

## 대기 중에서 가스상 유기염소계 농약의 농도변화 패턴

최민규<sup>1</sup>, 천만영\*

<sup>1</sup>국립수산과학원 환경연구팀, 한경대학교 환경공학과

### Variation Pattern of Gaseous Organochlorine Pesticides Concentration in Atmosphere

Min-Kyu Choi<sup>1</sup> and Man-Young Chun\*

<sup>1</sup>Marine Environment Research Team, National Fisheries Research  
& Development Institute  
Department of Environmental Engineering, National Hankyong University

#### ABSTRACT

This study was performed to measure gaseous Organochlorine Pesticides (OCPs : heptachlor epoxide,  $\alpha/\gamma$ -chlordane, trans-nonachlor, endosulfan,  $\gamma$ -HCH and  $p, p'$ -DDE) concentration using PUF high volume sampler from June, 2000 to June, 2002 in the semi-rural atmosphere.

Using monitoring data for two years, we tried to investigate the annual cycles of gaseous OCPs. We considered three functions to describe the annual cycle: Gaussian, Lorentzian and sinusoidal functions. These functions accounted for 54~91% of the variability in concentration for each gaseous OCPs, and the sinusoidal function gave the best fits. It was seen that the gaseous OCPs concentration increased during the warmer weather while decreased during colder weather. The variation of the gaseous OCPs concentration was closely similar to the variations of ambient temperature. The annual cycle of endosulfan was strongly higher than in comparison with other gaseous OCPs, while for  $\gamma$ -HCH, the cycle was weakly high and did not show apparent seasonal variation. The position of the annual maximum exists generally late July to early August. The period that showed levels more than a half maximum was from late June to early September.

**Key words :** Gaseous organochlorine Pesticides (OCPs), variation pattern, annual cycle, ambient temperature

#### 서 론

유기염소계 살충제 (organochlorine pesticides, OCPs)는 환경 중에서 잔류성이 큰 지속성 유기화합물 (persistent organic compounds, POPs)로 우리

나라에서는 이미 30여 년 전에 제조와 사용이 금지 되었으나 아직 대기, 토양, 퇴적물 및 수계 등 환경매체에서 상당량이 검출되고 있다(정예표 등 2001; 최민규 등 2002a, b, d).

OCPs는 반휘발성 유기화합물 (semivolatile organic compounds, SOCs)로 대기 중에서 가스상과 입자상으로 존재하며 습식 (rain out과 wash out) 및 건식 침착에 의하여 식물잎, 토양, 수계 등 환경매체로 침착되고, 환경매체에 침착된 SOCs는 기온이

※ To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-31-670-5172, Fax: +82-31-672-6073  
E-mail: mychun@hknu.ac.kr

높을 때는 대기로 재취발되며 건식 및 습식 침착에 의하여 다시 환경매체로 침착되는 과정을 반복한다(Bidleman, 1988; Lee and Jones, 1999).

특정지역의 대기 중 SOC's 농도는 기온이 높을 때 토양, 나뭇잎, 수계 등의 환경매체에서 재취발되거나 오염된 지역으로부터 장거리 이동에 의하여 유입된다(Hallsal *et al.*, 1998; Hoff *et al.*, 1998; Lee and Jones, 1999; 최민규 등, 2002a, b, d). 대기중 SOC's 농도가 주로 기온에 의한 재취발의 영향을 받는지 아니면 오염된 공기의 유입에 의존하는지는 Clausius-Clapeyron 식에서 회귀직선의 기울기로 판정이 가능하다(Hallsal *et al.*, 1998; Hoff *et al.*, 1998; Lee and Jones, 1999; 최민규 등, 2002a). 그러나 Clausius-Clapeyron 식은 재취발에 의한 것인지 오염된 공기의 유입에 의한 것인지를 판단하는 경우에는 유용하지만 장기간 대기 중 SOC's의 농도 변화 패턴이나 최대 농도 지속시간 등에 관한 정보는 주지 못한다(Hoff *et al.*, 1992a, b, 1998; Cortes *et al.*, 1998, 2000; Hallsal *et al.*, 1998; Lee and Jones, 1999; 최민규 등, 2002a).

본 연구는 현재는 도농복합 지역이지만 과거에는 농촌지역으로 OCP's의 사용이 많았던 경기도 안성에서 2년간 OCP's 농도를 측정하고 이 자료를 Gaussian 함수, Lorentzian 함수 및 sinusoidal 함수로 해석하여 대기 중 가스상 OCP's의 농도변화 패턴을 계산하고 최대농도가 나타나는 기간과 지속시간 등에 대한 정보를 확보하여 OCP's의 대기 중에서의 거동을 이해하는데 필요한 기초적인 자료를 확보하는 것이 목적이다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료 채취

시료는 도농복합(semi-rural) 지역인 경기도 안성에 위치한 환경대학교 캠퍼스내 공과대학 4층 건물 옥상에서 2000년 6월부터 2002년 6월까지 1~3주 간격으로 총 78회 채취하였다. 시료는 PUF high volume sampler (General Metal Works Inc.)를 이용하여 약 48시간 동안 채취하였으며, 시료 채취 유량은 약 600~700 m<sup>3</sup>였다. Glass fiber filter (GFF)는 잔류하는 유기물을 제거하기 위해 450°C에서 12시간 이상 구운 후 사용하였으며, polyurethane

foam (PUF)은 Soxhlet에서 dichloromethane (DCM)으로 24시간 추출한 다음 감압건조기에서 완전히 건조시켜 유리병에 넣고 hexane으로 씻은 알루미늄 호일로 막고 밀봉하여 암실에서 사용할 때까지 보관하였다. 채취한 시료는 다시 유리병에 넣어 밀봉하여 아이스박스에 넣은 후 실험실로 옮겨 -20°C 냉동고에 분석 시까지 보관하였다. 기온 자료는 한경대학교 캠퍼스 내에 설치되어 있는 기상청 자료(auto weather system, AWS)를 이용하였다.

### 2. 시약

실험에 사용된 모든 용매는 잔류농약 분석용으로 사용하였다. 크로마토그래피용 실리카겔 (SiO<sub>2</sub>, 70~230 mesh ASTM, Merck사)과 수분제거용으로 사용된 입자상 무수황산나트륨 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Duksan Pure Chemical Co.)은 각각 350°C와 450°C에서 24시간 이상 구운 것을 사용하였다. 다른 유기물과 OCP's의 분리에 사용된 GPC (gel-permeation chromatography) 칼럼에는 bio bead (S-X3, 40~80 μm, BIO-RAD사)를 사용하였다.

OCP's 표준용액은 Supelco사에서 구매한 18가지의 TCL Pesticides Mix (Cat. No. 48913), α-chlordane (Cat. No. 48192), γ-chlordane (Cat. No. 48193) 및 trans-nonachlor (Cat. No. 48137)를 사용하여 혼합하여 사용하였으며, 회수율과 농도계산에 사용된 internal surrogate standard는 lindane-<sup>13</sup>C<sub>12</sub>, DDT-<sup>13</sup>C<sub>12</sub>, dieldrin-<sup>13</sup>C<sub>4</sub>, endosulfan-II-d<sub>4</sub> (Cambridge Isotope Laboratories, Inc.)를, recovery surrogate standard는 4,4-dibromo-octafluoro-biphenyl (Supelco)를 사용하였다. 또 모든 초자기구는 초순수로 세척하여 건조시킨 후 acetone, hexane 및 DCM으로 각각 3회 세척한 다음 사용하였다.

### 3. 추출 및 전처리

Soxhlet 추출장치는 hexane-DCM (9:1)으로 약 6시간 세척한 후 PUF를 soxhlet 추출장치에 넣고 internal surrogate standard를 spiking한 다음 hexane-DCM (9:1) 250 mL로 24시간 추출하였다. 실리카겔 컬럼은 실리카겔 3g을 컬럼 (직경 10 mm, 길이 300 mm)에 충전하고 상부에 무수황산나트륨 1g을 넣은 후 DCM 30 mL와 hexane 30 mL로 컬럼을 세정하고 시료를 주입하고 hexane 15 mL, hexane-

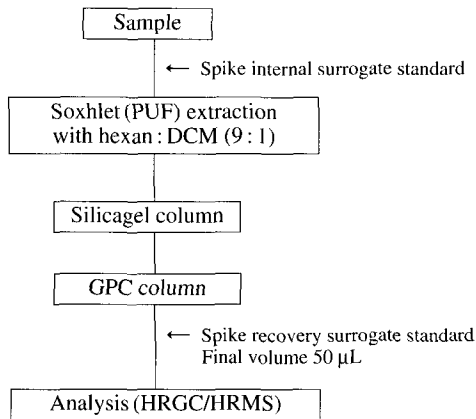


Fig. 1. Sample extraction and clean-up procedure for OCPs.

DCM (1 : 1) 11 mL, 그리고 DCM 15 mL로 용출하여 시료로 사용하였다. 시료 중 용매는 회전증발농축기에서 다시 약 1 mL까지 농축한 다음 bio-bead 12 g을 충전한 GPC 컬럼 (내경 20 mm, 길이 300 mm)에 시료를 주입하고 hexane-DCM (1 : 1) 140 mL로 용출하였는데 처음 34 mL는 버리고 나머지 용출액을 시료로 사용하였다. 이 용출액을 회전증발농축기에서 약 2 mL까지 농축한 다음 vial로 옮겨 keeper로서 도데칸(dodecane)과 recovery surrogate standard를 spiking하고 질소로 농축하여 최종 부피를 50 µL로 하여 HRGC/HRMS로 분석하였다. Fig. 1에 OCPs의 전처리 방법을 요약하여 나타내었다(최민규 등, 2002c, d).

4. 분석

시료는 HRGC/HRMS (Jeol JMS-700, Japan)로 분석하였으며 상세한 분석 조건은 아래 Table 1과 같다.

5. QA/QC

OCPs에 대한 HRGC/HRMS의 검출한계는 0.2 ~ 1.3 pg/µL이었으며 공시료 6개를 이용한 internal surrogate standard의 평균 회수율은 83.8% (75 ~ 102%, SD ± 8.2%)로 양호한 값을 보였다. 정량에 포함한 피크 크기는 노이즈 피크의 3배 이상인 것에 한하였다.

Table 1. The analytical conditions of HRGC/HRMS for OCPs

| HRGC/HRMS          | HP 6890 II/JMS-700  |
|--------------------|---|
| Column             | HP-5MS capillary column<br>5% diphenyl & 95% dimethylpolysiloxane<br>30 m × 0.25 mm × 0.25 µm   |
| Injection volume   | 1 µL (Split 10 : 1)   |
| Carrier gas        | Helium 1.0 mL/min   |
| Aux temp.          | 300°C   |
| Injector temp.     | 250°C   |
| Temp. program      | 150°C for 2 min., 30°C/min to 170°C,<br>4°C/min to 200°C for 5.5 min.,<br>4°C/min to 237°C, 70°C/min to 320°C,<br>320°C for 4.09 min. |
| Ionization mode    | EI  |
| Detection          | SIM   |
| Ionization voltage | 28 ~ 35 eV  |
| Accel. voltage     | 6 ~ 8 kV  |
| Resolution         | > 10,000 (10% valley)   |

결과 및 고찰

1. 기온과 농도간 상관성

Fig. 2는 시료채취 기간 중 기온과 가스상 OCPs 농도(Pa)의 변화 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 기온과 가스상 OCPs 농도변화 패턴은 비교적 잘 일치하고 있어서 기온이 높은 하절기에 대기 중 가스상 OCPs 농도가 높고 기온이 낮은 동절기에는 농도가 낮은 경향을 보였다. 그러나 γ-HCH와 p, p'-DDE의 농도변화는 기온변화와 같은 경향을 보였으나 값의 산포도(dispersion)는 다른 성분 에 비하여 더 컸다.

2. 대기중 가스상 OCPs 농도의 선형모델

시간에 따른 가스상 OCPs의 농도변화 패턴을 나타내는 간단한 선형 모델에는 Gaussian 함수, Lorentzian 함수 및 sinusoidal 함수가 있으며, 아래 식(1)은 Gaussian 함수를 나타낸 것이다.

$$\ln P = a_0 + a_1 \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t - \text{MOD} a_2 - a_3}{a_4} \right)^2 \right] \quad (1)$$

여기서 P는 가스상 OCPs의 대기 중에서의 분압

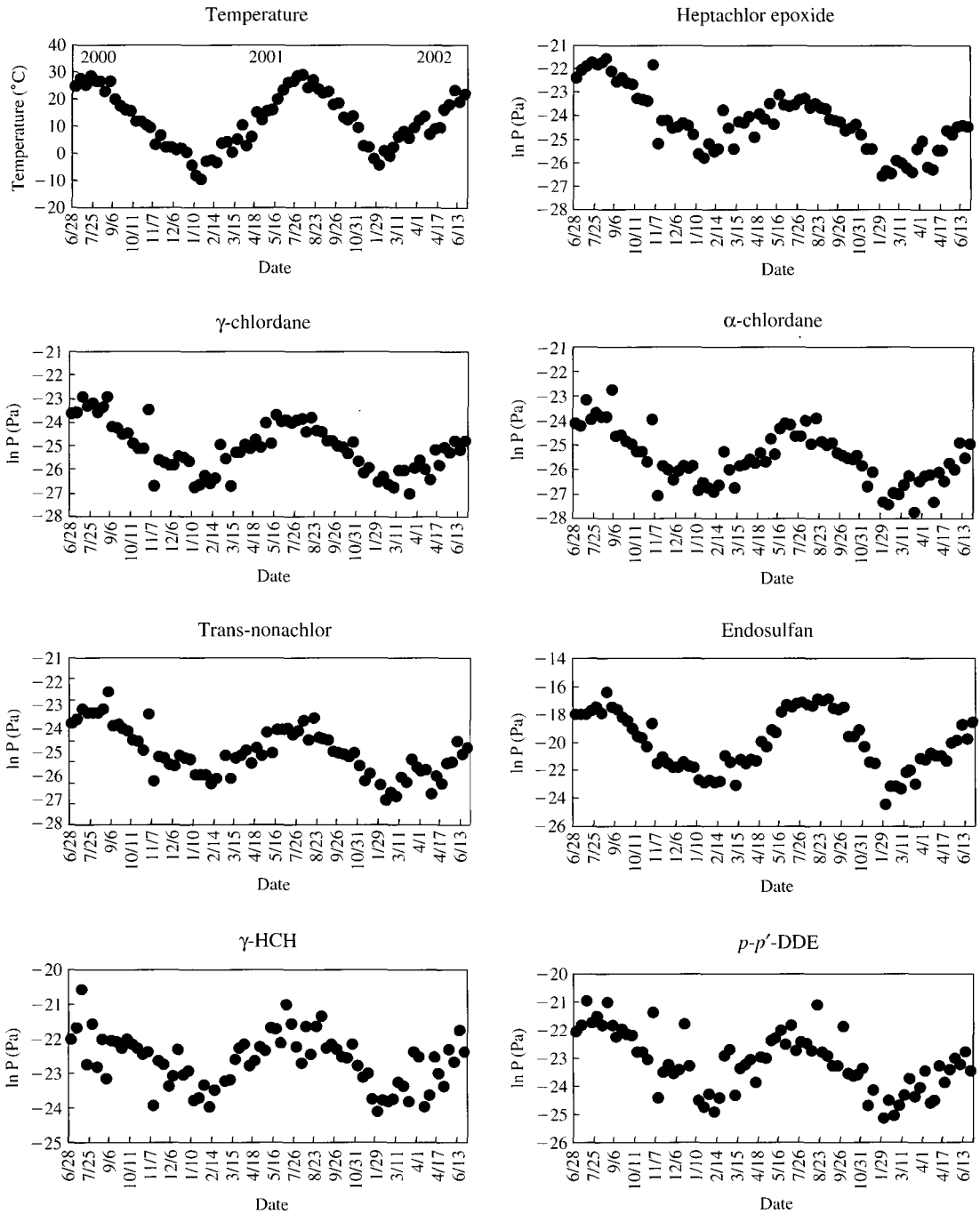


Fig. 2. Temperature and atmospheric concentrations of OCPs (ln P) from June 2000 to June 2002.

(Pa),  $a_0$ 는 상수,  $a_1$ 은 Gaussian 분포의 배출강도(최대농도/최소농도, amplitude),  $t_n$ 는 시료 채취시간 (rel-

ative Julian days),  $a_2$ 는 주기(days)로 365이다. 따라서  $tMODa_2$ 는 시료채취 기간을 주기인 365일로 나

**Table 2.** Estimated parameters and standard errors for model with Gaussian, Lorentzian, and sinusoidal function

|            | HEPX <sup>1)</sup> | γ-chlordane  | α-chlordane  | Trans-nona <sup>2)</sup> | Endosulfan  | γ-HCH        | p, p'-DDE    |              |
|------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Gaussian   | a <sub>0</sub>     | -25.63±0.32  | -26.40±0.26  | -26.67±0.21              | -26.75±0.23 | -23.23±0.34  | -24.03±0.56  | -24.79±0.59  |
|            | a <sub>1</sub>     | 2.89±0.33    | 2.69±0.25    | 2.60±0.22                | 2.72±0.25   | 6.05±0.33    | 2.15±0.53    | 2.72±0.56    |
|            | a <sub>3</sub>     | 222.98±6.09  | 206.49±4.24  | 210.51±4.41              | 215.77±4.78 | 212.79±2.34  | 206.34±6.15  | 213.09±6.33  |
|            | a <sub>4</sub>     | 71.63±11.06  | 72.30±8.81   | 65.05±7.65               | 65.57±8.19  | 79.05±5.27   | 100.86±24.01 | 92.36±19.92  |
|            | R <sup>2</sup>     | 0.589        | 0.714        | 0.701                    | 0.675       | 0.900        | 0.539        | 0.555        |
| Lorentzian | a <sub>0</sub>     | -26.40±0.58  | -27.13±0.46  | -27.29±0.37              | -27.37±0.40 | -25.24±0.67  | -25.16±1.23  | -25.77±1.04  |
|            | a <sub>1</sub>     | 3.72±0.53    | 3.48±0.42    | 3.30±0.35                | 3.42±0.37   | 8.12±0.62    | 3.28±1.18    | 3.74±0.98    |
|            | a <sub>3</sub>     | 223.09±6.17  | 207.21±4.33  | 211.04±4.45              | 216.49±4.79 | 213.68±2.46  | 206.28±6.28  | 213.56±6.44  |
|            | a <sub>4</sub>     | 100.26±23.66 | 101.26±18.75 | 87.77±16.25              | 87.28±16.87 | 117.86±12.11 | 171.10±58.15 | 139.52±41.50 |
|            | R <sup>2</sup>     | 0.588        | 0.714        | 0.700                    | 0.675       | 0.896        | 0.536        | 0.558        |
| Sinusoidal | a <sub>0</sub>     | -24.20±0.11  | -25.03±0.07  | -25.47±0.08              | -25.51±0.09 | -19.96±0.08  | -22.59±0.07  | -23.14±0.09  |
|            | a <sub>1</sub>     | 1.39±0.14    | 1.29±0.10    | 1.29±0.10                | 1.34±0.11   | 2.79±0.10    | 0.83±0.09    | 1.11±0.12    |
|            | a <sub>2</sub>     | 376.35±11.15 | 379.58±8.05  | 380.04±8.66              | 374.06±9.04 | 375.38±4.07  | 388.44±11.80 | 370.58±11.34 |
|            | a <sub>3</sub>     | 0.99±0.20    | 1.32±0.15    | 1.26±0.16                | 1.08±0.17   | 1.17±0.08    | 1.52±0.21    | 1.09±0.22    |
|            | R <sup>2</sup>     | 0.598        | 0.728        | 0.710                    | 0.677       | 0.912        | 0.562        | 0.550        |

<sup>1)</sup>heptachlor epoxide, <sup>2)</sup>trans-nonachlor

는 나머지 값이다. 예로 400일 동안 시료를 채취하였다면 t는 400이므로 400을 365로 나누면 몫이 1이고 나머지가 35가 되어 400MOD365의 값은 35이다. tMODa<sub>2</sub>는 relative Julian day로서 본 연구에서는 시료채취 기간이 약 2년(730일)이므로 시간을 환산할 때 필요하다. a<sub>3</sub>는 Gaussian 분포의 중앙값(days)으로 최대값을 갖는 기간을 의미하며, a<sub>4</sub>는 1/2 높이에서 분포의 폭(width, days) 즉, 최대농도의 1/2 이상의 농도를 갖는 기간이다.

식 (2)는 Lorentzian 함수로서 Gaussian 함수와 형태는 다르지만 파라미터들은 동일하다.

$$\ln P = a_0 + \frac{a_1}{1 + \left(\frac{t \text{MOD} a_2 - a_3}{a_4}\right)^2} \quad (2)$$

Sinusoidal 함수는 식 (3)으로 나타낸다.

$$\ln P = a_0 + a_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{a_2} + a_3\right) \quad (3)$$

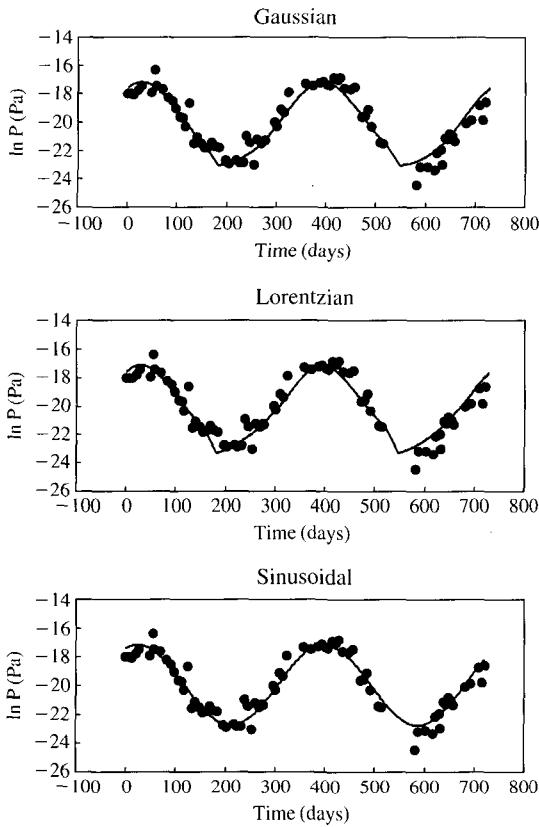
여기서, a<sub>1</sub>은 함수의 배출강도(amplitude), a<sub>2</sub>는 파장(wavelength, days), a<sub>3</sub>는 최대값을 갖는 기간이다. 상기 세 식의 매개변수(a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>3</sub> 및 a<sub>4</sub>)는 Sigma plot 7.0(SPSS Inc.)을 이용하여 계산하였다.

가스상 OCPs의 측정값을 상기의 세 함수에 적용하여 계산한 매개변수들을 Table 2에 나타내었으

며, Fig. 3은 endosulfan에 대한 실측농도(분압)와 세 함수로 계산한 결과를 나타낸 것이다. 이 때 기간은 시료채취를 개시한 2000년 6월 28일을 기점으로 하는 Julian day로 나타내었다.

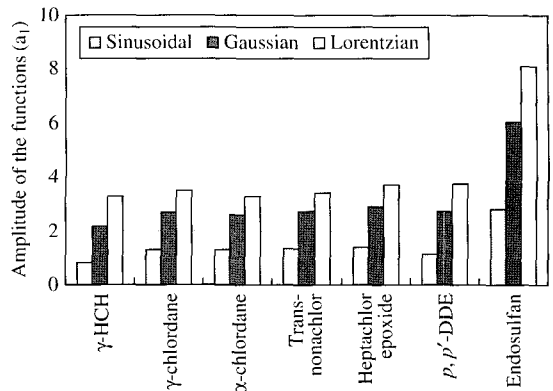
Table 2에서 보듯이, 이들 모델들의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 Gaussian 0.555~0.900, Lorentzian 0.558~0.896 및 sinusoidal 0.550~0.912로 실제 측정값들을 비교적 잘 설명하였다. 성분별 결정계수는 endosulfan이 0.896~0.912로 가장 잘 설명하였으며, p, p'-DDE가 0.550~0.558로 제일 낮은 설명도를 보였다. 또한 모델별 결정계수는 대체로 비슷한 수준이었지만, sinusoidal 함수를 이용한 모델이 다른 모델보다 약간 높았다. a<sub>1</sub>의 값은 각 성분들의 배출강도(최대농도/최소농도)를 의미하는데, Gaussian 함수 2.15~6.05, Lorentzian 함수 3.28~8.12 및 sinusoidal 0.83~2.79로 함수별로 다소 차이가 있었다. 그러나 Fig. 4에서 보듯이 성분별로는 유사한 패턴을 보였다. OCPs 중 endosulfan은 a<sub>1</sub>이 2.0~3.6배로 다른 성분에 비하여 가장 높은 배출강도를 보여 계절에 따른 농도변화가 큼을 알 수 있었다. 반면 γ-HCH는 가장 낮은 배출강도를 보여 계절별 농도변화가 상대적으로 적었다.

Sinusoidal 함수에서 a<sub>2</sub>는 주기를 나타내는데 371~388일로 이들 성분들이 약 1년을 주기로 농도변화를 하는 것을 알 수 있었다. Gaussian 함수와



**Fig. 3.** Endosulfan partial pressures and model results for equations containing the Gaussian (top), Lorentzian (mid), and sinusoidal function (bottom).

Lorentzian 함수에서  $a_3$ 는 함수가 최대값을 갖는 기간을 의미하며, 1월 1일을 기준으로 Gaussian 207 ~ 223일 및 Lorentzian 206 ~ 223일로 두 함수가 잘 일치하였는데 이것은 7월 25일 ~ 8월 11일경에 각 성분들의 최대농도가 나타남을 의미한다. 또한 최대농도의 1/2 이상의 농도를 나타내는 기간인  $a_4$ 의 값은 Gaussian 65 ~ 101일인 반면 Lorentzian 87 ~ 171일로 다소 차이를 보였다. 그러나 성분별 변화패턴은 매우 유사하였다. 이런 높은 농도를 보인 기간은 trans-nonachlor 6월 22일 ~ 9월 18일(Gaussian) 및 5월 31일 ~ 10월 10일(Lorentzian) 그리고  $\gamma$ -HCH 6월 4일 ~ 9월 14일(Gaussian) 및 4월 30일 ~ 10월 20일(Lorentzian)이었다. 가스상 OCPs는 짧게는 6월말부터 9월초까지, 그리고 길게는 5월부터 10월까지 높은 농도를 보였다. 정리하면 endo-



**Fig. 4.** The comparison of the amplitude ( $a_1$ ) of the sinusoidal, Gaussian, and Lorentzian functions.

sulfan은 대기 중 가장 높은 농도수준을 보이며 Fig. 3에서 보듯이 뚜렷한 계절변화를 나타내었다. 그리고 8월 1일 경에 최대농도를 보이며, 6월 22일 ~ 9월 10일(Gaussian)과 6월 3일 ~ 9월 29일(Lorentzian) 사이에 최대농도의 1/2 이상을 유지하였다. Endosulfan은 현재도 규제 하에 사용하고 있으며, 이 성분의 대기 중 농도는 농작물의 생육기간에 살포되었다는 것과 살포 후 토양, 식물잎 및 수계에 침착되어 있던 성분이 이들 환경매체로부터 대기 중으로 재휘발되어 대기 중 농도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단되는데 이러한 사실과 모델의 결과가 잘 일치하였다(최민규 등, 2000a, b, d).

반면  $\gamma$ -HCH는 대기 중에서 endosulfan 다음으로 높은 농도를 보였지만 계절별 농도 차이는 다른 성분에 비하여 크지 않았다. 또한 최대농도는 7월 25일 경에 나타나며, 최대농도의 1/2 이상을 유지하는 기간은 6월 4일 ~ 9월 14일(Gaussian)과 4월 30일 ~ 10월 20일(Lorentzian)으로 OCPs 중 가장 긴 기간을 나타내었다. HCHs는 다른 OCPs에 비해 전 세계적으로 가장 많이 사용되었으며, 우리나라에서도 금지된 OCPs중 가장 많이 사용된 성분이다(최민규 등, 2002a, b, d). 또한  $\gamma$ -HCH는 증기압이 매우 높아 기온이 높지 않는 조건하에서도 각종 환경매체로부터 대기 중으로 재휘발되며 환경중 반감기도 매우 길어 대기 중에 오랫동안 높은 농도를 보이는 것으로 추측된다(Mackay et al., 1997).

Fig. 5는 Gaussian 함수, Lorentzian 함수 및 sinusoidal 함수를 이용하여 가스상 OCPs의 농도변화

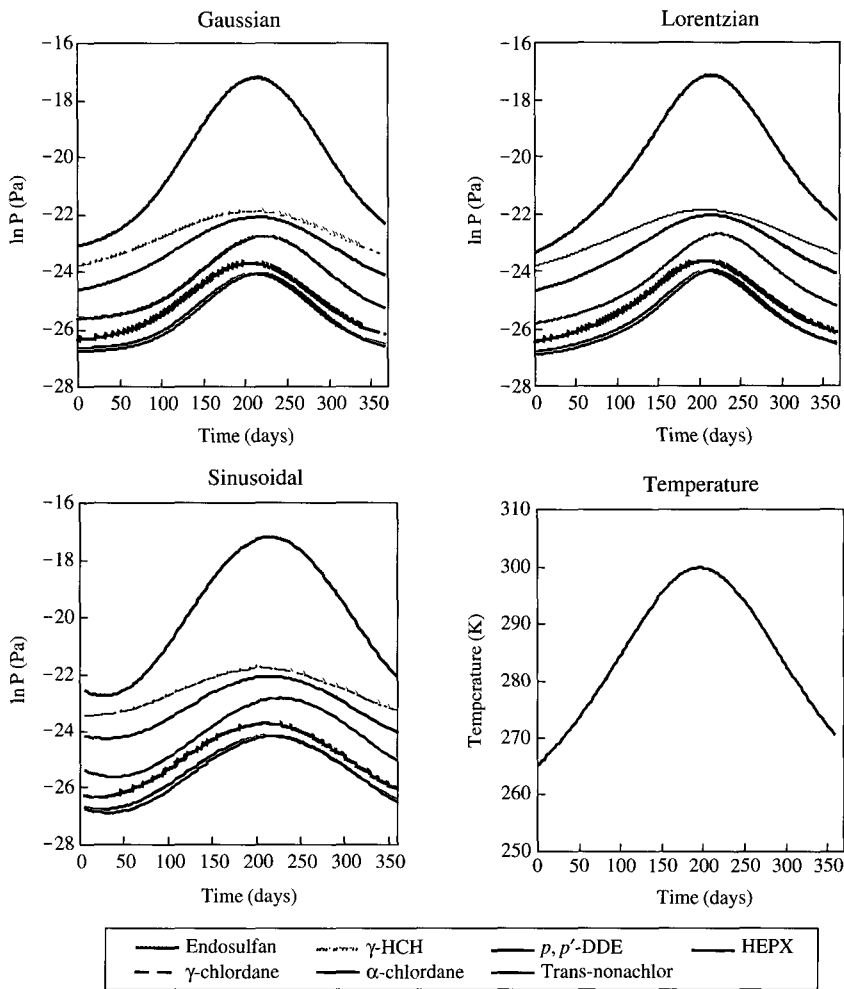


Fig. 5. Model results for equations containing the Gaussian, Lorentzian, and Sinusoidal functions and variation of temperature.

를 날짜별로 나타낸 것이다. 그림에서 Chlordane 계열의 성분들( $\alpha$ - $\gamma$ -chlordane, trans-nonachlor)은 유사한 농도패턴을 보였는데,  $\gamma$ -chlordane이 가장 먼저 서서히 증가가 시작되어 피크를 보이고, 다음으로  $\alpha$ -chlordane, trans-nonachlor 순으로 피크를 보였다. 그리고  $\gamma$ -chlordane이  $\alpha$ -chlordane 및 trans-nonachlor보다 대기 중 농도수준이 더 높으며, 더 긴 기간 동안 높은 농도를 보였다. Heptachlor epoxide와  $p, p'$ -DDE는 heptachlor와  $p, p'$ -DDT의 분해 산물로 chlordane 성분들보다 더 큰 배출강도를 보였고 최대농도가 늦게 나타났으며, 고농도를 유지하는 기간도 약간 더 길었다.

Gaussian, Lorentzian 및 sinusoidal 함수를 이용하여 각 가스상 OCPs의 성분별 농도변화 패턴에 관한 정보 즉, 배출강도(최대농도/최저농도), 최대농도와 최대농도가 지속되는 기간 등에 대한 정보를 얻을 수 있었다. 이러한 농도변화 패턴에 대한 연구는 다른 지속성 유기오염물질(persistent organic compounds, POPs)에 까지 연구를 확대할 수 있으며 이러한 자료는 SOCs의 환경중 거동에 대한 유용한 기초적인 지식을 제공하여 줄 것으로 판단된다. 이번 연구에서 강우가 대기 중 가스상 OCPs 농도에 미치는 영향에 대해서는 체계적인 분석을 시도하지는 않았다. 그러나 OCPs의 옥탄올·물 분배

계수( $\log K_{ow}$ )는 3.6~6.0이기 때문에 강우가 대기 중 가스상 OCPs 농도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되며, Figs. 1~4까지의 결과에서도 강우가 많은 하절기에 가스상 OCPs가 낮아지는 경우는 보이지 않아 사실을 뒷받침 하고 있다(Mackay, 1997).

## 결 론

2000년 6월부터 2002년 6월까지 약 2년 동안 PUF high volume sampler를 사용하여 대기 중 가스상 OCPs (heptachlor epoxide,  $\alpha/\gamma$ -chlordane, trans-nonachlor, endosulfan,  $\gamma$ -HCH 및  $p, p'$ -DDE)의 농도를 측정하였다.

Gaussian, Lorentzian 및 sinusoidal 함수를 이용하여 각 가스상 OCPs의 성분별 농도변화 패턴에 관한 정보를 분석한 결과 세 함수의 결정계수( $R^2$ )는 0.54~0.91로 비교적 높았으며, 다른 함수에 비하여 sinusoidal 함수의 결정계수가 약간 더 높았다. 가스상 OCPs 성분들의 농도변화 패턴은 온도변화와 매우 유사하여 여름에 높고 겨울에 낮았다. 특히 endosulfan은 다른 성분에 비하여 배출강도(최대농도/최저농도)가 가장 높아 계절별 농도변화가 가장 뚜렷하였으나  $\gamma$ -HCH는 가장 낮은 배출강도를 보여 다른 성분들에 비하여 농도의 계절변화가 적었다. 대기중 가스상 OCPs는 약 1년을 주기로 한 농도변화 패턴을 보였으며 7월 25일~8월 11일 경에 최대농도를 보였고 최대농도의 1/2이상의 농도를 나타내는 고농도 기간은 성분에 따라서 짧게는 6월 말부터 9월 초까지, 길게는 5월 부터 10월 까지였다.

## 참 고 문 헌

- 정예표, 최민규, 여현구, 천만영. 대기중 난분해성 유기염소계 농약의 계절별 농도변화, 한국환경농학회지 2001; 20(2): 79-85.
- 최민규, 여현구, 김태욱, 천만영, 선우영. 교외지역에서 대기 중 Hexachlorocyclohexane의 농도분포 및 온도의존성, 한국대기환경학회지 2002a; 18(3): 183-192.
- 최민규, 여현구, 천만영, 선우영. 도시 대기 중 유기염소계 살충제의 농도수준 및 배출 특성, 한국대기환경학회지 2002b; 18(4): 275-284.
- 최민규, 여현구, 김태욱, 천만영, 선우영. 대기 중 PCBs와 유기염소계 살충제의 정량을 위한 분석방법 개발, 한국대기환경학회지 2002c; 18(6): 475-485.
- 최민규, 여현구, 천만영, 김태욱, 선우영. 교외지역에서 대기 중 유기염소계 살충제의 농도분포, 대한환경공학회지 2002d; 24(6): 1091-1103.
- Bidleman TF. Atmospheric processes: Wet and dry deposition of organic particle partitioning, Environ. Sci. Technol., 1988; 22: 361-367.
- Cortes DR, Basu I, Sweet CW, Brice KA, Hoff RM and Hites RA. Temporal Trends in Gas-Phase Concentrations of Chlorinated Pesticides Measured at the Shores of the Great Lakes, Environ. Sci. Technol., 1998; 32(13): 1920-1927.
- Cortes DR and Hites RA. Detection of Statistically Significant Trends in Atmospheric Concentrations of Semivolatile Compounds, Environ. Sci. Technol., 2000; 34: 2826-2829.
- Halsall CJ, Bailey R, Stern GA, Barrie LA, Fellin P, Muir DCG, Rosenberg B, Rovinsky FYa, Kononov EYa and Pastukhov B. Multi-year observations of organohalogen pesticides in the Arctic atmosphere, Environmental Pollution, 1998; 102: 51-62.
- Hoff RM, Muir DCG and Grift NP. Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in Southern Ontario. 1. air concentration data, Environ. Sci. Technol., 1992a; 26(2): 266-275.
- Hoff RM, Muir DCG and Grift NP. Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in Southern Ontario. 2. air concentration data, Environ. Sci. Technol., 1992b; 26(2): 276-283.
- Hoff RM, Brice KA and Halsall CJ. Nonlinearity in the Slopes of Clausius-Clapeyron Plots for SVOCs, Environ. Sci. Technol., 1998; 32(12): 1793-1798.
- Lee GMR, Burnett V, Harner T and Jones CK. Short-term temperature-dependent air-surface exchange and atmospheric concentrations of polychlorinated naphthalenes and organochlorine pesticides, Environ. Sci. Technol., 2000; 34: 393-398.
- Mackay D, Shiu WY and Ma KC. Illustrated handbook of physical properties and environmental fate for organic chemical, V. pesticide chemicals, Lewis Publishers, 1997.