

한국의 태안반도에서 관측된 CH<sub>4</sub>의 지역적 배경농도에  
관한 연구  
— 1990~1992년 자료를 중심으로 —

정용승 · 이근준

한국교원대학교 환경과학연구소

(1992년 11월 12일 접수)

On the Regional Background Levels of CH<sub>4</sub> Observed at Tae-ahn  
Peninsula in Korea during 1990~1992

Yong-seung Chung and Keun June Lee

*Environment Science Institute, Korea National University of Education, Chongwon, Choongbook*  
363-791

(Manuscript received 12 November 1992)

Abstract

Since November 1990, the observations of methane (CH<sub>4</sub>) level have been carried out at Tae-ahn Peninsula (TAP) in Korea. Analysis on atmospheric data obtained in the period from November 1990 to August 1992 is carried out and the results are included in this study.

We note that CH<sub>4</sub> does not have a clear seasonal cycle with a minor maximum in August-September and with a minimum in June-July. The variations in monthly average level are much larger with 1765.01~1857.21 ppb (amplitude 92.20 ppb). The occurrence of a minimum in June-July is due to the inflow of the North Pacific air, an increase of OH radical and due to a decrease in CH<sub>4</sub> emission from rice paddy. A maximum in August and September appears to result from an increase in organic materials in agriculture (rice paddy) and forests, inputs of local sources due to weak airflows, stagnation of the warm and moist air and from a decrease in OH radical. The present analysis indicates that according to CH<sub>4</sub> data from Mongolia and from several sites in North Pacific TAP is influenced as much as 31 ppb in average from the inputs of Chinese emission. When the atmospheric CH<sub>4</sub> of TAP is compared with data observed at Korea National University of Education (KNU), the values of KNU are higher (127 ppb) than those of TAP. It is clear that air samples taken at KNU are influenced strongly by local sources in central Korea than those at TAP.

According to analysis of trajectories and airflows, we find that there are 4 types in classification. Firstly, when an air flow is originated mainly in China values of CH<sub>4</sub> gas are in medium ranges. Secondly, when an airflow is from both local (Korea) and China we find higher values. Thirdly, with an airflow from both local (Korea) and Japan origins medium values are recorded. Fourthly, when an airflow of maritime origin arrives low values of atmospheric CH<sub>4</sub> are observed at TAP.

KEY WORDS : Atmospheric methane, variations of CH<sub>4</sub> in Korea, regional monitoring of greenhouse gas

\* 이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 지방대학육성과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.



Table 1. 1992 NOAA/CMDL COOPERATIVE FLASK NETWORK

Cod	Station	LST to GMT	Latitude	Longitude	Elevation(m)
ALT	Alert, NWT Canada	+4	82° 27' N	62° 31' W	210
AMS	Amsterdam Island	-5	37° 57' S	77° 32' E	150
ASC	Ascension Island	+1	7° 55' S	14° 25' W	54
AZR	Azores	+1	38° 45' N	27° 05' W	30
BME	Bermuda(East)	+4	32° 22' N	64° 39' W	30
BMW	Bermuda(West)	+4	32° 16' N	65° 53' W	30
BRW	Barrow, Alaska	+9	71° 19' N	156° 36' W	11
CBA	Cold Bay, Alaska	+9	55° 12' N	162° 43' W	25
CGO	Cape Grim, Tasmania	-10	40° 41' S	144° 41' E	94
CHR	Christmas Island	+10	1° 42' N	157° 10' W	3
CMO	Cape Meares, Oregon	+8	45° 00' N	124° 00' W	30
CRZ	Crozet	-5	46° 27' S	51° 51' E	120
CVS	Sal, Cape Verde	-1	16° 45' N	23° 50' E	138
GMI	Guam, Mariana Islands	-10	13° 26' N	144° 47' E	2
HBA	Halley Bay, Antarctica	+2	75° 40' S	25° 30' W	10
IZO	Izana Obs., Tenerife	0	28° 18' N	16° 29' W	2300
KEY	Key Biscayne, Florida	+5	25° 40' N	80° 12' W	3
KUM	Cape Kumukahi, Hawaii	+10	19° 31' N	154° 49' W	3
MBC	Mould Bay, Canada	+10	76° 15' N	119° 21' W	58
MHT	Mace Head, Ireland	0	53° 26' N	9° 44' W	5
MID	Sand Island, Midway	+11	28° 13' N	177° 22' W	4
MLO	Mauna Loa, Hawaii	+10	19° 32' N	155° 35' W	3397
NWR	Niwot Ridge, Colorado	+7	40° 03' N	105° 38' W	3749
PSA	Palmer Station, Antarctica	+3	64° 55' S	64° 00' W	10
QPC	Qinghai Province, China	-8	36° 16' N	100° 55' E	3810
RPB	Ragged Point, Barbados	+4	13° 10' N	59° 26' W	3
SEY	Seychelles	-4	4° 40' S	55° 10' E	3
SGI	South Georgia Island	+3	54° 00' S	38° 00' W	30
SHM	Shemya Island	+10	52° 43' N	174° 06' E	40
SMO	Matatula Point, Samoa	+11	14° 15' S	170° 34' W	42
SPO	South Pole, Antarctica	-12	89° 59' S	24° 48' W	2810
STM	Station “.”	0	66° 00' N	2° 00' E	7
SYO	Syowa, Antarctica	-3	69° 00' S	39° 35' E	11
TAP	Tae-ahn Peninsula, Korea	-9	36° 44' N	126° 08' E	20
UUM	Ulaan Uul, Mongolia	-8	44° 27' N	111° 06' E	914

사료된다. 관측은 해발 20m의 인근 언덕에서 실시 하였으며 관측소의 서쪽으로 황해가 이어져 있다. 중국의 영향과 배경농도를 파악하기 위하여 관측은 가능하면 서풍이 예상될때 주로 실시했으며 Fig. 2는 1991년 3월부터 1992년 2월까지 관측이 이루어진

때의 풍향과 풍속을 분석하여 그린 풍배도이다. 지역의 특성을 반영하여 서풍계열의 바람이 우세한 것을 볼 수 있다. 특히 계절별 분석에 의하면 겨울에는 북서풍계열의 바람이 강하며 여름에는 남서풍 계열의 바람이 뚜렷하다.

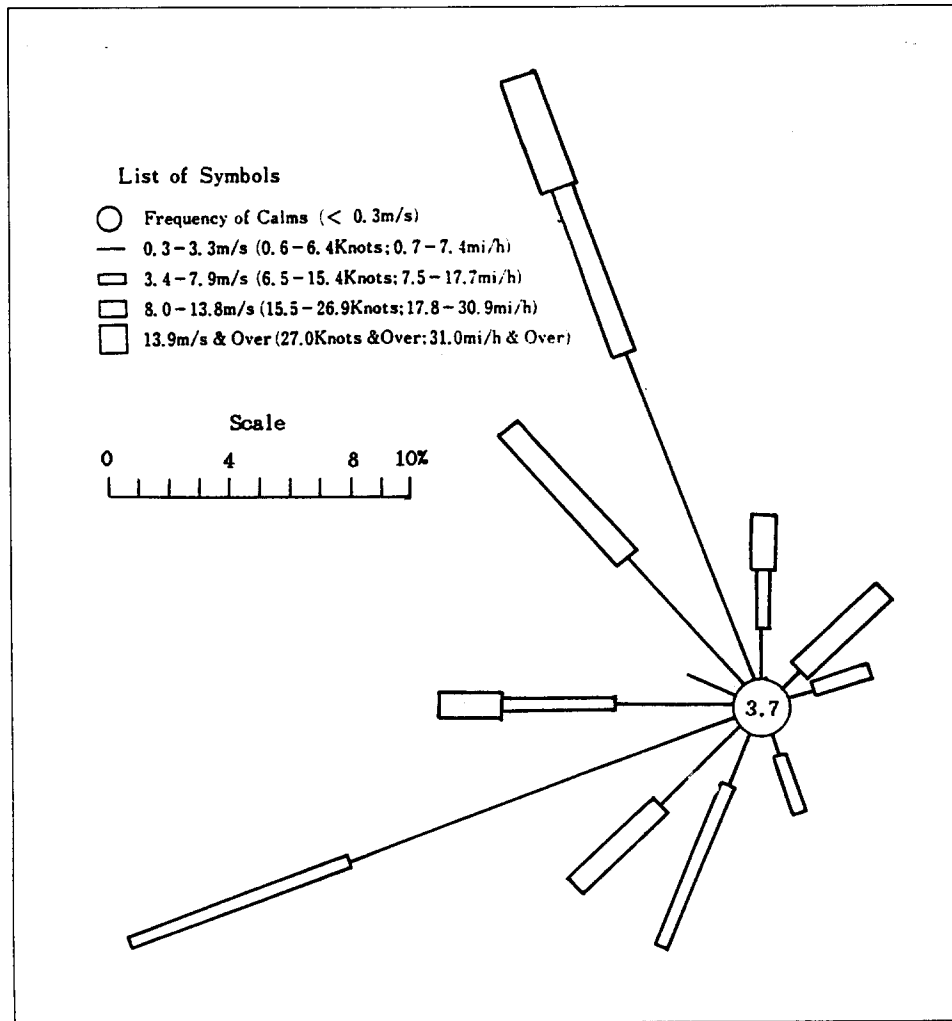


Fig. 2. Annual surface wind rose of Tae-ahn Peninsula.

## 2.2. 관 측

### 2.2.1. 관측기기

관측기기는 미국 NOAA/CMDL에서 제공한 Martin and Kitzis Sampler(MAKS)를 사용하였다(Fig. 3). MAKS은 가로 55cm, 세로 44cm, 높이 20cm, 무게 11kg으로 휴대가 가능하다.

### 2.2.2. 관측절차

관측은 매주 1회 측정되었으며 특별한 경우에는 1주일 연속측정 하였다. 때때로 비교를 위하여 서

해안의 파도리와 충북 청원지역의 한국교원대에서 동시에 관측이 실시된 경우도 있다.

관측순서를 살펴보면

- ① 상자로 부터 2.5l 유리병 2개를 꺼내어 기기에 넣은 다음 connector로 유리병과 기기를 연결한다(실내에서 이루어짐).
- ② 관측장소에 도착하여 유리병의 마개를 모두 연 다음 장대를(5m) 올리고 Toggle valve를 올린후 스위치를 넣는다. 스위치를 넣은 상태에서 air flow rate(l/m)와 battery volts(v)를 기록한다.

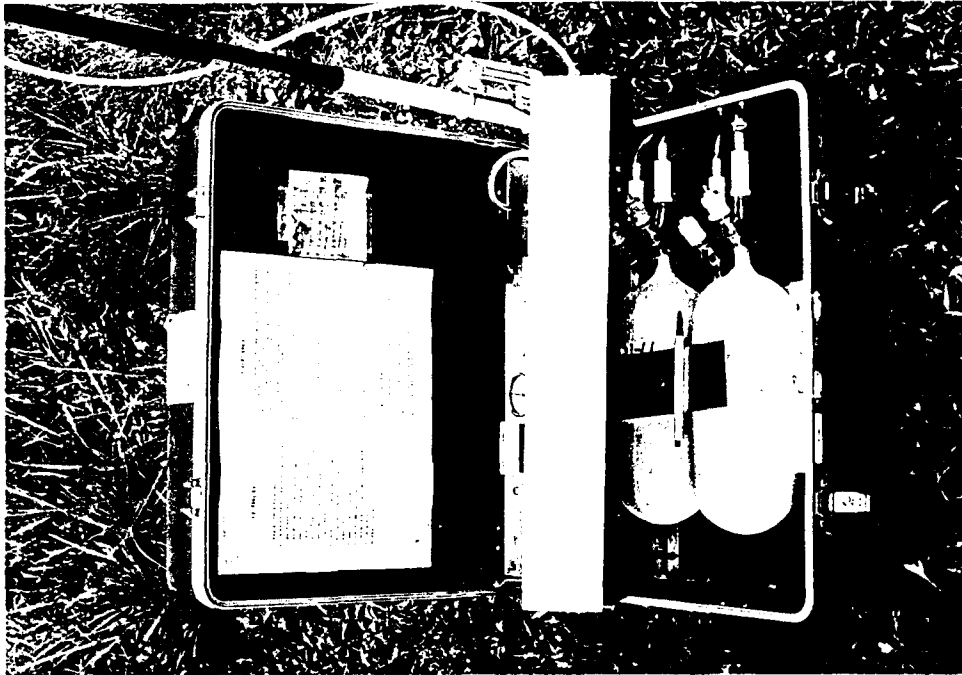


Fig. 3. Martin and Kitzis Sampler.

TAP에서의 관측시 air flow rate와 battery volts는 각각 5.5~6 l/m과 11~12v 정도를 나타냈다.

- ③ 5~7분 정도 지난후 Toggle valve를 내리고 pump pressure를 기록한후 스위치를 끄고 유리병의 마개를 약 1mm정도로 닫는다 (Kitzis, 1990).

공기 채집이 이루어질 때에는 관측장소의 관측 당시 온도, 풍속, 풍향, 기압등 일기요소를 기입하여 샘플분석, 풍배도, 사례연구등 분석의 기초자료로 이용된다.

### 2.3. 측정 및 분석방법

메탄가스측정은 위의 절차와 같이 flask air sampling 방법을 사용했으며 펌프를 이용하여 유리병에 공기를 넣는 방법이다. 이전에는 유리병을 진공으로 만든 다음 마개를 열어 공기를 넣었는데, 오차가 크므로 pump를 이용한 flushing 방법으로 유리병에 공기를 채집한다. 이러한 방법은 공기를 압축하여 넣기 때문에 종전보다 1.3~1.5 배 정도

더 공기를 넣을 수 있다. 매주마다 TAP에서 측정된 sample들은 미국 NOAA/CMDL에 보내져 gas chromatography(GC) with flame ionization detection (FID)으로 분석되었다. 분석상의 정밀도는 ~0.2%이다(Conway *et al.*, 1988).

## 3. 메탄의 source와 sink

### 3.1. 메탄의 source

메탄은 습지, 늪, 논, 호수와 같이 많은 유기물을 함유한 물에서 박테리아의 발효과정에 의해 발생되며 다른 동물 뿐만 아니라 포유동물의 장 내부에서도 발효과정을 통하여 만들어진다. 또한 소량은 지구로부터 직접 방출되며, 나무의 연소와 같은 자연적인 것들도 약간의 메탄 source이다. Table 2는 메탄의 1988년을 기준으로 조사한 global source이다(Cicerone과 Oremland, 1988). 특히 인위적인 source가 자연적인 source보다 많아 전체의 68%를 차지한다. 그러나 최근의 CH<sub>4</sub>의 증가는 sources의

증가와 sinks의 감소를 동시에 고려할수 있다. 메탄의 발생지가 먼 원거리에서 OH농도를 조절하는 중요한 요소중 하나는 CO이며 이는 OH와 잘 반응한다.

Table 2. Estimates of methane emission from various anthropogenic and nature sources in 1988 (Cicerone and Oremland, 1988)

	Emission(Tg yr <sup>-1</sup> )
<i>anthropogenic</i>	
ruminants	80
rice paddy fields	110
biomass burning	55
landfills	40
coal mining	35
natural gas flaring	45
<i>nature</i>	
swamps and marches	115
lakes	5
oceans	10
other nature	40
total anthropogenic	365
total nature	170
SUM	335
F	68

Notes : F is the ratio of anthropogenic emission to total emissions.

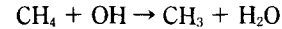
한편, 일산화탄소는 다음과 같이 OH와 반응한다.



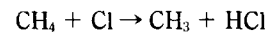
Chameides *et al.*(1977)의 결과에 의하면 연간 4.5% 정도의 CO 증가는 OH 농도를 감소시키며 결국 매년 1.4%의 CH<sub>4</sub> 증가를 가져올 것이라고 추정했다. 한편 Khalil 과 Rasmussen(1985)는 지난 200년 이상 동안 대기중 메탄의 약 70% 증가는 아마도 일차적 방출의 증가에 의해서이며 나머지 30%는 global OH 농도의 감소에 기인한다고 추정했다.

### 3.2. 메탄의 sink

대기중에 있는 메탄의 주요한 sink는 대류권에 있는 OH와의 반응이다. 이 반응은 메탄 sink의 85%를 설명할 수 있다(Cicerone과 Oremland, 1988).



OH의 농도는 CH<sub>4</sub>, CO, NMHC, NOX 그리고 대류권의 O<sub>3</sub>를 수반하는 복잡한 반응에 의해서 조절된다. 가장 높은 OH농도는 적도에서 예상되며, 그곳의 높은 습기와 강한 복사는 O<sub>3</sub>를 광 분해하며 O(D)를 만들고 이것은 마침내 많은 OH를 생성할 수 있다. OH radical은 몇몇 유기물과 함께 낮동안의 화학반응을 지배하는 중요한 요소이다. 이밖에도 CH<sub>4</sub>의 sink로서 성층권으로의 이동을 들수있다. 성층권이 CH<sub>4</sub>의 sink 지역임을 암시하는 것은 성층권에서 CH<sub>4</sub>가 높이에 따라 급속히 감소하는 것을 통해서 알수있다. CH<sub>4</sub>의 적은양 (<15%)은 성층권의 위쪽으로 확산되어 OH와 반응하여(CH<sub>4</sub>+OH → CH<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O) 성층권에 있는 물의 중요한 근원의 역할을 한다. CH<sub>4</sub>는 다음과 같이 염소원자와도 결합한다.



이렇게 형성된 약간의 HCl은 대류권에 도달하여 rain out되어 성층권으로부터 Cl을 제거하는 역할을 할 수 있다. 이러한 CH<sub>4</sub>의 성층권으로 부터의 Cl 원자 제거는 CFC와 HC와 같은 화학물질로 부터 위험에 처해있는 성층권의 오존층 파괴를 막아줄 수 있다.

토양 또한 CH<sub>4</sub>의 sink로서 알려져있다. Harris *et al.*(1982)과 Seiler와 Conard(1987)에 의하면 토양에 있는 미생물은 매년 CH<sub>4</sub>를 30±15Tg 정도 흡수한다.

## 4. 결과 및 논의

### 4.1. TAP에서의 CH<sub>4</sub>의 계절변동

#### 4.1.1. TAP에서의 메탄의 월 변동

Table 3과 Fig. 4는 1990년 11월부터 1992년 8

월까지 매주마다 TAP에서 관측한 CH<sub>4</sub>의 농도와 월 평균값의 변동을 나타낸 것이다. 92년 7월 중 1 주일은 매일 관측하였다. 관측기간 동안의 월 평균치의 변동은 1765.01~1874.49ppb로서 진폭은 109.48ppb를 나타냈다.

1991년의 연 평균 농도는 1823.32 ppb 이었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 TAP에서의 CH<sub>4</sub> 변동은 매우 심하며, 6~7월에 최소값을 보인 후 8월에 급격히 증가하여 작은 최고값(minor maximum)이 8~9월에 나타나지만 뚜렷한 계절변화는 보이지 않는다. Khalil과 Rasmussen(1983)에 의하면 북반구에서 메탄의 최소값은 여름(6~7월)으로 다른 계절보다 25~34ppb정도 낮으며 가을이 시작되면서 빠르게 증가한다고 밝히고 있다. OH가 여름에 높고 겨울에

낮은 것으로 메탄의 계절적 변화의 일부분을 설명할 수 있으며 가을 초기와 중기 동안 북반구에서의 메탄농도의 급작스런 증가는 메탄의 높은 방출이 이 기간동안 위도 30 N에서 있는 것을 암시한다.

TAP에서의 CH<sub>4</sub> 변화 경향을 알아보기 위해 다음과 같이 북반구의 세곳과 비교하였다. 첫째로 거의 같은 위도에 있는 중국의 Qinghai Province(QPC : 36°16' N, 100° 55' E, 해발 3810m)와 비교(Fig. 5) :

TAP에서의 CH<sub>4</sub> 농도의 범위는 1696.68~1991.67 ppb(294.99ppb)로 매우 심한 반면 QPC에서의 농도 범위는 1722.89~1802.47ppb(79.58ppb)로 진폭이 적다. 두곳의 1991년 8월~1992년 7월까지 1년 동안의 평균농도는 TAP이 1832.08ppb로 QPC의 1763.82 ppb보다 68.26ppb 더 높다. 두곳 모두 뚜렷한 계

Table 3. Concentrations of CH<sub>4</sub> observed at Tae-ahn Peninsula, Korea(1990~1992)

		1990		1991										
		NOV	DEC	JAN	FKB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	ADG	SEP		
	1842.81	·	1818.60	·	1848.98	1906.92	1807.60	1789.27	1851.17	1891.54	1845.61			
					1834.56	1807.67	1906.54	1872.11	1812.30	1843.21	1948.37			
					1835.83	1795.27	1787.15	1813.04	1696.68	2021.46	1851.13			
					1811.12	1801.98	1786.03	1827.69	1711.24	1836.87	1808.05			
					1822.26			1739.86	1753.64					
Mean	1842.81	·	1818.60	·	1830.55	1827.96	1821.83	1808.39	1765.01	1857.21	1863.29			
		1992												
		OCT	NOV	DEC	AKNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	
	1870.76	1855.26	1824.22		1844.03	1837.02	1815.73	1834.18	1860.97	1809.16	1932.64	1902.59		
	1807.49	1774.97	1798.89		1829.88	1811.83	1862.07	1819.34	1862.87	1824.04	1818.55	1991.67		
	1803.89	1863.47	1814.74		1823.24	1830.43	1884.05	1818.99	1860.59	1866.55	1963.76	1844.43		
	1809.77				1855.62	1818.28	1842.83	1814.90	1885.19	1842.85	1728.33	1759.28		
	1807.57				1836.26				1813.50		1696.41			
											1704.55			
											1765.67			
											1707.98			
											1714.76			
											1700.27			
	1819.88	1831.23	1812.62	1823.32	1837.81	1824.39	1851.17	1821.85	1856.62	1835.65	1773.29	1874.49		

\* denotes date excluded in man values

절변동은 나타나지 않았다.

둘째 몽고의 Ulaan Uul (UUM ;  $44^{\circ} 27' N$ ,  $111^{\circ} 06' E$ , 해발 914m)의 비교 (Fig. 6):

UUM의 관측이 1992년 1월부터 이루어졌기 때문에 1992년 1월~7월까지의 값을 비교하였다. 비교 기간동안 TAP과 UUM의 진폭은 각각 1696.41~1963.76ppb(농도차 : 267.35ppb), 1765.02~1821.77 ppb(농도차 : 56.75ppb)이고 두 지점의 평균농도는 TAP이 UUM보다 40.43ppb 높다.

셋째 TAP과 미국의 알라스카의 Shemya Island (SHM ;  $52^{\circ} 43' N$ ,  $174^{\circ} 06' E$ , 해발 40m)의 비교 (Fig. 7):

TAP에서는  $CH_4$ 의 계절 변동이 뚜렷하지 않은 반면, SHM에서는 여름에 최소치가 확실히 나타나고 계절 변동이 뚜렷하다. TAP의 여름철 농도는 다른 계절보다 평균 17~24ppb 정도 낮다. 관측기간 동안의 진폭 역시 TAP의 294.99ppb에 비하여 65.66 ppb로 변동이 크지 않다. 두 지역의 1991년 연 평균농도는 TAP과 SHM에서 각각 1823.32, 1789.82 ppb로 그 차이는 33.48ppb 이다.

Fig. 8은 TAP, SHM, QPC 세 곳의  $CH_4$  농도를 비교하기 위하여 겹쳐놓은 것이다. 북반구에서의  $CH_4$  농도는 위도가 증가함에 따라 높아진다(Steele *et al.*, 1987). SHM, TAP, QPC의 위도가 각각  $52^{\circ} 43' N$ ,  $36^{\circ} 44' N$ ,  $36^{\circ} 16' N$  임을 고려 해볼때 농도의 순서는  $SHM > TAP \geq QPC$  인 것이 일반적이다. SHM과 QPC를 비교 해볼때 SHM의 농도가 QPC의 농도보다 약 26ppb 높다. 이것은  $CH_4$ 의 위도에 따른 변화와 관계가 있다(Steele *et al.*, 1992). 그러나 TAP의  $CH_4$  농도는 SHM 보다는 33ppb, QPC 보다는 68ppb 높다.

지금까지 논의한 결과들을 요약하면, 첫째 TAP에서는 다른 지역들 처럼 계절 변화가 뚜렷하지 않으며 진폭이 매우 큰 변동을 한다. 이것은 TAP 주위에는 중국등 세계에서 가장 큰  $CH_4$  source의 일부가 위치하고 있어 기류에 따라  $CH_4$  캐스가 이동하기 때문이다. 특히 여름철과 초가을의 기류 변동은 겨울철 기류 변동보다 심하여 크게 진동하는 것을 볼 수 있다. 둘째 비교한 다른 지역들 보다 TAP에서의  $CH_4$  농도가 33~68 ppb 정도 높다. 이

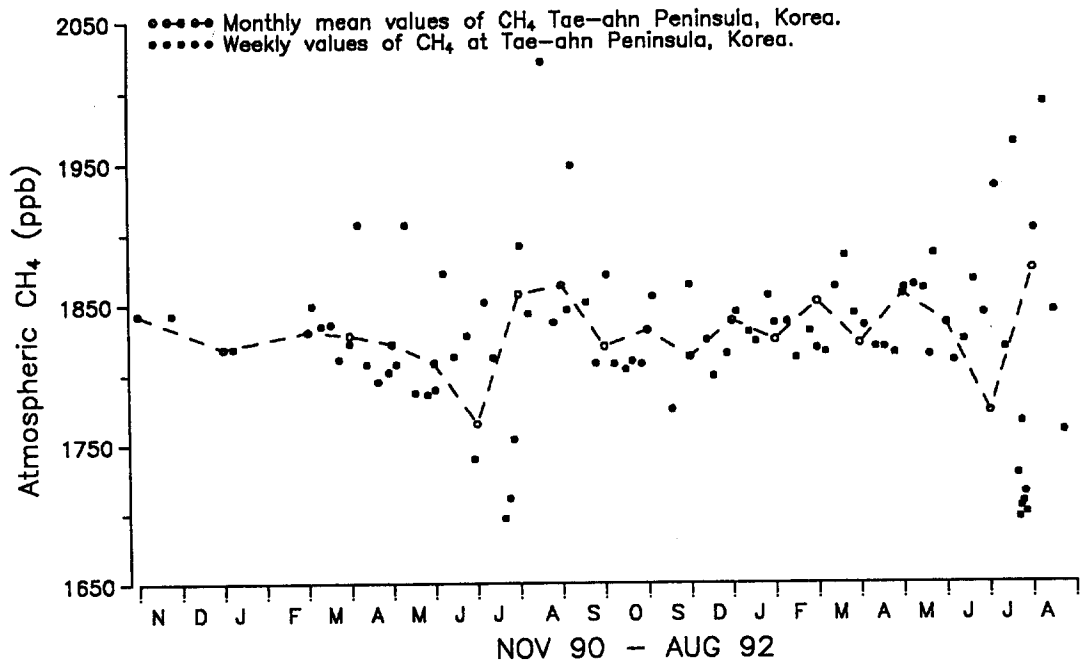


Fig. 4. Variations of  $CH_4$  observed at Tae-ahn Peninsula in Korea from 1990 to 1992.



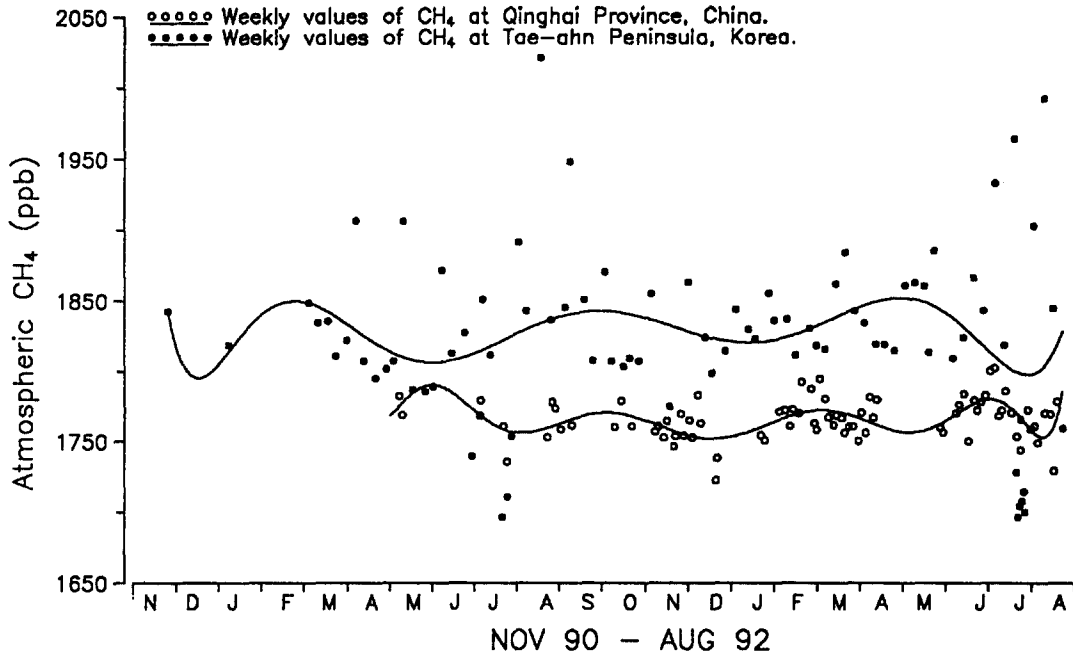


Fig. 5. CH<sub>4</sub> variations at Tae-ahn Peninsula in Korea and at Qinghai Province in China from 1990 to 1992.

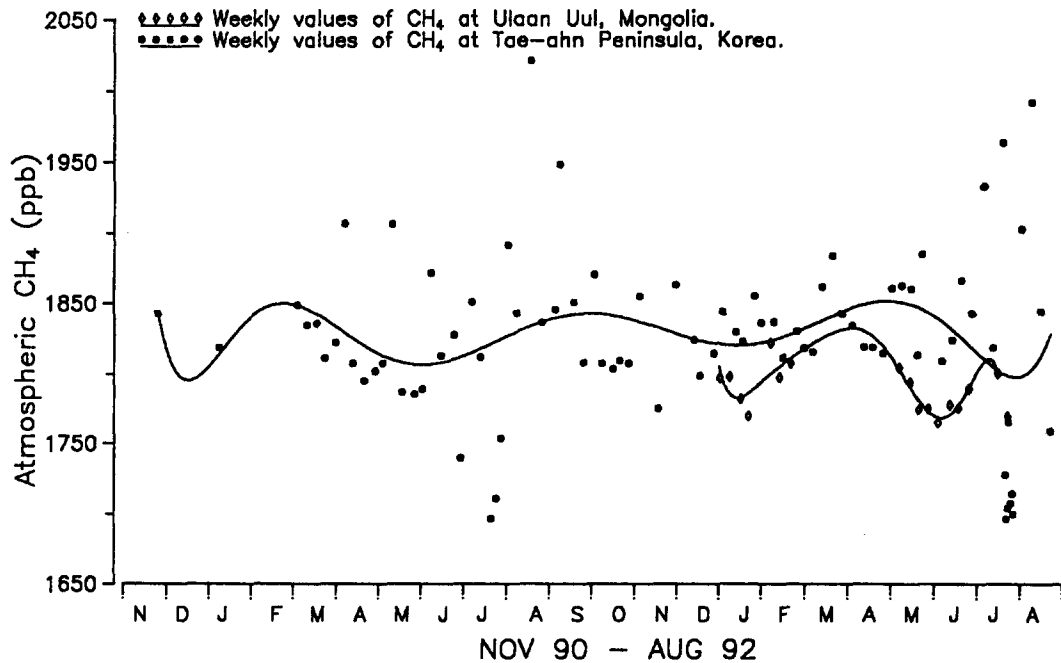


Fig. 6. CH<sub>4</sub> variations at Tae-ahn Peninsula in Korea and at Ulaan Uul in Mongolia from 1990 to 1992.

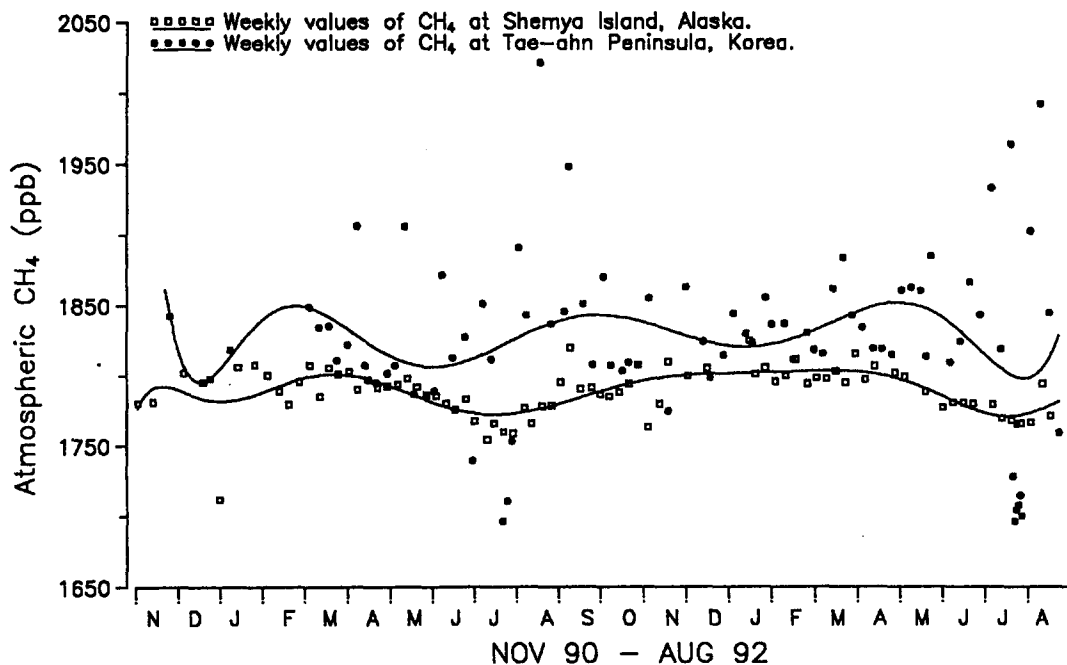


Fig. 7. CH<sub>4</sub> variations at Tae-ahn Peninsula in Korea and Shemya Island in Alaska from 1990 to 1992

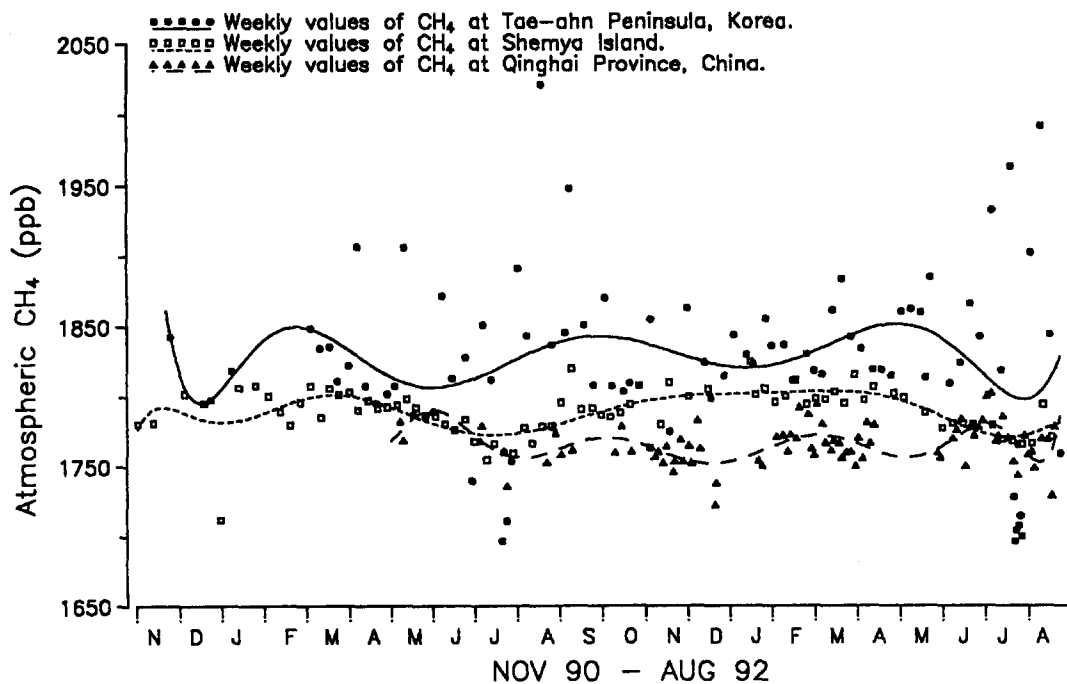


Fig. 8. CH<sub>4</sub> variations at TAP, SHM and QPC from 1990 to 1992

것은 QPC와 SHM이 인간 활동의 영향을 거의 받지 않는 background 지역에 설치되어 있는 반면 TAP은 바람이 약한 날에는 농·어촌지역에서 국지적으로 발생하는 CH<sub>4</sub>의 영향을 받을 수 있는 곳이다. 또 다른 이유는 UUM 이나 QPC가 중국 동해안에 있는 도시와 농업지역의 풍상측에 위치하고 있는 반면 TAP은 풍하측에 있기 때문이다. 중국의 동해안을 따라 형성된 공업도시와 인구가 밀집되어 있는 대도시는 많은 오염물질들과 갯스를 방출하며 이것들은 중국의 광대한 농토에서 발생한 CH<sub>4</sub> 갯스와 섞여 편서풍을 타고 한반도에 상륙할 수 있다. 중국의 남부 Sichuan성 Tuzu 지방의 쌀생산 지역에서의 CH<sub>4</sub> 방출은 예전보다 약 50% 많은 양을 방출하고 있다. 이것을 중국의 모든 논으로 확대하면 중국은 지구 전체 CH<sub>4</sub> 생산의 7~10%를 차지한다 (Riches *et al.*, 1992).

4.1.2. 1991년 1년간 TAP에서의 CH<sub>4</sub> 변동

대기중 CH<sub>4</sub>의 직접적인 측정은 지구 대기중 CH<sub>4</sub>의 양, CH<sub>4</sub>의 위도분포, 계절변화, 연간 변화율 등을 알려준다. CH<sub>4</sub>의 계절 변동을 알아보기 위하여 1991년 1년간의 자료를 분석하였다.

첫째 연간 크기 변화에 있어서 극값으로는 1704~1921ppb로 217ppb 차를 보이며, 그림에서 조화 곡선 분석으로는 약 1780~1910ppb로 130ppb 차를 보인다. 1991년 3월~1991년 12월 까지의 자료를 통하여 얻은 1991년 연 평균 농도는 1823.32ppb 였다.

둘째 여름철 동안 지속적인 최소값이 발생하지 않았다. TAP에서 몇몇의 매우 낮은 CH<sub>4</sub> 값이 여름동안 나타나지만 매우 높은 값도 같은 계절에 나타난다.

이것은 기류의 이동에 기인한다. 주로 NNW~NW 기류와 한반도의 공기가 오랫동안 머물며 혼합될

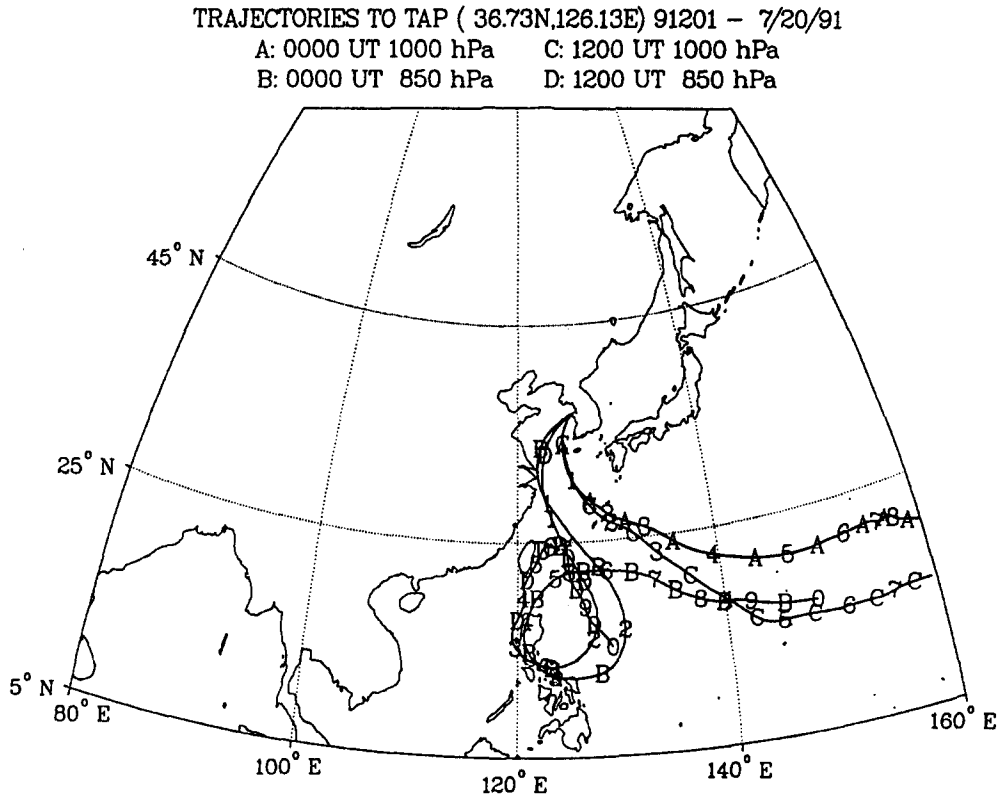


Fig. 9. Backward trajectories arriving at Tae-ahn Peninsula in the west coast of Korea at 0000 UT and 1200 UT, 20 July 1991

때는 높은 값을 나타내며 오염되지 않은 S~SW의 해양성 기류가 올때에는 낮은 값을 나타낸다. Harris *et al.*(1992)은 Mauna Loa 관측소에서 장거리 이동에 관련된 CH<sub>4</sub>의 변화를 통하여 겨울철 북서풍을 따라 아시아로부터 메탄이 이동할때가 여름철 태평양으로부터의 남동풍때보다 약 50ppb가 더 높다는 것을 밝혔다.

세째 6~7월에 최소값이 나타난다. 이것은 장마비의 영향과 따뜻하고 습기를 많이 함유한 해양성 기단(mT)의 영향을 받기 때문이다. 6~7월의 trajectories 분석은 기류들이 북서 태평양상에서 유입됨을 보여준다(Fig. 9). 이 값들은 적도 태평양상에 있는 Cape Kumukahi, Hawaii (KUM; 19° 31' N, 154° 49' E, 해발 3m)에서 관측한 값(1700~1775ppb)들과 비슷하였다. 또한 한대전선의 영향으로 우리나라가 장마권에 들면서 CH<sub>4</sub>가 washout-rainout 될수 있는 가능성도 있다. 이론에 의하면 매우 작은 분자의 운동은 강수현상에 독립적이나 Chung(1988)은 캐나다의 Sable Island와 Alert에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 관측을 통하여 강우동안 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 농도가 맑은 날에 비하여 낮아 짐을 밝혔다. 최근의 청원지방의 산성도 연구에서 역시 여름 동안 입자상의 물질과 개스상 오염물질들이 washout-rainout 되어 산도가 낮아진다는 연구가 있었다(정용승과 김태균, 1992). 다른 또하나의 OH radical에 의한 이 기간동안 CH<sub>4</sub>의 파괴가 가장크며 벼농사로부터의 CH<sub>4</sub> 방출이 이미 최고도로 도달된 이후이기 때문이다. OH radical은 광화학적 species 이기때문에 OH에 의한 CH<sub>4</sub> 산화는 여름 동안이 가장 크다.

네째 10월에 작은 최소값이 나타난다. 따뜻하고 건조한 이동성 고기압이 10월의 날씨를 지배하여 쾌청한 날들을 만들며, 이러한 일기는 효과적으로 오염 공기를 확산 시킬 수 있다. 또한 추수가 끝나면서 논과 밭에서 발생하던 CH<sub>4</sub> 양이 현저히 적어졌다.

다섯째 4월에 작은 최소값이 나타난다. 봄의 잦은 이슬비와 벼의 완전한 성숙이 이르지 않은 상태이므로 CH<sub>4</sub> 농도가 약간 낮아 질 수 있다. CH<sub>4</sub>의 방출은 모가 처음 심겨질때에는 그리 크지 않으나 모가 중간 정도로 자랐을때 최대이며 수확기에 별

어진다 (Riches *et al.*, 1992).

여섯째 8월과 9월에 최대값이 나타난다. 8월과 9월에는 논과 밭 그리고 늪, 습지로부터 유기물의 활발한 발효가 있다. 이러한 과정을 통하여 만들어진 CH<sub>4</sub>는 따뜻하고 습기를 많이 포함한 정체성 기단(mT)이 형성되면서 약한 기류의 영향으로 한 지역에 오래 머물 수 있다. 또다른 이유는 여름동안 최대였던 OH radical의 급격한 감소이다.

일곱째 3월중 약간 높은 값이 나타난다. 해빙과 함께 농사철이 시작 되면서 밭과 논에 각종 분뇨와 퇴비를 넣게 되어 지역적으로 강한 CH<sub>4</sub>의 source가 있다.

여덟째 5월에 약간 높은 값이 나타난다. 따뜻하고 맑은 날씨의 연속으로 논과 밭에서 유기물질의 활발한 발효가 시작된다.

이러한 CH<sub>4</sub>의 농도 변화는 또한 trajectories 분석으로도 해석이 가능하였다. 주로 종관적 운동계에 의존하여 TAP에서의 trajectories와 기류는 다음과 같이 4가지 형태로 구분 되었다 (그림은 생략됨).

첫째 주로 중국으로부터 기원하는 기류로 이때의 CH<sub>4</sub> 농도는 중간값을 갖는다.

둘째 중국 기원과 한국에서 국부적으로 발생한 기류가 혼합 될 때는 높은 값을 갖는다.

세째 한국과 일본 기류가 혼합 되었을 때에는 중간 값을 갖는다.

네째 해양으로 부터의 기류는 매우 낮은 값을 갖는다.

## 4.2. 중국 기원의 기류에 의한 TAP의 CH<sub>4</sub> 농도와 다른 지역들의 CH<sub>4</sub> 농도 비교

지금까지 논의한 결과들을 검토해 볼때 TAP에서 관측된 CH<sub>4</sub>의 농도 변화는 지역적 영향이 가장 크며 중국, 일본, 태평양 기류의 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 TAP이 태평양과 북극과 같은 순수한 background station 과는 다소 차이가 있다. 그러나 본 연구의 목적에 부합하여 중국으로부터의 영향을 얼마나 받는가를 알기 위해서는 주로 중국 기원으로 부터 유입되는 기류만을 분석해 볼 필요가 있으므로 미국 기상해양청은 TAP이 지역적이고

전략적인 관측지점으로 평가하고 있다. Table 4는 주로 중국 기원으로 생각해볼수 있는 풍향이 NNW~W이고 풍속이 3m sec<sup>-1</sup> 이상인 날들의 CH<sub>4</sub> 농도 및 일기요소들을 나타낸 것이다.

NNW-W의 기류는 주로 봄과 겨울철에 우세하며 여름철(S-SW)에는 거의 나타나지 않는다. NNW-W 기류일때 TAP의 농도 변화는 1787.2~1855.6ppb이며 평균 농도는 1818.3 ppb이다. TAP에서 중국의 영향을 알아보기 위해 NNW-W 기류가 우세한 날 TAP에서 관측한 CH<sub>4</sub>의 농도와 세계여러 지역의 농도를 비교하였다(Table 5).

Table 5에서 표시된 바와같이 TAP에서의 CH<sub>4</sub> 농도가 가장높으며 KUM, UUM, QPC, MID, CBA, SHM보다는 각각 71ppb, 22ppb, 49ppb, 43ppb, 19ppb, 19ppb 더 높다. 이러한 결과들은 TAP이 충남에 산재한 오염원등 지역적인 영향을 많이 받지만 사

계절을 통하여 중국으로 부터의 기류를 타고 CH<sub>4</sub> 개스가 많이 유입될 수 있음을 말해 준다.

중국으로부터 한해동안 얼마 정도의 CH<sub>4</sub>가 유입되는가를 알아보는 것은 매우 흥미로운 일이다. CH<sub>4</sub>가 위도에 따라 증가한다고 할때 TAP의 background 농도는 MID와 SHM의 중간 정도 값을 가져야한다. 거의 같은 위도상에 있는 QPC 농도는 해발 3810m 높이에서 측정된 값으로 지면에서 측정된 값보다 상대적으로 낮은 값을 나타내며, UUM의 자료는 1992년만의 자료를 사용하였으므로 신빙성이 약하여 두 곳에서 관측한 자료는 사용할 수 없다. 이렇게 하여 선택한 MID와 SHM의 중간 값은 1787ppb이다. 이 값의 신뢰성을 확인하기 위해서 시간에 따른 변화 방정식

$$f(t) = a_1 + a_2t + a_3t^2 + \sum_{i=1}^4 (a_{2i} + 2 \sin(2\pi it) + a_{2i} + 3\cos(2\pi it))$$

**Table 4.** CH<sub>4</sub> level and weather factor in selected days(Unit : ppb)

Date	CH <sub>4</sub> level	Wind direction	Wind speed(m s <sup>-1</sup> )
91/ 1/ 5	1818.60	NW	10
3/31	1822.26	NW	10
4/20	1795.27	NW	3
5/ 3	1807.60	NW	3
5/17	1787.15	NNW	3
10/ 7	1807.49	NNW	8
10/20	1809.70	NW	10
92/ 1/ 3	1844.03	NW	3
1/17	1823.24	NW	14
1/26	1855.62	NW	4
2/ 8	1837.02	NW	4
2/14	1811.83	NW-W	8
2/23	1830.43	NW-W	

을 적용하였다. 위도가 30°~90°N 에서, t는 1987년 1월 1일을 0으로하는 연의 계수이며 a<sub>1</sub>=1734.03, a<sub>2</sub>=12.65, a<sub>3</sub>=-0.58, a<sub>5</sub>=15.72, a<sub>7</sub>=-7.99, a<sub>9</sub>=1.76, a<sub>11</sub>=2.38인 상수들이다(Steele *at al.*, 1992). 1991년은 t=4 이므로 f(4)=1787.20ppb이다. 이 값은 위에서 택한 중간값과 잘 일치한다. TAP이 background station으로 적당한 곳이라면 1787ppb 정도의

값을 갖게 될 것이다. 실제 측정값과 추정된 값을 비교하면 측정치가 추정치 보다 31ppb높다. 결국 한반도에서 관측한 CH<sub>4</sub> 개스는 중국에서 기류가 유입될때 약 31ppb정도 중국의 영향을 받는다고 말할 수 있겠다. 중국은 동쪽해안을 따라 공업도시가 밀집되어있다. 실제로 우리 서해안의 백령도에서 중국의 산둥반도까지의 최단거리는 약 170

Table 5. Comparison of CH<sub>4</sub> levels observed at TAP and at global methane network for selected days(Unit : ppb)

site	latitude	level range	average	difference	above sea level(m)
TAP	36° 44'	1787~1856	1818	—	20
CBS	55° 12'	1763~1815	1799	19	25
SHM	52° 43'	1785~1825	1799	19	40
UUM	44° 27'	1770~1822	1796	22	914
QPC	36° 16'	1751~1793	1769	49	3810
MID	28° 13'	1742~1790	1775	43	4
KUM	19° 31'	1700~1782	1747	71	3

\*MID, CBA, KUM의 값은 그래프를 이용하여 얻은 대략적인 수치임.

Table 6. Comparison of atmospheric methane gases measured at the seashore(TAP) and inland sites(KNU).

Date	Site	CH <sub>4</sub> (ppb)	Wind direc. (m/s)	Wind speed	Temp. (°C)	Remark
92/2/28	TAP	1818.28	WSW	2.5	14.0	cloudy
〃	KNU	2053.57	WNW	0.3	9.2	hazy
92/3/6	TAP	1815.73	NNE	5.0	6.0	—
〃	KNU	1900.66	NNE	2.4	4.3	—
92/3/13	TAP	1862.07	NNE	1.0	8.0	—
〃	KNU	1972.58	—	calm	4.0	dense fog
92/3/20	TAP	1884.05	NNE	4.0	9.0	—
〃	KNU	1961.00	N	1.5	9.0	cloudy
Avg. diff.		126.92			—	

km이며, 태안에서 산둥반도는 약 300km, 그리고 한국의 남해안에서 중국대륙은 약 500km이다. 이 거리는 하층 대기운동의 크기로 보아 10~48시간 정도의 이동거리이다.

#### 4.3. TAP과 KNU에서의 CH<sub>4</sub> 농도 비교

Table 6은 TAP과 KNU에서 관측한 CH<sub>4</sub>의 농도를 비교한 것이다. Table 6에 비교한 사례들은 모두 KNU의 CH<sub>4</sub> 농도가 TAP보다 훨씬 높으며, 평균차가 126.92ppb이다. 이는 태안과 청주사이에서 발생하는 한국 농촌지역 source의 역할을 제시하고 있다. KNU 지역은 인근에 가축, 양계장과 넓은 미호

평야의 논들이 있다. 또한 청주, 조치원으로부터의 오염물질의 유입과 인근 공장지대로 부터 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 곧바로 바다로 이어진 시골 지역이다. 논, 밭, 가축으로부터 가스들은 다소 발생할 수 있으나 공업지역에서 발생하는 오염물질은 상대적으로 매우 낮다. 특히 안개가 많고 haze가 관찰될 때 가스들의 농도가 높게 나타난다. 이것은 공기가 정체되어있어 확산이 어렵기 때문이다.

## 5. 결 론

메탄의 배경농도에 관한 관측이 1990년 11월부터 충남 태안군 소원면 파도리에서 실시되었다. 본 연구에서는 1990년 11월부터 1992년 8월까지의 자료를 미국 기상해양청의 도움을 받아 분석하였다. 그 결과 얻은 특징은 다음과 같다.

1) 관측기간 동안 월 평균치는 1765.01~1857.21 ppb (92.20ppb)로 변동이 매우 심하며 뚜렷한 계절 변동이 보이지 않는다.

2) 비교 지역인 UUM, QPC, SHM 등보다 TAP에서의 메탄 농도는 33~68ppb 정도 높다. 이것은 TAP이 바람이 약한 날에 지역에서 국지적으로 발생하는 메탄의 영향을 받을 수 있다. 또한 UUM과 QPC가 중국의 풍하측에 있는 반면 TAP은 풍상측에 있어 중국의 source 영향을 강하게 받기 때문이다.

3) 6~7월에 최소값을 나타낸 이후 8~9월에 최대값을 나타낸다. 6~7월의 최소값은 오염되지 않은 북태평양의 해양성 기류의 유입, 잦은 비로 인한 washout-rainout, OH radical의 급속한 증가, 비의 최고 성숙기 이후 메탄 방출의 감소 등에 기인하며 8~9월의 최대값은 논, 밭, 습지, 늪 등에서 유기물의 발효 활발, 정체성 기단으로 인한 source에서 발원한 가스의 지체, OH radical의 급격한 감소 등에 원인이 있다.

4) 중국 기원으로 볼 수 있는 풍향이 NNW W이고 풍속이 3m sec<sup>-1</sup> 이상인 날들의 메탄 농도를 고려해 볼때 한반도의 메탄 개스는 편서 기류가 유입될때 중국의 영향을 31 ppb 정도 받는다.

5) TAP과 KNU를 비교할때 KNU의 농도가 TAP보다 (127ppb) 훨씬 높다. 이것은 KNU 지역이 한반도의 중부에 놓인 농촌지역의 인위적인 source의 영향을 강하게 받기 때문이다.

6) 순수한 배경농도의 관측은 극지방과 대양의 중심 부근에서 실시 하고 있으나 TAP의 관측은 중국과 한국사이, 즉 황해 연안의 지역적 배경농도를 monitoring하는데 이용 될 수 있다.

## <감 사>

관측에 협조해주신 파도국민학교 엄기철기사님

과, 김태군씨의 많은 도움을 받았습니다.

## 참고문헌

- 이근준, 정용승, 1993, 한국의 태안반도에서 관측된 이산화탄소의 배경농도에 관한 연구, 한국대기보전학회(인쇄중).
- 정용승, 김태군, 1992, 충북 청원군 강수의 산성도 연구, 한국환경과학회지 1 (1), 29-39.
- Chameides, W. L., S. C. Liu and R. J. C. Cicerone, 1977, Possible variations in atmospheric methane, *J. Geophys. Res.*, 82, 1795.
- Chung, Y. S., 1988, The variations of atmospheric carbon dioxide at Alert and Sable island, Canada, *Atmos. Environ.*, 22, 383-394.
- Cicerone, R. J. and R. S. Oremland, 1988, Biogeochemical aspects of atmospheric methane, *Global Biogeochem. Cycles.*, 2, 299-327.
- 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.
- Finlayson-Pitts, B. J. and J. N. Pitts, 1986, *Atmospheric Chemistry : Fundamentals and experimental techniques*, New York, 24, 67-97, 967-977.
- Harris, R. C., D. I. Sebacher and F. Day, 1982, Methane flux in the great dismal swamp, *Nature*, 297, 673-674.
- Harris, J. M., P. P. Tans, E. J. Dlugokencky, K. A. Masarie, P. M. Lang, S. Whittlestone and L. P. Steele, 1992, Variation in atmospheric methane at Mauna Loa Observatory related to long-rang transport, *J. Geophys. Res.*, 97, 6003-6010.
- Khalil, M. A. K. and R. A. Rasmussen, 1983, Sources, sinks, and seasonal cycles of atmospheric methane, *J. Geophys. Res.*, 88, 5131-5144.
- Khalil, M. A. K. and R. A. Rasmussen, 1985, Causes

- of increasing atmospheric methane : Depletion of hydroxyl radical and the rise of emissions, *Atmos. Environ.*, 19, 397.
- Kitzis, 1990, Sampler (MAKS) Revision 1.1.
- Riches, M. R., Z. Jianping, W. C. Wang and T. Shiyan, 1992, The U. S. Department of Energy and the people,s Republic of China,s Academy of Science Joint Research on the greenhouse effect : 1985-1991 research program, *Bulletin American Meteorological Society*, 73, 585-594.
- Seiler, W. and R. Conard, 1987, Contribution of tropical ecosystems to the global budget of trace gases especially CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO, and N<sub>2</sub>O. *The Geophysiology of Amazonia*, Dickinson, 133-160, John Wiley, New York.
- Steele, L. P., P. J. Fraser, R. A. Rasmussen, M. A. K. Khalil, T. J. Conway, A. J. Crawford, R. H. Gammon, K. A. Masarie and K. W. Thoning, 1987, The global distribution of methane in the troposphere, *J. Atmos. Chem.*, 5, 125-171.
- Steele, L. P., E. J. Dlugokencky, P. M. Lang, P. P. Tans, R. C. Martin and K. A. Masarie, 1992, Slowing down of the global accumulation of atmospheric methane during the 1980s, *Nature* 358, 313-316.