 배경농도 관측에 적합한 가와 관련된 많은 의문점들이 제기됨에 따라, 1997년도에는 관측 지점을 안면도로 이전하게 되었다. 따라서 1998년 1월 이후부터는 안면도에서 이들 항목에 대한 관측이 일상적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 과거 MAN을 중심으로 이루어진 CH₄의 관측 자료를 평가하여 국내에서 이루어진 초기단계의 온실기체 관측자료에 대한 내용을 분석하고자 하였다.

본 연구의 분석대상은 1995년 8월 시점부터 1997년 12월까지 MAN 지역을 중심으로 이루어진 CH₄의 장기관측결과를 기본토대로 하였다. CH₄의 분석은 Flame Ionization Detector(FID)를 장착한 가스 크로마토그래피(모델명 HP-5890 II)를 사용하여, 매 30분 단위로 이루어졌다. 이를 토대로 매시간 또는 일 평균 농도 등을 재산출한 후, 시간적 변화의 경향성을 분석하는데 활용하였다. 또한 이들 자료 중 측정 장비의 문제 또는 주변 환경의 급격한 변화와 같은 외부적 요인에 의해 발생할 수 있는 실험오차의 폭을 줄이기 위해, 임의로 전체 기간동안 30분 단위로 관측된 CH₄의 농도 중 평균농도로부터 ±2σ 범위를 벗어나는 값들을 outlier로 간주하고 분석에서 제외하

였다. 이와 같은 고려는 다음의 사항에 근거한다. MAN 지역에 산재한 농작물의 활동도 증가, 측정장비의 기계적인 오차 등의 영향으로 인해 농도분포에 가변성이 더해질 수 있다는 점이 확인된 바 있다(온실기체 관측연보, 기상청, 1997). 과거 기상청에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 ±2σ를 기준으로 outlier를 설정한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 이러한 기준을 활용하였고, 참고로 이러한 과정을 통해 제어된 자료는 전체 자료의 약 8.4%를 기록하였다. 기상측정요소는 무안기상대에서 측정된 풍향, 풍속의 매시간자료, 3시간 간격으로 관측된 기온 및 습도자료 등을 이용하여 계절별 또는 주야간대로 구분한 후 세부적인 분석을 실시하였다(온실기체 관측연보, 기상청, 1997).

결과 및 토론

CH₄의 농도분포와 연구지역의 일반적 환경특성

Table 1에는 무안지역을 중심으로 이루어진 전체 관측 결과에 대한 간략한 통계량을 제시하였다. 측정이 이루어진 전 기간 (1995년 8월~1997년 12월) 동안의 일별 자료를 취합한 결과에 의하면, 무안지역의 CH₄ 농도는 1898 ± 85.3ppb(N = 812)의 평균값을 유지하였다. 강수는 총 연구기간인 864일 중 382일만에 걸쳐 목격되었고, 해변지역의 특성에 맞게 비교적 강한 풍속과 습도가 항시 유지되었던 것으로 나타났

Table 1. A statistical summary of CH₄ and relevant environmental parameters measured concurrently from Moo-Ahn (MAN) Station, Korea (Aug. 1995–Dec. 1997).*

Parameter (unit)	Spring	Summer	Fall	Winter	Total
	Mean±SD(N)	Mean±SD(N)	Mean±SD(N)	Mean±SD(N)	Mean±SD(N)
	Range	Range	Range	Range	Range
CH ₄ (ppb)	1883±75.4(180) 1629~2191	1921±92.9(198) 1606~2254	1909±85.8(261) 1640~2327	1869±74.2(173) 1618~2155	1898±85.3(812) 1606~2327
TEMP. (°C)	11.1±4.9(276) 0.9~21.3	24.1±2.9(276) 17.6~29.1	15.8±5.4(273) 1.9~27.8	2.3±2.8(271) -5.0~10.3	13.3±8.9(1096) -5.0~29.1
RAINFALL (mm)	1.1±1.8(92) 0~9.8	1.8±2.9(106) 0~17.3	1.1±2(76) 0~12.9	0.4±0.9(108) 0~4.6	1.1±2.1(382) 0~17.3
wind dir. (°)	240.9(276) 0.3~360	215.5(276) 0.7~358.6	178.7(273) 0.2~359.5	193.9(271) 0.2~360	207.4(1096) 0.2~360
WIND SP. (msec-1)	2.7±1.1(276) 1.0~5.8	2.5±1.1(276) 1.0~5.8	2.3±1.0(273) 0.6~5.8	2.6±1.3(271) 0.2~6.7	2.5±1.1(1096) 0.2~6.7
Rel. humidity (%)	67.6±13.5(276) 33.9~96.8	81.1±9.1(276) 57.0~98.6	66.3±12.5(273) 34.4~97.6	66.2±16.1(271) 33.0~97.9	70.3±14.5(1096) 33.0~98.6
Pressure (HPa)	1016.3±6(276) 1001.9~1029.9	1008.3±3.8(276) 995.3~1016.2	1008.3±5.4(273) 1003.8~1031.2	1024.6±4.8(271) 1005.7~1036.9	1016.8±7.7(1096) 995.3~1036.9

*All statistical terms are calculated using the daily mean values of each parameter

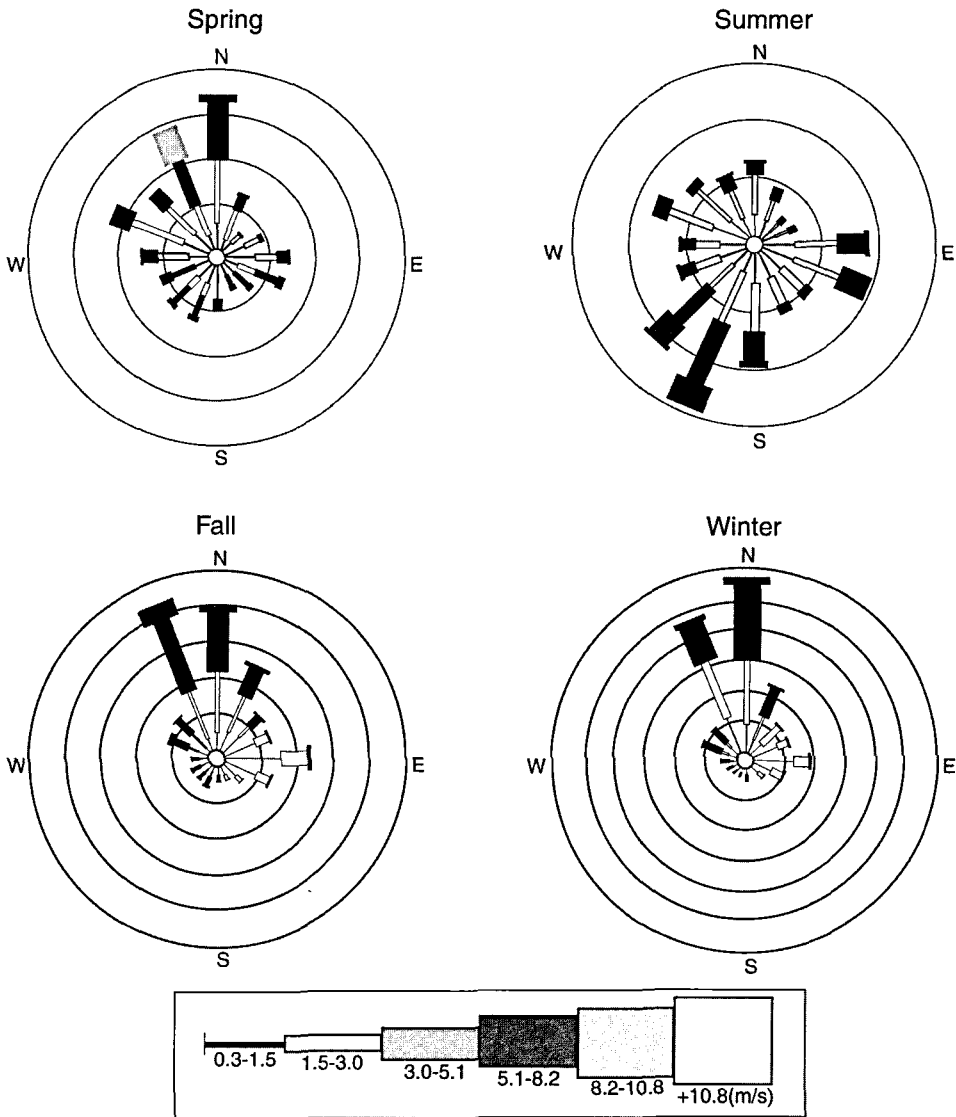


Fig. 2. A plot of frequency distribution of wind rose in the Moo-Ahn station (MAN). The patterns were compared among four different seasons.

다. 기온의 경우, 연중 가장 무더운 여름철에 $24.1 \pm 2.9(267)^{\circ}\text{C}$, 겨울철에는 $2.3 \pm 2.8(271)^{\circ}\text{C}$ 로 나타나, 연중 기온차가 뚜렷한 온대성 기후특징을 보여주고 있다. 또한 습도는 여름에는 높고 겨울철에 상대적으로 낮아 한랭건조한 겨울과 온난다습한 여름 기후의 특성을 잘 나타내고 있다. 풍향은 봄철의 경우, 대체로 전 방위에 걸쳐 나타나고 있으며, 북풍계열의 풍향이 다소 우세하게 나타났다. 여름철의 경우는 계절풍에 의한 영향으로 남서풍계열의 풍향이 두드러지고, 가을과 겨울에는 북풍계열이 절대적으로 주풍계를 이루

고 있다(Fig. 2).

MAN 지역에서 관측된 연구결과를 보다 의미 있게 해석하기 위해, 국제적으로 운영되는 전지구상의 주요관측점들에서 관측된 결과들을 취합하여 비교분석에 활용하였다(각 비교측정점에 대한 정보는 Table 2 참조). 이들 비교측정지점에서 관측한 자료와 무안지역의 농도분포를 체계적으로 비교하기 위해 다음과 같이 접근하였다. MAN 지역에서 관측이 이루어진 기간동안 여타 지역에서 관측된 CH_4 자료를 동일한 시간적 기준에서 비교할 수 있게(즉, 1995년 8월 16

Table 2. The site characteristics of CH₄ measurements in the present study.

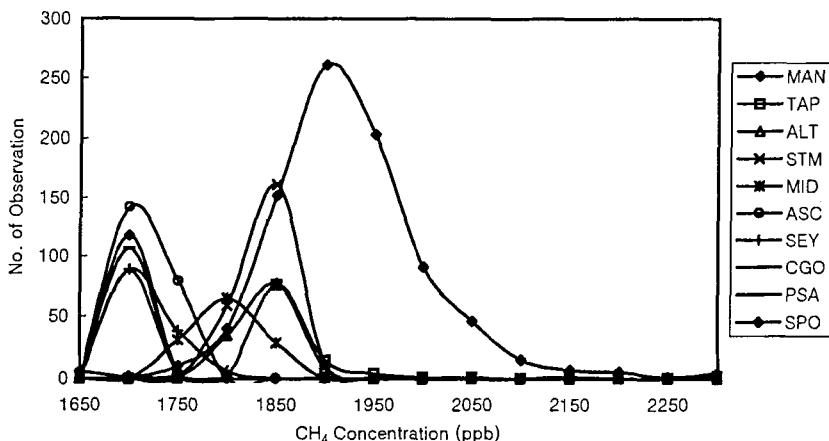
Site Code	Site	Mean±SD	Range	Latitude	Longitude	Elevation(m)
ALT	Alert, Nunavut (Canada)	1813±19.9	1779~1873	82.45' N	62.52' W	210
ASC	Ascension Island (U.K)	1694±19.3	1423~1798	7.92' S	14.42' W	54
CGO	Cape Grim, Tasmania (Australia)	1686±10.8	1663~1703	40.86' S	144.68' E	94
MAN	Moo-Ahn (Korea)	1898±85.3	1606~2327	35.06' N	126.17' E	23.3
MID	Sand Island, Midway (U.S.A)	1776±27	1714~1819	28.22' N	177.37' W	4
PSA	Palmer Station, Antarctica (U.S.A)	1684±11.3	1662~1707	64.92' S	64.00' W	10
SEY	Mahelsland (Seychelles)	1703±27.7	1643~1887	4.67' S	55.17' E	3
SPO	South Pole, Antarctica (U.S.A)	1686±10.7	1659~1702	89.98' S	24.80' W	2810
STM	Ocean Station "M" (Norway)	1813±19.8	1771~1903	66.00' N	2.00' E	7
TAP	Tae-Ahn Peninsula (Korea)	1853±80	1739~2266	36.73' N	126.13' E	20

일부터 1997년 12월 26일까지) 관측기간을 지정하였다. 그리고 이들 지역의 자료를 MAN 지역과 동일한 간격으로 배열하였다. 그리고 이들 자료의 절대적 또는 상대적 크기에 대한 비교 및 발생빈도의 특성을 비교해 보았다. Table 2의 분석 결과에 의하면, 국내의 두 지점인 MAN, TAP 지점이 비교기간 중 1898 ± 85.3 , 1853 ± 80 ppb로 가장 높은 농도를 유지하였다. 반면 북반구 고위도 지점인 ALT에서 1813 ± 19.9 ppb, 북위 66.0° 에 위치한 STM 지점은 1813 ± 19.8 ppb, 중위도의 MID 지점에서 1776 ± 27 ppb 등과 같이, 대체로 저위도로 갈수록 CH₄ 농도가 감소하는 경향이 나타났다. 그리고 적도에 위치한 SEY, ASC 지점에서 각각 1703 ± 27.7 , 1694 ± 19.3 ppb의 농도를 유지하였으며, 기타 남반구에 위치한 CGO, SPO, PSA의 지점들이 가장 낮은 농도값을 보이는 것으로 나타났다. 즉, 특별하게 높은 수준의 농도를 보이는 국내의 두 관측지점 MAN, TAP를 제외한 국외 비교대상지점들에서는 남반구에서 북반구로 올라갈수록

일관성 있게 CH₄ 농도값이 상승하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 각 관측점들에서 관측된 CH₄ 농도자료를 이용한 빈도분포 분석의 결과에서도 확인되고 있다(Fig. 3). 모든 관측지점들 중에서 가장 높은 농도를 보이는 MAN 지역에서 CH₄ 농도가 가장 빈번하게 발생한 최빈값(mode)이 1900ppb로 가장 높게 관측되었다. 반면, 기타 북반구의 관측지점들에서는 1850ppb, 그리고 적도와 남반구에 위치한 관측점들에서는 그 최빈값이 1700ppb 수준으로 가장 낮게 나타났다. 특히 중요한 사실은 북반구의 중위도에 위치한 국내의 비교대상지점들에서 최고의 평균 농도값을 기록한다는 점은 국내 대기환경 또는 최소한 관측점이 위치한 MAN 지역의 CH₄ 오염이 상당히 심각한 수준임을 짐작하게 한다.

CH₄의 월주기 변화 경향

CH₄의 장주기적 농도경향을 보다 세부적으로 관찰하기 위해, 일차적으로 각 측정지점별로 전체 측정기

**Fig. 3.** A plot of frequency distribution of CH₄ concentration in the Moo-Ahn station and comparable sites.

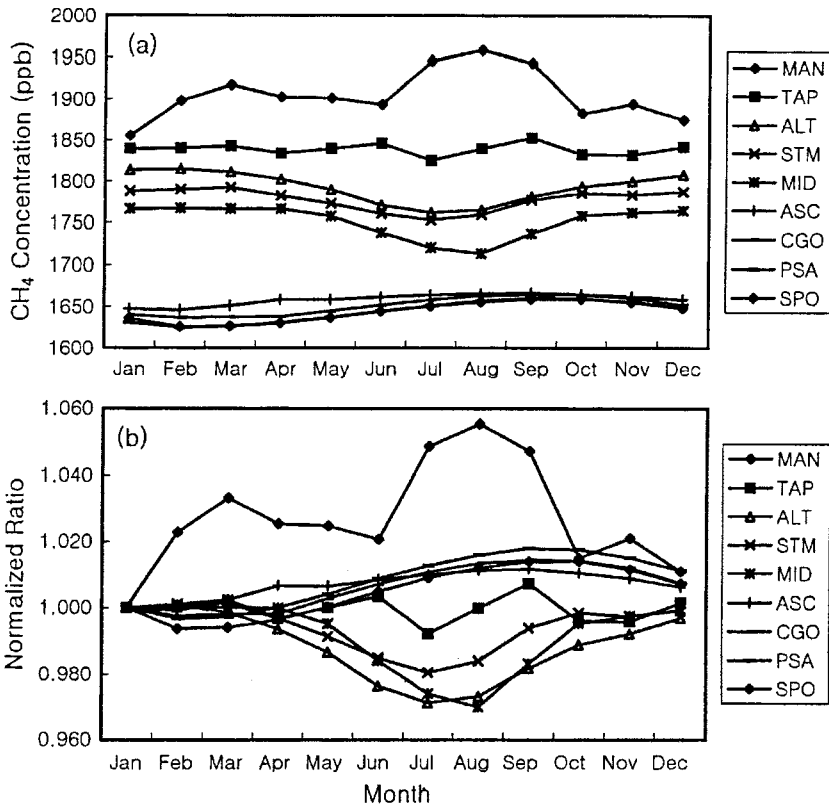


Fig. 4. (a) Temporal variation of CH₄ over monthly scale. The monthly mean concentrations for each site were computed using the data obtained during the identical period (Aug. 95~Dec. 97).

간 동안 관측된 일평균 농도를 월평균 농도로 산출해 보았다. 이를 토대로, 국내 및 국외지역에서 관측된 CH₄ 농도의 변화양상을 월주기로 비교해 보았다 (Fig. 4a). 우선 국내 두 지점인 MAN, TAP 지역이 기타 국외 지역보다 CH₄의 농도가 높게 유지된다는 점을 다시 확인할 수 있다. 북반구에 위치한 국외의 ALT, STM, MID 등을 포함하는 세 지점들이 유사한 CH₄ 농도 집단을 형성하는데 반해, 기타 적도와 남반구에 위치한 ASC, CGO, PSA, SPO 등에서는 1600ppb대의 낮은 CH₄ 농도대의 집단을 형성하고 있다. MAN, TAP를 위시한 북반구의 관측점들은 대체로 대륙에 인접해 있기 때문에, 상대적으로 인구가 적고 해양이 많은 적도나 남반구보다 CH₄의 발생원이 다양하게 분포할 것이다. 따라서 상대적 또는 절대적으로 고농도의 CH₄를 유지하는 것이 용이할 것으로 사료된다. 또한 CH₄의 주요 소멸원으로 알려진 OH radical의 생성은 기온이 가장 높은 적도부근에서 가장 활발하게 이루어지기 때문에, 이들 지역에서

CH₄의 소멸이 활발하게 이루어지는 것으로 사료되어진다. 따라서 상대적으로 고위도인 MAN에서는 CH₄의 주소멸원이 비교적 미약하게 생성되므로, MAN 지역의 고농도 발생에 일조하는 것으로 사료된다.

MAN 지역에서는 2, 3월을 기점으로 CH₄의 농도가 서서히 증가하면서 7, 8, 9월에 가장 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다(특히 8월에 1958ppb로 정점을 나타냈다). 이처럼 2, 3월에 이 지역에서 CH₄의 농도가 증가하는 것은, MAN 지역의 관측소는 비교적 청정한 위치에 놓인 국외의 관측점들에 비해 겨울철을 맞아 (난방 등을 위시한) 여러 가지 인위적인 오염원의 활동에 민감하게 반응한 것으로 추정할 수 있다. 그 외에도 CH₄의 소멸원으로 절대적인 영향력을 행사하는 (약 80%) OH radical이 기온이 낮은 겨울에 감소하기 때문에, 결과적으로 CH₄의 발생량이 증가하는 것으로도 사료된다(정용승, 이근준, 1992). 특히 국내 지점들 간의 비교에서도 MAN 지역이 또 하나의 관측대상인 TAP에 비해 고농도를 유지하는

점에 대해서도 고려할 필요가 있다. 이러한 차이의 발생원인으로는 MAN 지역의 관측지점이 농경지, 가축사육장과 도로변에 인접해 있기 때문에, 상대적으로 인위적·자연적 발생원의 영향에 더 쉽게 증속되는데 따른 결과로 사료된다.

국내 및 국외의 각 측정지점들에 대한 CH₄ 농도의 월별 변화양상을 동일한 상대적 기준에서 비교분석하기 위한 한 가지 방편으로, 각 측정지점의 개별 자료들을 임의의 기준시점인 1월의 평균 농도치를 기준으로 표준화한 결과를 Fig. 4b에 제시하였다. 이러한 방식에 의하면, 각 지점별 농도의 변화를 동일한 기준으로 비교하는 것이 가능하므로, 모든 지점의 월별 변화양상을 상대적인 관점에서 비교할 수 있다. 이에 준하여 월별 농도변화의 진동폭을 살펴보면, 연구대상지점인 MAN을 비롯한 TAP 지점은 각각 그 진동폭이 85, 80ppb로 매우 크게 나타나고 있다. 이에 반해 또 다른 북반부 지역의 관측지점들(ALT, MID, STM)과 적도상에 위치한 ASC, SEY 지점들에서는 20ppb 내외의 진동폭을 보였다. 그리고 CGO와 SPO 처럼 남반구에 위치한 지점들은 10ppb 안팎의 진동폭으로 CH₄ 농도 변화 경향이 매우 일정하게 나타났다. 이처럼 진폭의 변화경향은 CH₄의 절대농도에서 나타나는 지역별 경향성과 상당 수준 밀접한 관계를 띠는 것으로 나타난다. 국외 비교관측지점들에서는 CH₄ 농도의 증감이 서서히 또는 꾸준하게 이루어지는 것에 반해, 국내의 두 관측지점들(MAN, TAP)에서는 CH₄의 증감양상도 매우 불규칙하고, 월주기 변화경향도 급격하였다. CH₄의 평균수명을 고려한다면, 국내 관측지점들에서 CH₄의 발생/소멸이 매우 불규칙

하게 이루어지고 있으리란 것을 추정할 수 있다. 특히 이러한 변화는 국지적인 규모로 진행되는 여러 가지 현상들이 민감하게 반영될 가능성을 추정하게 한다. 또한 각 위도대별 진동폭의 변화가(역시 CH₄ 농도변화경향과 유사하게) 북반구의 고위도로 갈수록 커지는 원인으로는 다음의 요인들을 들 수 있을 것이다. 예를 들어, 북반구의 식생활동과 인류활동 등이 남반구에 비해 활발하므로 CH₄의 발생원과 소멸원의 기능이 동시에 강력하게 작용하는데 따른 영향을 어느 정도 반영한 결과로 사료된다. 즉 남반구의 경우, 이러한 특성이 상대적으로 약하기 때문에, 농도의 진폭도 작게 나타난다고 볼 수 있을 것이다.

CH₄의 계절적 변화경향

CH₄의 생성/소멸과정이 식생이나 화석연료의 사용, OH radical 등에 의해 복합적으로 조절된다는 점을 감안하면, 각 지역별로 계절에 따른 CH₄의 농도변화에도 여러 가지 경향성이 존재할 수 있을 것이다. 따라서 계절별 농도의 변화양상을 파악하기 위해, 일별 평균농도를 계절별(3~5월은 봄, 6~8월은 여름, 9~11월은 가을, 12~2월은 겨울)로 분류해 보았다(Fig. 5). 연구대상지역인 MAN 지역에서는 여름과 가을의 평균농도가 1921 ± 92.9ppb(198), 1909 ± 85.8ppb(261)로써, 타 계절에 비해 고농도의 수치를 보여준다. 이와 같은 현상은 여러 가지 관점에서 해석할 수 있다. 우선 국지적인 규모로 보면 대기로 유입되는 CH₄의 대부분이, 쌀 재배와 관련된 생물학적 활동이나 가축(특히 소)의 소화과정에서 나오는 부산물 등에 민감하게 영향을 받을 수 있다(지구환경연구센터, 1999).

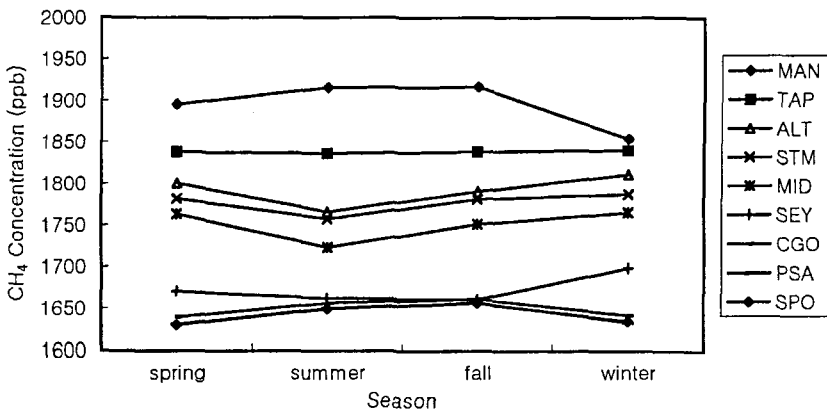


Fig. 5. Comparison of seasonal distribution patterns CH₄ from ten monitoring stations. The seasonal mean values were derived using the CH₄ data measured during the whole study periods of Aug. 95~Dec. 97.

연구대상인 MAN 지역의 관측소가 농경지나 가축을 키우는 축사와 같은 주변 환경에 둘러싸여 있다는 점을 감안하면, 이들의 생장이 왕성하게 이루어지는 여름기간을 전후로 농경지와 축사에서 CH_4 의 발생량이 소모량을 초과하는 상황을 상정할 수 있다. 또한 CH_4 의 주요 인위적 발생원으로 평가받고 있는 화석연료 사용량(100Tg/yr)의 전반적인 증가에 따른 영향을 고려하지 않을 수 없다(IPCC, 1995). 특히 MAN 관측소가 전남지역 주요 해수욕장의 주통로가 되는 도로변에 위치하고 있어, 여름과 가을의 휴가철을 맞은 피서객의 폭증으로 차량통행이 집중되곤 한다. 그리고 활발한 농경활동으로 인해 농기계의 사용이 타 기간보다 증가한데 따른 영향도, 어느 정도 반영될 수 있을 것이다. 결국 이러한 요인들(차량과 농기계에 의한 화석연료의 사용)은 기온이 낮은 겨울철에 비해 여름철에 상대적으로 고농도를 유지하는 원인으로 작용할 것으로 사료되어진다. 이는 MAN 지역의 현지 주변환경이 인위적 오염원에 의한 영향에 쉽게 노출되어, 온실기체 배정 농도 관측지점으로 문제점들이 많은 과학자들에 의해 지적되었다. 이에 따라 1997년도에 TAP 지역으로 관측지점을 이전하였다(지구 대기 조성 변화 감시, 기상청, 1998). 또한 범위를 더 넓게 잡아서, 국외적인 원인으로 중국의 동해안을 따라 형성된 공업지대와 인구가 밀집되어 있는 대도시 등에서 대량으로 오염물질과 가스의 방출이 이루어진다. 이러한 오염물질들은 중국의 광대한 농토에서 발생한 CH_4 와 섞인 채로 편서풍을 타고 한반도로 이동할 수 있다. 따라서 MAN 지역에서도 어느 정도 그러한 영향이 나타나는 것으로 보인다. 실제로 중국의 남부 Sichuan성 Tizu지방의 쌀생산지역에서 CH_4 의 방출량이 예전보다 약 50% 정도 증가했다는 사실도 확인된 바 있다(Riches *et al.*, 1992). 그 외에 각각의 계절에 따른 풍계의 변화로 CH_4 와 같은 오염물질들이 유입되는 정도가 각기 다르게 나타나므로, 이러한 계절적인 농도변화의 특성을 결정짓는데, 일정 수준 영향을 미칠 것으로 기대된다. 또 한 가지 중요한 사실은 국내의 비교관측대상지점인 TAP 지역에서는 MAN 지역의 결과와는 달리 CH_4 변화양상이 계절적으로 뚜렷한 경향을 보이지 않는다는 점도 주목할만하다. 그러나 북반구에 위치한 국외 관측지점들인 ALT, STM, MID 등은 오히려 여름철에 낮은 농도를 보여주는데, 이러한 현상은 여름철에 CH_4 의 발생량보다 CH_4 의 주요 소모원으로 확인되는 OH

radical의 생성이 활발해지기 때문에, 기타 계절에 비해 CH_4 가 상대적으로 저농도를 나타내는 것으로 보인다.

장주기적 농도변화의 경향성에 대한 평가

계절적 규모로 진행되는 CH_4 의 변화보다 더 긴 규모의 시간적 범위에서 진행되는 CH_4 의 증가 또는 감소와 같은 변화양상을 파악하는 것도 중요한 의미를 지닌다. 이를 위해 모든 관측점의 측정자료를 동일한 기준에서 비교할 수 있게끔 전체 측정기간인 1995년 8월부터 1997년 12월까지를 자료의 비교기간으로 설정해 보았다(Fig. 6). 그 결과를 살펴보면, MAN 지역에서는 수일 주기로 농도의 변화가 빠르고 불규칙하게 진행되지만, TAP에서는 뚜렷한 주기성을 보이지 않은 상태에서 일정하게 증가하는 향상을 유지하였다. 반면, 국외지역에서는 일정한 주기변화가 상대적으로 느리게 진행되며, 계절적인 변화추이가 상당히 규칙적이고 반복적인 점을 확인할 수가 있다. 그런데 본 연구의 주 대상인 MAN 지역의 경우, 극심한 일간 변화로 인해 시간적인 경향성이 상대적으로 미미하게 나타난다. 이러한 현상 또한 MAN 지역에서 타지역보다 배출원이 다양하게 존재하는데 따른 영향을 어느 정도 반영한 것으로 보인다.

장기간에 걸친 농도변화의 증감양상을 간단하게 파악하기 위한 한 가지 방편으로, 이들 자료를 이용하여 단순회귀분석을 추가적으로 실시해 보았다. Fig. 6에 제시한 바와 같이 ALT 지점을 제외한 모든 관측점들은 증가추세를 보여주고 있다. 일간 농도변화를 이용한 추세선의 기울기에 365를 곱하면 연간 CH_4 의 농도변화량을 산출할 수가 있다. 여기서 주목하여야 할 것은 국내 관측지점인 MAN과 TAP는 기타 지역들보다 훨씬 높은 농도수준을 유지할 뿐 아니라, 각각 16.46, 14.76ppb/yr의 가장 높은 증가율을 유지하고 있다는 점을 들 수 있다. 이에 반해 ASC와 CGO 지역들에서의 CH_4 농도 증가율이 7.15, 5.33 ppb/yr으로 국내의 두 지점들에서 관측된 증가율의 미칠 정도로 미세한 증가양상을 보인다. 이에 반해, ALT 지역에서는 오히려 연간 3.5ppb로 감소하는 경향을 보였다.

CH_4 의 농도를 조절하는 요인들에 대한 고찰

한반도는 삼면이 바다로 둘러 싸여 있고, 중국과 같은 대규모 배출원에 인접해 있다. 이러한 지형적인

특수성으로 인해, 주변 해양은 물론 한반도와 중국을 포함하는 내륙지역에까지 다양한 종류의 발생원과 소멸원이 존재할 것으로 기대된다. 따라서 계절적인 풍향자료와 CH₄ 농도의 경향성을 연계하여 분석하는 것도 여러 가지 발생원의 특성을 파악하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 연구대상인 MAN 지역 역시 서

해안에 위치하고 있어, 풍향의 계절적인 변화양상이 크게 나타날 것으로 기대된다. 따라서 풍향자료와 연계할 경우, CH₄ 농도의 발생경향을 어느 정도 파악하는 것이 가능할 것으로 기대된다. Fig. 7은 MAN 지역에서 관측된 풍향과 농도자료를 연계하여, 풍향에 따른 CH₄의 농도변화양상을 도시하였다. 이 결과

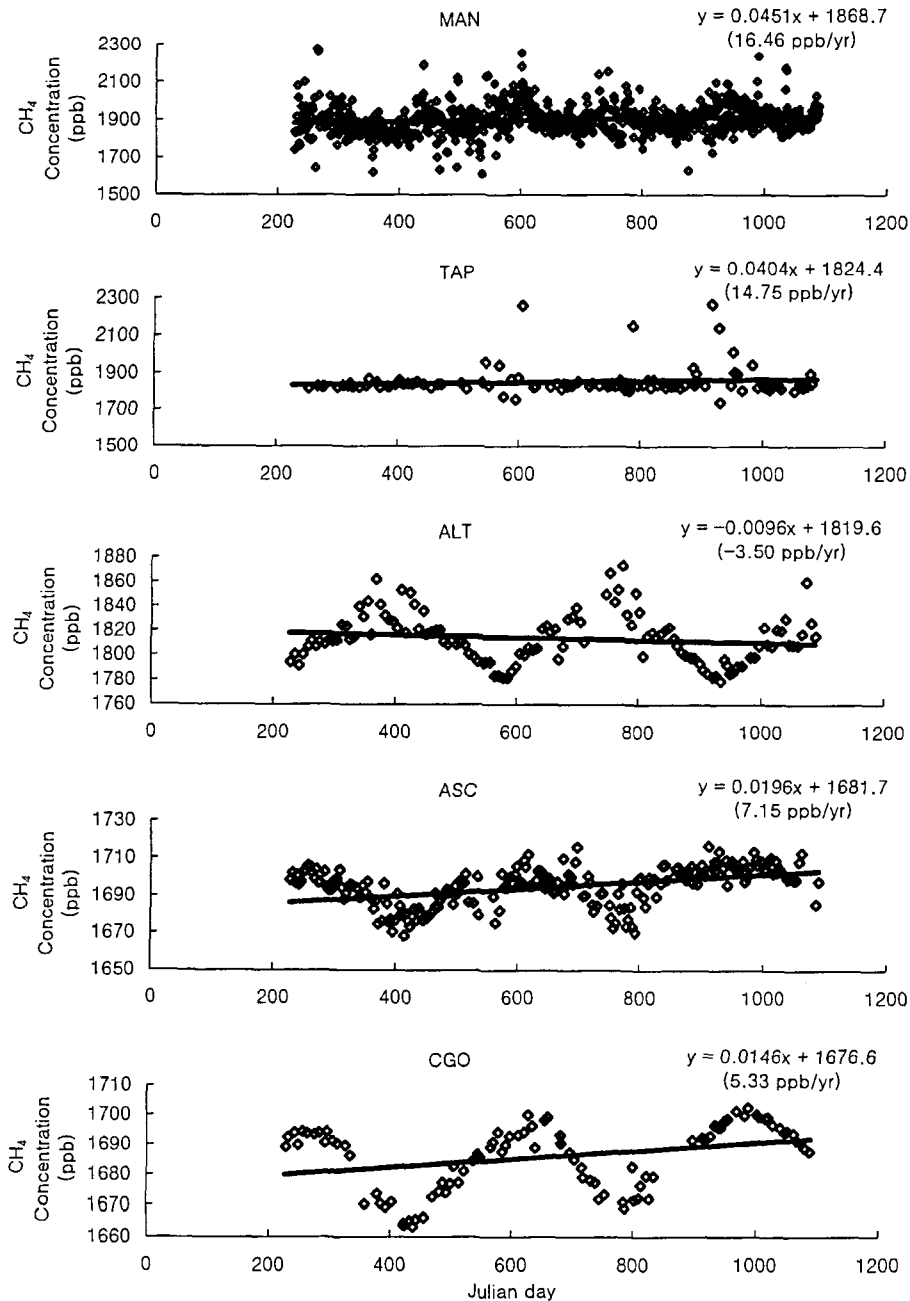


Fig. 6. Trends of CH₄ concentration change from Aug. 1995 to Dec. 1997.

에 의하면, 동풍 계열일 때 CH₄ 농도가 1915ppb로 높게 나타나는 반면, 남풍 계열일 때, CH₄ 농도는 1882ppb로 낮아지는 경향이 나타난다. 풍향이 서풍 계열일 경우, 서해에서 불어오는 비교적 청정한 공기의 유입으로 인해 상대적으로 낮은 농도가 유지되는 것으로 사료된다. 이와 같이 동풍 계열과 서풍 계열의 농도차이가 뚜렷하게 나타나는데, 이는 관측점을 중심으로 서쪽을 제외한 타 방향에서 인위적인 오염원의 영향이 더 강하게 나타날 가능성을 추정케 한다. MAN 지역에서 계절에 따른 풍계의 변화가 나타나는 점을 감안하여, 풍향과 CH₄ 농도분포의 관계를 살펴보면 다음과 같다. 이 지역에서 4계절 중 가장 높은 CH₄ 농도를 보이는 여름철에 비교적 남·서풍이 우세하게 나타날 때 저농도를 보이지만, 동·북풍

계열의 풍계가 나타날 때 상대적으로 최고 60ppb의 농도차이를 보일 정도의 고농도가 유지되는 것으로 나타났다. 또한 타 계절에 비해 CH₄ 농도가 낮은 겨울철의 경우, 북풍 계열이 확연하게 두드러지지만, 이 풍계가 불어올 때 오히려 적은 양의 CH₄를 포함하고 있다. 따라서 이 기간동안에 모든 풍계에 대한 CH₄의 농도가 낮게 유지되어, 겨울철의 저농도 경향이 지속되는 것으로 분석된다. 이처럼 풍계별로 농도가 큰 차이를 보이는 것은 MLO 관측소에서 CH₄의 농도변화를 오염물질의 장거리이동현상과 연계하여 해석한 연구결과에서도 확인되었다(Harris *et al.*, 1992). 이들의 연구결과에 따르면, 겨울철 북서풍을 따라 아시아로부터 공기가 이동할 때에는 여름철 태평양으로부터 남동풍이 불 때보다 CH₄ 농도가 약 50

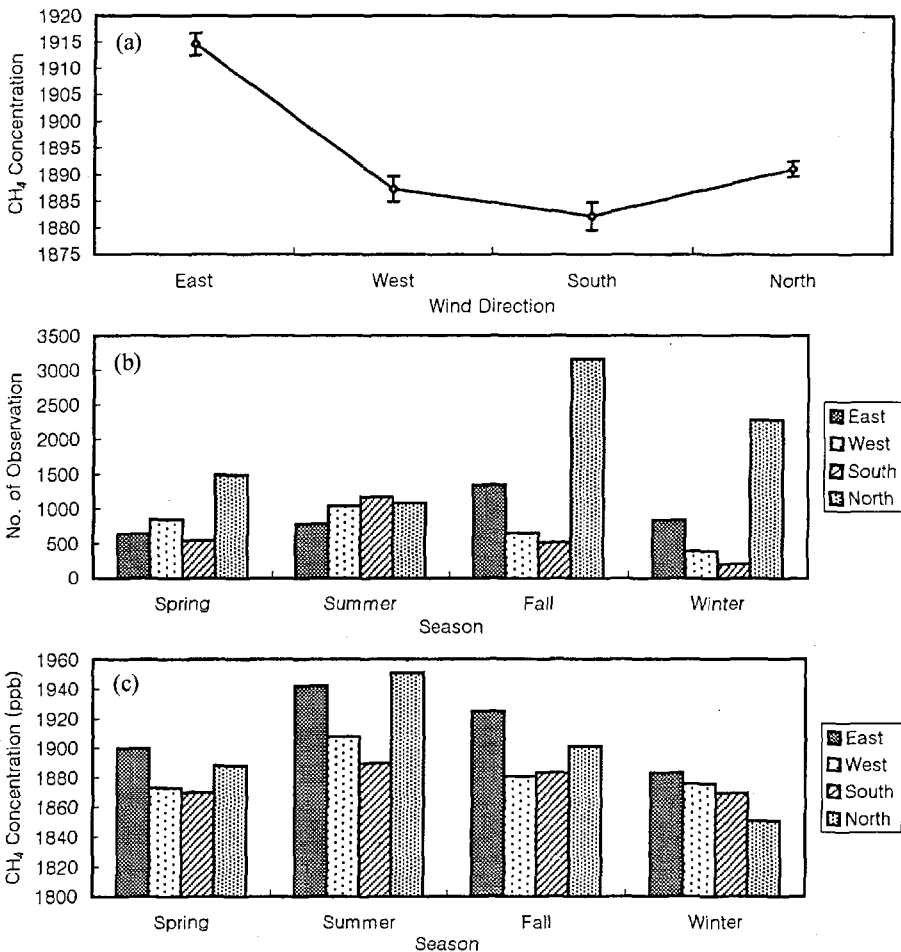


Fig 7. The influence of observed wind direction at MAN during the whole study period (Aug. 1995 to Dec. 1997): (a) The mean CH₄ concentration for each of four direction; (b) The frequency plot of wind rise as a function of season; and (c) The mean concentration of CH₄ are compared as a function of both season and wind direction.

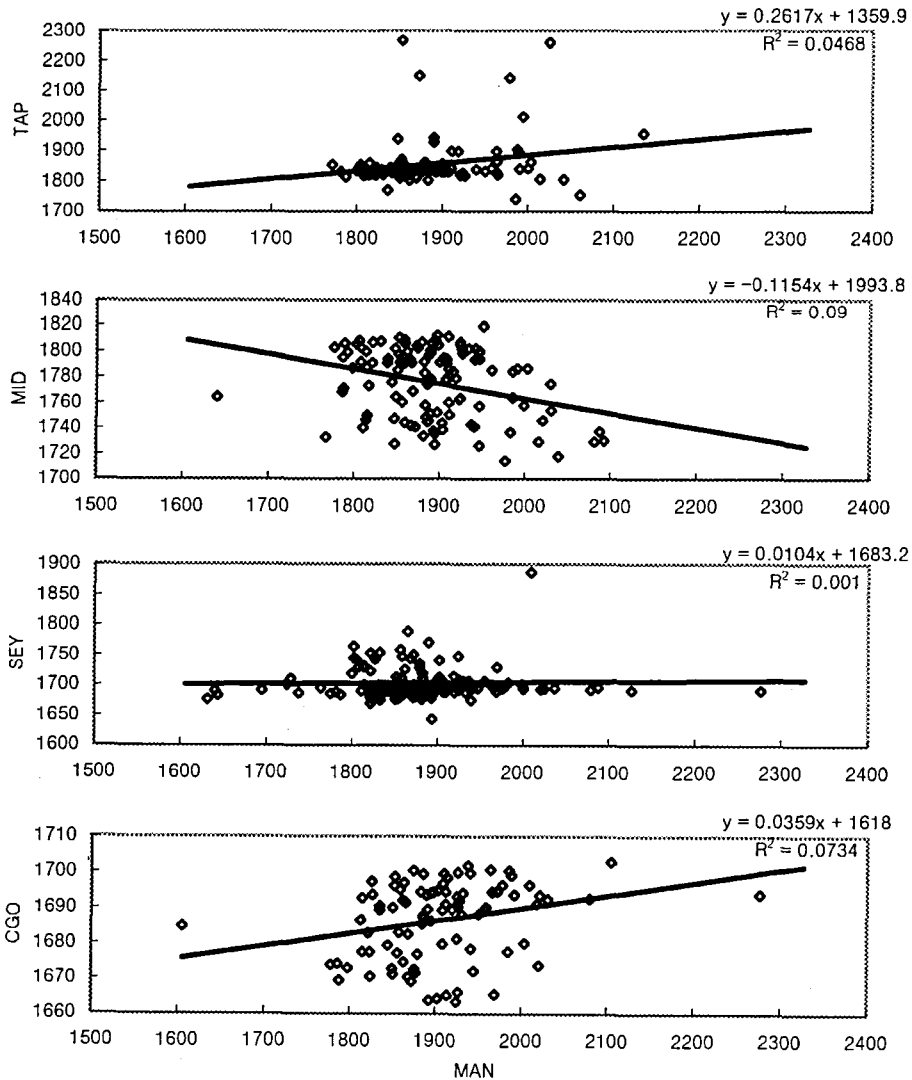


Fig 8. Correlation between MAN and each sites. The sites selected for comparison include: Moo-Ahn, Korea (MAN), Tae-ahn Peninsula, Korea (TAP) Sand Island, Midway, U.S.A (MID), MaheIsland, Seychelles (SEY), South Pole, Antarctica, U.S.A (SPO).

ppb 정도 더 높다는 사실을 보고한 바 있다. 즉 이러한 현상은 MLO 지점이 주로 외부적 발생원의 영향에 보다 민감하게 반응하는데 반해, MAN지역이 외부적 오염원의 영향은 물론 국부적으로 존재하는 다양한 인위적 발생원의 영향에도 동시에 상당 수준 영향을 받을 가능성을 시사한다.

각각 관측점에서 발견한 지역별 농도자료의 연계성을 확인하기 위한 한 가지 방편으로, MAN 지역과 타관측점의 일평균 데이터를 이용하여 상관분석을 실시하였다(Fig. 8). 국내 두 지점들 간의 농도자료 간

에는 양의 상관관계로 나타나, CH₄의 발생원이나 소멸원의 특성이 유사하리라는 것을 짐작하게 한다. 그러나 같은 북반구의 위도대에 위치한 국외의 관측지점 MID를 비롯한 ALT와 STM과의 상관성을 비교하면, 상관계수가 음수(-0.3)로 역상관관계가 형성되므로, 양 지역의 농도변화를 주도하는 요인들에 뚜렷한 차이가 존재할 것이라는 점을 추정할 수 있다. 이와 유사하게 적도에 위치한 SEY 지역과의 상관도는 거의 나타나지 않아, 국내의 CH₄ 변화경향과 독립적인 양상을 유지하고 있음을 알 수 있다. 반면 특이하게

Table 3. Estimated sources and sinks of methane for 1980 to 1990 (IPCC, 1995). All figures are in Tg(CH₄)/yr. 1 Tg=1 million grams.

	Individual estimates	Total
(sources)		
(1) Natural sources		160(110-210)
(2) Anthropogenic sources		375(300-450)
· fossile fuel related	100(70-120)	
· total biospheric	275(200-35)	
(3) Total identified sources=(1)+(2)		535(410-660)
(sinks)		
(1) Atmospheric increase		37(35-46)
(2) Atmospheric sinks		560(460-660)
· tropospheric OH	490(405-575)	
· stratosphere	40(32-48)	
· soils	30(15-45)	
(3) Implied sources=(1)+(2)		597(495-700)

도 남반구 지점인 CGO 지역과 PSA, SPO 지역에서 관측한 결과와는 양의 상관관계를 유지하여서, 국내의 변화 경향과 어느 정도 유사한 것으로 나타났다. 이들의 결과를 간추려 살펴보면, 연구대상지역인 MAN은 TAP와 양의 상관성을 보이는 반면, 기타 국외의 모든 지점들 중 북반구 관측점들과는 역상관관계를 유지하는 것으로 확인되었다. 따라서 국내 지역에서 일어나는 CH₄의 발생/소멸이 여타 지역과는 구분될 가능성이 크다는 사실을 강하게 시사한다.

결론

국내의 서해안에 위치한 전남 무안지역에서 관측한 CH₄ 농도 자료를 이용하여 CH₄ 농도의 장주기적 경향성을 파악하고자 하였다. 이를 위해, 세계의 배경 관측지점들에 대비한 비교분석을 수행하고 그 의미를 살펴보았다. 이들 결과에 의하면, 월주기의 농도변화에서 MAN의 경우 주변지역에 위치한 다양한 발생원들의 활동이 최고로 촉진되는 여름기간 중 농도의 최고정점을 이루었다. 그리고 여러 발생원의 활동 둔화 등과 함께 농도감소의 경향이 강하게 나타났다. 국내 측정점인 MAN, TAP 지역은 국내의 지역적 발생원의 영향 외에도 중국 등에 위치한 장거리 이동 오염원의 영향이 동시에 더해짐에 따라, 모든 비교관측점들 중에서 가장 높은 농도치를 기록하는 것으로 사료된다. 특히, 일반적인 농도변화의 경향성과 같이, 농도변화의 진폭의 경향성도 북반구가 남반구에 비해

크게 나타나는 현상은 식생활 및 인류의 산업활동을 포함한 대부분의 발생원이나 소멸원의 활동강도가 강하게 작용하는 영향을 반영한 결과로 분석된다. 그리고 CH₄의 장기적인 변화경향을 살펴보았을 때, 한반도지역의 관측점들에서는 최고 농도치와 더불어 그 증가율 또한 가장 높은 것으로 확인되었다. 또한 국내의 지형적인 특수성을 통해 나타나는 기상인자들과의 상관성은 국외의 CH₄ 농도가 변화하는 경향과 달리 독자적인 양상을 유지하고 있었다.

이처럼 국내 관측점들에서 관측된 CH₄의 농도분포 경향이 특이하게 나타나는 현상을 감안해 볼 때, 향후 이러한 현상을 규명하기 위한 연구가 보다 체계적으로 이루어져야 할 필요성을 제기된다. 국제사회에서 요구하는 온실기체에 대한 배출억제 등과 관련된 대책수립과 규제 장치의 마련 등을 위해서는 거시적인 관점에서뿐만 아니라 국지적 규모의 연구도 동시에 병행되어야 할 것이다. 특히 무안지역에서의 관측이 1997년도에 중단되고 태안반도에서 새로운 관측이 1998년부터 새로이 진행되고 있다는 점을 감안할 때, CH₄와 같은 주요 온실기체의 농도변화 경향 등에 대한 국내 관측점들간의 연계성을 파악할 수 있게끔 지속적인 연구가 추진되어야 할 것이다. 따라서 본 연구진은 후속과제의 성격으로 국지적인 규모로 진행되는 온실기체에 관한 연구를 추가적으로 수행할 계획을 추진중이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 기상청 기상연구소, 1994, 온실기체 감시 시스템 개발 연구 (II)- 제 2차년도 최종보고서, 147-181.
- 기상청, 1997, 온실기체 관측연보, 제 1권 1995-1996년 관측자료, 1-9.
- 기상청, 1998, 온실기체 관측연보, 제 2권 1997년 관측자료, 1-9.
- 기상청, 1999, 온실기체 관측연보, 제 1권 1998년 관측자료, 1-9.
- 김기현·윤용훈·송기범, 2000, 국내의 관측점간의 비교분석을 통한 이산화탄소의 장주기적 농도변화 특성에 관한 연구, 한국지구과학회지, 17(1), 105-115.
- 박정규, 2000, 전지구 기온 변화와 지구 온난화, 한국기상학

- 회, 165-167.
- 송기범·윤용훈·김기현, 2000, 이산화탄소의 단주기적 농도 변화 특성에 관한 연구, 한국지구과학회지, 21(5), 434-448.
- 이경보·이덕배·이상복·김종구·김용웅, 1999, 논 토양에서 비 기상생태형별 CH_4 배출양상 및 배출량 추정, 한국환경농학회지, 18(1), 1-5.
- 전의찬·유은기, 1997, 전남 무안에서의 온실기체 변동 특성 분석, 한국대기보전학회지 추계학술대회 요지집, 207-209.
- 정용승·이근준, 1992, 한국의 태안반도에서 관측된 CH_4 의 지역적 배경농도에 관한 연구-1990~1992년 자료를 중심으로. 한국환경과학회지, 1(2), 33-48.
- 정용승·피터 텐스, 2000, 한국 태안반도의 온실기체 모니터링, 한국기상학회지, 36(1), 25-34.
- 홍성길, 1995, 대기온실기체의 증가와 기후변화의 가능성, 화학공학과 기술, 13(4), 354-360.
- 환경부, 1998, G-7 프로젝트 (지구 규모 대기환경기초 및 기반 기술) 개발 사업의 세부 과제-지구 대기 조성 변화 감시의 제 2단계 제 2, 3차년도 연차 보고서: 연구 기관-기상청, 기상연구소, 152-155.
- Blaha, D., Bartlet, K., Czepiel, P., Harris, R., and Chrill, P., 1999, Natural and Anthropogenic Methane Sources in New England, Atmospheric Environment, 33(2), 243-255.
- Bogner, J. and Spokas, K., 1995, Landfill Methane Balance: Model and Practical Application, Proceedings Saradina 95, Fifth International Landfill Symposium-Concepts, Process, Technologies and Operation, Atmospheric Environment, 31(9), 4119-4130.
- Byard, W., Mosher, Peter, M., Czepiel., and Robert, C. Harriss, 1999, Methane Emissions at Nine Landfill Sites in the Northeastern United States, Environ. Sci. Technol., 99, 2088-2094.
- De Visscher, A., Thomas, D., Boeckz, P., and Van Cleemputo, 1999, Methane Oxidation in Simulated Landfill Cover Environments, Environmental Science and Technology, 33(11), 1854-1859.
- Dlugokencky, E.J., Masarie, K.A., Lang, P.M., and Tans, P.P., 1998, Continuing Decline in the Growth Rate of the Atmospheric Methane Burden, Nature, 39(3), 664-668.
- Harris, J.M., Tans, P.P., Dlugokencky, E.J., Masarie, K.A., Lang, P.M., Whittlestone, S., and Steele, L.P., 1992, Variation in Atmospheric Methane at Mauna Loa Observatory related to Long-range Transport, J. Geophys. Res., 97, 6003-6010.
- Lamb, B.K., McManus, J.B., Shorter, J.H., Kolb, C.E., Mosher, B., Harris, R.C., Allwine, E., Blaha, D., Howard, T., Guenther, A., Lott, R.A., Siverson, R., Westberg, H., and Zimmerman, P., 1995, Development of Atmospheric Tracer Methods to Measure Methane Emissions from Natural Gas Facilities and Urban Areas, Environmental Science and Technology, 29(6), 2088-2094.
- Mosher, B.W., Czepiel, P.M., Harris, R.C., Shorter, J.H., Kolb, C.E., McManus, J.B., Allwine, E., and Lamb, B.K., 1999, Methane Emissions At Nine Landfill Sites in the Northeastern United States, Environmental Science and Technology, 33(12), 2088-2094.
- Riches, M.R., Jianping, Z., Wang, W.C., and Shiyan, T., 1992, The U.S. Department of Energy and the people's Republic of China's Academy of Science Joint of Research on the Greenhouse Effect: 1895-1991 Research Program, Bulletin American Meteorological Society, 73, 585-594.

2001년 10월 27일 원고 접수
2002년 1월 25일 수정원고 접수
2002년 1월 25일 원고 채택