



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 污染物於多介質之傳輸模擬

### Simulation of Pollutant Transport in Multimedia

計畫編號：NSC 87-2211-E-032-003

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：陳俊成 淡江大學水資源及環境工程研究所

#### 一、中文摘要

過去對於空氣污染物的排放影響，注重污染物於大氣中擴散後評估其地面濃度的大小及分佈，但當考慮污染物的長期影響時，須瞭解污染物於排放後其最終於各種環境介質，如空氣、水體、土壤或生物體等之分佈情況，此乃評估污染物真正造成影響或為害的重要參考數據。本研究基於此需求，將建立一個可以模擬空氣污染物在排放後於空氣、水體、土壤及生物體之最終分佈情況的模式。模式建立考慮將空氣污染物最終分佈於六種介質，此六種介質包括空氣、水體、生物體、懸浮固體、土壤及底泥等。在加入適當的起始及邊界條件並應用數值方法，將可以模擬空氣污染物在排放後於空氣、水體、土壤及生物體、懸浮固體、土壤及底泥等六種介質之最終分佈情況。

本研究探討台北都會地區空氣污染物一苯、甲苯、乙苯及二甲苯(BTEX)於排放後，其於將各種介質的分佈。研究方法為以多介質模式污染傳輸模式，模擬台北都會區排放的BTEX(含點、線源)於空氣、水體、土壤、沈澱物、魚體及懸浮固體等介質在隨機下雨、不下雨情況之濃度分佈情形。本研究所得結果為：

污染物於各種介質中之分佈濃度大小次序除了乙苯於水體濃度 > 土壤濃度，苯於懸浮固體。

1. 濃度 > 魚體濃度外，其他污染物於介質中之分佈濃度大小次序均為：魚體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 土壤 > 水體 > 空氣。
2. 污染物於多介質之累積量大小為：空氣 > 土壤 > 水體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 魚體，與上述所求介質中累積之濃度大致相反。

3. 下雨與不下雨的模擬結果差異不大，下雨的情形只有對土壤的濃度有較大的提昇作用。
  4. 下較大的雨時只對土壤介質的濃度有提昇的作用，其他介質並不明顯。
  5. 污染物於各種介質中之分佈濃度大小次序除了乙苯於水體濃度 > 土壤濃度，苯於懸浮固體濃度 > 魚體濃度外，其他污染物於介質中之分佈濃度大小次序均為：魚體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 土壤 > 水體 > 空氣。
  6. 污染物於多介質之累積量大小為：空氣 > 土壤 > 水體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 魚體，與上述所求介質中累積之濃度大致相反。
  7. 下雨與不下雨的模擬結果差異不大，下雨的情形只有對土壤的濃度有較大的提昇作用。
  8. 下較大的雨時只對土壤介質的濃度有提昇的作用，其他介質並不明顯。
- 污染物停止排放後，各介質的濃度皆明顯下降，其中以空氣最顯著，水體及土壤次之。

**關鍵詞：揮發性有機物、多介質、污染傳輸模式**

#### Abstract

Threaten from air pollutants in the atmosphere was concerned in air pollution control community. However, some pollutants like volatile organic compounds, because of their characteristic of rapid movement, released to the air are distributed into various environmental compartments such as water, soil, biota, and vegetation through many media boundaries(e.g., air-water, water-biota, air-soil, soil-

## 計劃主持人自我評估表

計劃名稱： 污染物於多介質之傳輸模擬

**Simulation of Pollutant Transport in Multimedia**

計劃編號：NSC 87-2211-E-032-003

計劃主持人：陳俊成

執行機構：淡江大學水資源及環境工程研究所

### 完成的成果及創見：

本研究以空間多介質區劃模式 Spatial Multimedia Compartmental Model( SMCM Model)為藍本，發展污染物於流佈介質傳輸的數學模式作為分析工具。並藉由發展出的多介質傳輸模式，修改其各介質間的污染物傳輸關係函數，評估台北都會區之苯、甲苯、乙苯及二甲苯於多介質中之流佈，模擬台北都會區排放的BTEX(含點、線源)於空氣、水體、土壤、沈澱物、魚體及懸浮固體等介質在隨機下雨、不下雨情況之濃度分佈情形。

是否有未完成的項目〔說明未完成項〕

是 否

是否具有專利申請之項目〔說明可申請之項目〕

是 尚未成熟 否

是否有創新或改進之技術推介至產業界，並請列出可推介之廠商

可推介〔請說明之〕

尚須繼續研究〔請說明之〕

無

建議兩位您認為合適的評審人 (以供參考)

1. 成功大學環工所 張乃斌 教授
2. 台灣大學土木所 郭振泰 教授

vegetation), as the result of complex physical, chemical, and biological process. When human contact the pollutants in those media may cause chronic risk. In order to perform risk assessment about the VOC exposure, we must establish the multimedia transport model to predict the concentration distribution in those media.

This research mainly to establish and modify two multimedia pollutants transport models-SMCM model & Fugacity model. As the model was established, we used the model to predict the transport of Benzene, Toluene, Xylene and Ethylbenzene in the multimedia around Taipei metropolitan area. We also demonstrate the risk assessment

The simulation results are as follow:

- 1.Except for concentration of Ethylbenzene in the water is greater than that in the soil, concentration of Benzene in the S.S. is greater than that in the fish, other concentrations in the media are all: fish > sediment > S.S. > soil > water > air.
- 2.No matter what we use concentration in the SMCM or use fugacity in the Fugacity model to do mass balance, we have almost the same results.
- 3.After adding the dry and wet deposition of the particle, terminal deposition of the S.S., resuspension of the sediment in the original SMCM, we found that the most different is the S.S. concentration, other changes have little effect to the simulation of VOCs.
- 4.After replacing the original mass transfer coefficients with theoretical equations in the Fugacity model, we found that the differences of the order of simulation results are large.
- 5.The most different between SMCM & original Fugacity is mass transfer coefficients. After modifying them, both the simulation results have the same order.

Using the simulation results of the multimedia transport model to the multimedia exposure risk

assessment, we have the following results:

- 1.The inhalation risk of the Taipei megalopolitan is large which greater than the acceptable value of  $10^{-4} \sim 10^{-6}$ , the oral risk except for the Toluene is greater than the acceptable value, other VOCs are normal.
- 2.The priority controls of VOCs are Xylene and Toluene when we assess the inhalation & oral risk of the Taipei megalopolitan.

**Keywords:** Volatile Organic Carbon, Fate, Multimedia Transport.

## 二、緣由與目的

過去對於空氣污染物的排放影響，相當注重其於大氣中擴散後推估地面濃度的大小，但空氣污染物—尤其是揮發性有機物(VOCs)，在大氣中散佈出來後，由於其移動迅速的特性，並不會只停留在空氣中，仍會經由複雜的物理、化學、生物等過程，通過許多環境介質之邊界(如空氣—水、水—生物體，空氣—土壤、土壤—植物之邊界)散佈到水、土壤、生物體、植物等環境介質中，人體與污染物的接觸也是透過上述多種介質。故就暴露及風險評估之觀點考量，只推估單一介質之濃度分佈常是片面的，要真正評估污染物對人體之威脅風險，實需了解污染物於環境中之流佈情形及其最終宿命。

欲了解污染物於流佈介質之分佈情形，有兩種方法，方法一是直接使用量測數據，但目前許多監測數據並不完備，尤其 VOC 於各介質之濃度測值更是鳳毛麟角，若要測量出所有現在及未來發現的污染物於各種介質之濃度將是花費無數及曠日廢時，是故發展污染物於流佈介質傳輸的數學模式可為分析的有效工具，藉由發展出的多介質傳輸模式。本文以空間多介質區劃模式 SMCM Model(Mayer, 1988)為藍本，修改其各介質間的污染物傳輸關係函數，評估台北都會區之苯、甲苯、乙苯及二甲苯於多介質中之流佈。

## 三、研究方法

本研究目的為評估台北都會區污染物於多介質的流佈，使用模式為Cohen與Mayer發展之Spatial Multimedia Compartmental Model (SMCM)。SMCM模式架構見圖1所示，含空氣、水體、魚體、懸浮固體(視為混合均勻)、土壤及沈澱物(視為混合不均勻)等共六個介質，利用濃度來列質量守恆方程式，求解污染物於上述六個介質中的濃度分佈。由於SMCM模式中並無考慮懸浮微粒之乾、溼沉降、懸浮固體之終端沉降及沈澱物之再浮起，本研究修改SMCM模式之控制方程式，修改之處有：空氣相及土壤之邊界加入懸浮微粒之乾及溼沉降；懸浮固體加入來自空氣的懸浮微粒之乾及溼沉降、本身之終端沉降及自沈澱物之再浮起量；沈澱物加入自懸浮固體之沉降量及本身之再浮起量，圖1中粗黑線表模式中修改的部份。又SMCM模式中各介質間之污染物傳輸係數設為定值，本研究將之修改為隨介質界面條件改變之動態函數。

#### • 均勻介質的質量守恆方程式

SMCM模式假設污染物於各種環境介質為攪拌均勻混合，透過對每個環境介質做質量平衡形成模式架構。混合均勻介質的質量守恆方程式之通式為：

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = \sum_{j=1}^N (Q_{ji} C_j - Q_{ij} C_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^N A_{ij} K_{oij} (C_j^* - C_i) + R_i + S_i + \sum_{j=1}^N \Omega_{ij} \quad (1)$$

起始條件為： $C_i = C_i(0), at = 0$

式中： $V_i$ 為介質*i*的體積( $m^3$ )； $C_i$ 為介質*i*中污染物的濃度( $mole/m^3$ )； $N$ 為介質的總數目； $J$ 為不均勻介質的總數目； $Q_{ji}$ 為由相鄰介質*j*流入*i*的體積流率( $m^3/hr$ )； $A_{ij}$ 為介質*i*與*j*的接觸面積( $m^2$ )； $K_{oij}$ 為*i*與相鄰*j*介質間的總質傳係數-[屬*i*側介質]( $m/hr$ )； $C_{ij}^*$ 為介質*i*在與相鄰介質*j*平衡時之濃度( $mole/m^3$ )，等於 $H_{ij}C_j$ ； $R_i$ 為一階產生或衰減速率( $mole/hr$ )； $S_i$ 為排放源強度

( $mole/hr$ )； $\sum_{j=1}^N \Omega_{ij}$ 為額外介質之間的傳輸過程。

式左項表污染物於介質*i*中隨時間之累積量，右邊第(1)項表污染物進入介質*i*之淨對流率，第(2)

項表污染物藉由界面間的質傳進入或離開介質*i*的速率( $mole/hr$ )，第(3)項表化合物於介質*i*之產生或衰減速率，第(4)項為污染物於介質*i*之排放速率，第(5)項表介質*i*與相鄰*j*間額外的質傳過程，如：在空氣有一雨水沖刷、懸浮微粒乾沉降、在水體有一雨水沖刷、表面逕流，在懸浮固體有一再浮起、終端沉降、懸浮微粒乾沉降至懸浮固體，在沈澱物有一自懸浮微粒之終端沉降及本身之再浮起。

#### • 不均勻介質的質量守恆方程式

土壤及沈澱物視為不均勻的，土壤含三個相(空氣、水份、固體物)，沈澱物假設可忽略空氣含量，只含水及固體物兩相。

$$C_{xm} = \theta_{xs} C_{xs} + \theta_{xa} C_{xa} + \theta_{xw} C_{xw}$$

式中： $x$ 為土壤基質(sm)或沈澱物(sediment)； $\theta_{xs}$ 為土壤或沈澱物內之固體的體積分率； $\theta_{xa}$ 為土壤或沈澱物內之空氣的體積分率； $\theta_{xw}$ 為土壤或沈澱物內之水份的體積分率； $C_{xs}$ 為土壤或沈澱物之固體內的濃度； $C_{xa}$ 為土壤或沈澱物之空氣內的濃度； $C_{xw}$ 為土壤或沈澱物之水份內的濃度。

化合物在介質—土壤的質量守恆方程式(Mayer, 1988)：

$$\frac{\partial C_{sm}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D_{sm} \frac{\partial C_{sm}}{\partial z}) - V_{sm} \frac{\partial C_{sm}}{\partial z} - k_{sm} C_{sm} + S_{sm} \quad (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4)$$

式中： $C_{sm}$ 為土壤基質的整體濃度( $mole/m^3$ )； $D_{sm}$ 為土壤基質整體之有效擴散係數( $m^2/hr$ )； $V_{sm}$ 為土壤基質整體之有效入滲速度( $m/hr$ )； $k_{sm}$ 為一階反應(衰減)速率常數( $hr^{-1}$ )。

起始條件為：

$$C_{sm} = C_{sm}(0, z) \quad at \ t = 0$$

流通量邊界條件(flux boundary condition)為：  
at  $z = 0$

$$N = K_{oa, sm} (C_{sm} H_{as} - C_a) = D_{sm} \left( \frac{\partial C_{sm}}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} \quad (1) \quad (2)$$

式中： $N$ 為流通量(flux)( $\frac{mole}{hr \cdot m^2}$ )； $K_{oa, sm}$ 為空氣-土壤界面的總空氣相質傳係數( $m/hr$ )； $H_{as}$ 為空氣與土壤之分配係數； $D_{sm}$ 為有效之土壤基質擴

散係數( $m^2/hr$ )。

#### • 模式中特定之化學參數

模式中特定之化學參數，如分配係數、質傳係數、擴散係數，引用 Mayer 於 1988 年所整理之資料(Mayer, 1988)。

### 四. 結果與討論

本研究利用修改後之 SMCM 模式，模擬台北都會區排放之苯、甲苯、二甲苯及乙苯(含點、線源)，於多介質之濃度分佈情形。

原本之 SMCM 模式，本人嘗試修改之處為：空氣相及土壤之邊界加入懸浮微粒之乾及溼沉降；懸浮固體加入來自空氣的懸浮微粒之乾及溼沉降、水中懸浮固體之沉降及沈澱物之再浮起；沈澱物加入自懸浮固體之沉降量及本身之再浮起量。模擬結果有以下趨勢如表 1 所示。

1. 污染物的濃度分佈為除了乙苯於水體濃度 > 土壤濃度，苯於懸浮固體濃度 > 魚體濃度外，其他污染物於介質中之濃度均為：魚體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 土壤 > 水體 > 空氣 (參見圖 3 ~ 圖 5)。
2. 由於懸浮微粒較易被沖刷下來(懸浮微粒之雨水沖刷係數  $\Lambda_p$  約 200,000，有別於氣體之雨水沖刷係數  $\Lambda_g^*$  為 1)，在考慮懸浮微粒之影響後，空氣相的濃度幾乎不變，只有甲苯的空氣濃度稍微變小，這是由於懸浮微粒佔空氣相的量頗小( $8.67 \times 10^{-11}$ )，故模擬的苯、甲苯等 VOCs 吸附至懸浮微粒的量有限。
3. 土壤之邊界加入了懸浮微粒之乾及溼沉降，故濃度上升頗大。
4. 由於加入了懸浮微粒之乾、溼沉降，污染物傳至土壤之量增加，致使質傳至水體的量相對減少，故水體的濃度下降。
5. 水體之濃度下降，致使魚、懸浮固體、沈澱物之濃度跟著下降。
6. 下降最多的是懸浮固體的濃度，一方面是因水體的濃度下降，最大原因是因本人將模式中加入了懸浮固體之沉降，使其濃度大幅下降。
7. 沈澱物之濃度原本可能因加入了懸浮固體之沉降而上升，但模式中又額外考慮了沈澱物的

再浮起，再加上水體之濃度有下降，故整體而言沈澱物之濃度仍下降。

#### • 污染物於多介質之累積圖

苯於多介質之對流、傳輸、衰減及累積百分比如圖 2 所示，計算方法為利用污染物於穩定狀態時之濃度代入各介質之質量守恆方程式求得。

由圖 2 可知：

1. 苯於多介質之累積量大小為：空氣 > 土壤 > 水體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 魚體，與上節所求介質中累積之濃度大致相反，其原因為：介質之累積量大是導因於體積大(如空氣介質)，但求取介質之濃度時則會因體積大而使濃度變小。
2. 空氣污染物(VOC)之減少以化學反應之衰減最大，對流次之，故污染物於空氣相之半衰期對污染物之濃度分佈影響最大。
3. 由於各污染物之半衰期的大小為：土壤 > 水體 > 空氣，故污染物於介質之衰減速率為：空氣 > 水體 > 土壤。
4. 空氣之濃度雖大幅下降，但不至立即降為零，因介質間的驅動力(driving force)由空氣 → 土壤，空氣 → 水，變為土壤，水 → 空氣，而由於土壤之衰減最慢，一段長時間後，仍會揮發一些量至空氣中。
5. 在經一段長時間後，空氣、水、土壤的濃度皆會變得很小，沈澱物、魚及懸浮固體仍會殘存較大的量。

#### • 模擬結果與監測值之比較

為比較模式模擬值之數量級正確與否，我們找了僅有的空氣、水體及土壤之 VOCs 監測值與 SMCM 模擬出來的結果比較其數量級之差異，沈澱物、魚體及懸浮固體之 VOCs 含量監測資料仍無相關文獻、調查值可資比較。查得之監測資料與模擬值之比較如表 2 ~ 表 5 所示。由表中知：

1. 模擬出之整體空氣濃度除了苯之排放係數可能有高估，使其整體平均濃度是介於交通測站及一般測站之間外，其他污染物之濃度為小於一般測站濃度約二十幾個百分比，即台北都會區市民接觸 VOCs 之整體平均濃度約小於一般測站濃度的 25%，這結果應屬合理，因所設之

一般測站與交通測站，應屬較敏感之地區，濃度值應會較我們用模式求混合均勻、整體平均之濃度為大。

2. 只有苯在懸浮固體的濃度 > 魚體濃度，其他介質均為魚體的濃度最大，原因可能為苯的生物濃縮因子(BCF)較小，使得苯在魚體的濃度為所有介質濃度中第二大，至於其他污染物的生物濃縮因子(BCF)均較苯大上一倍以上，使得污染物在魚體內的濃度均為所有介質中最大的。
3. 污染物於介質中之濃度為：魚體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 土壤 > 水體 > 空氣。
4. 一般我們最關心的空氣介質之濃度反而是所有介質中最小的。
5. 我們一般常接觸之介質濃度為：魚體 > 土壤 > 水體 > 空氣。
6. 模擬之水體濃度小於監測值，這是因為我們並無考慮水體之污染源，只有考慮空氣污染源之貢獻。
7. 因吳先琪教授所測屏東地區為受污染地區，我們模擬之土壤濃度的數量級應遠小於屏東所測之值，不過要測得具代表性的土壤濃度誠屬不易。

## 五. 結論與建議

綜合本研究結果，可得以下結論：

1. 污染物的濃度分佈為除了乙苯於水體濃度 > 土壤濃度，苯於懸浮固體濃度 > 魚體濃度外，其他污染物於介質中之濃度均為：魚體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 土壤 > 水體 > 空氣。
2. 污染物於多介質之累積量大小為：空氣 > 土壤 > 水體 > 沈澱物 > 懸浮固體 > 魚體，與上述所求介質中累積之濃度大致相反。
3. 模擬出之整體空氣濃度除了苯之排放係數可能有高估，使其整體平均濃度是介於交通測站及一般測站之間外，其他污染物之濃度為小於一般測站濃度約二十幾個百分比，即台北都會區市民接觸 VOCs 之整體平均濃度約小於一般測站濃度的 25%，這結果應屬合理，因所設之一般測站與交通測站，應屬較敏感之地區，濃

度值應會較我們用模式求混合均勻、整體平均之濃度為大。

4. 修改之 SMCM 與原先之 SMCM 最大差異為懸浮固體，因原先之懸浮固體並未考慮終端沈降至沈澱物的量，其他針對空氣、土壤及沈澱物加入懸浮微粒之乾、溼沈降影響不是很大，因懸浮微粒佔空氣相頗少。

## 六. 參考文獻

1. 石再添，"台北市動態環境的綜合研究"，國家科學委員會研究計畫，NSC74-0202-M003-02，1987。
2. 程淑芬，"受揮發性有機物污染場址的危害性評估"，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文，1995。
3. 詹長權，"以管制燃料油品質來降低都會區大氣中濃度苯濃度之監測計畫"，行政院環境保護署計畫，EPA-82-E4F1-08-23，1993。
4. Chetty, S.L., "Multimedia Total Dose Analysis", Master Thesis, UCLA, 1991.
5. Clay, R. E., "Multimedia Partitioning of Particle-Bound Organics", Journal of Hazardous Materials, Vol. 37, pp. 507-526, 1994.
6. Clay, R.E., "Multimedia Environmental distribution of Gaseous Dissolved, and Particle-Bound Pollutants", Master Thesis, UCLA, 1992.
7. Cohen, Y., "Intermedia Pollutant Transport", Plenum Press, New York, 1989.
8. Cohen, Y., "Intermedia Transport Modeling in Multimedia Systems. Pollutants in a Multimedia Environment", Plenum Press, New York, 1986a.
9. Cohen, Y., "Organic Pollutant Transport", Environ. Sci. and Technol., Vol. 20, No. 6, pp. 538-544, 1986b.
10. Cohen, Y., "Pollutants in a Multimedia Environment", Plenum Press, New York, 1986c.
11. Cohen, Y., Tsai, W., Mayer, G., and S. Chetty, "Dynamic Partitioning of Organic Chemicals in Regional Environments: A Multimedia Screening-Level Modeling Approach", Environ. Sci. and

Technol., Vol. 24, No. 10, pp. 1549-1558, 1990.

12. Factor Information Retrieval (Fire) System, Version 5.1, User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency, September 1995.

13. Howard, Philip H., "Handbook of Environmental Degradation rates", Lewis Publishers, Inc., 1991.

14. Mayer, G.J., "The Spatial Multimedia Compartmental Model: A User-Friendly, Screening Level Pollutant Distribution Model", Master Thesis, UCLA, 1988.

15. Schnoor, J.L., "Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

表 1 SMCM 模式模擬達穩定狀況各介質中濃度值之比較

濃度 / 污染物	達穩定狀態時之濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	空氣	水體	土壤	沈澱物	魚體	懸浮物
• 苯	35.08	141.1	183.3	420.8	733.7	774.1
甲苯	71.21	267.0	1742.4	2769.1	2856.5	1983.9
二甲苯	22.35	75.01	118.4	1943.7	2847.6	624.7
乙苯	9.31	23.26	22.72	595.62	872.35	193.2

表 2 SMCM 模擬苯於各介質中濃度與監測值比較 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		35.1	14~75 (一般測站~交通測站)
水體		141.1	347~5806
土壤		183.3	9000
沈澱物		420.8	NA
魚體		733.7	NA
懸浮物		774.1	NA

表 3 SMCM 模擬甲苯於各介質中濃度與監測值比較 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		71.2	99~358 (一般測站~交通測站)
水體		267.0	259~889
土壤		1742.4	51000
沈澱物		2769.1	NA
魚體		2856.5	NA
懸浮物		1983.9	NA

表 4 SMCM 模擬二甲苯於各介質中濃度與監測值比較 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Technol., Vol. 24, No. 10, pp. 1549-1558, 1990.

12. Factor Information Retrieval (Fire) System, Version 5.1, User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency, September 1995.

13. Howard, Philip H., "Handbook of Environmental Degradation rates", Lewis Publishers, Inc., 1991.

14. Mayer, G.J., "The Spatial Multimedia Compartmental Model: A User-Friendly, Screening Level Pollutant Distribution Model", Master Thesis, UCLA, 1988.

15. Schnoor, J.L., "Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

表 1 SMCM 模式模擬達穩定狀況各介質中濃度值之比較

濃度 / 污染物	達穩定狀態時之濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	空氣	水體	土壤	沈澱物	魚體	懸浮物
• 苯	35.08	141.1	183.3	420.8	733.7	774.1
甲苯	71.21	267.0	1742.4	2769.1	2856.5	1983.9
二甲苯	22.35	75.01	118.4	1943.7	2847.6	624.7
乙苯	9.31	23.26	22.72	595.62	872.35	193.2

表 2 SMCM 模擬苯於各介質中濃度與監測值比較 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		35.1	14~75 (一般測站~交通測站)
水體		141.1	347~5806
土壤		183.3	9000
沈澱物		420.8	NA
魚體		733.7	NA
懸浮物		774.1	NA

表 3 SMCM 模擬甲苯於各介質中濃度與監測值比較 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		71.2	99~358 (一般測站~交通測站)
水體		267.0	259~889
土壤		1742.4	51000
沈澱物		2769.1	NA
魚體		2856.5	NA
懸浮物		1983.9	NA



表 4 SMCM 模擬二甲苯於各介質中濃度與監測值比較( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		22.4	28~88 (一般測站~交通測站)
水體		75.0	971~2987
土壤		118.4	26000
沈澱物		1943.7	NA
魚體		2847.6	NA
懸浮物		624.7	NA

表 5 SMCM 模擬乙苯於各介質中濃度與監測值比較( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

介質	模式	SMCM 估計值( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	監測值( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
空氣		9.3	12~36 (一般測站~交通測站)
水體		23.3	NA
土壤		22.7	12000
沈澱物		595.6	NA
魚體		872.4	NA
懸浮物		193.2	NA

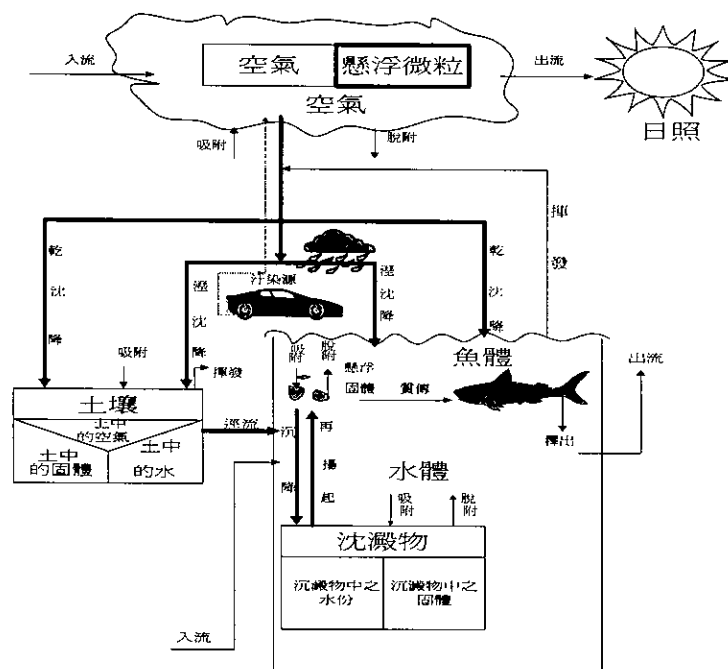


圖 1 SMCM 模式架構(粗黑線代表修改的部份)

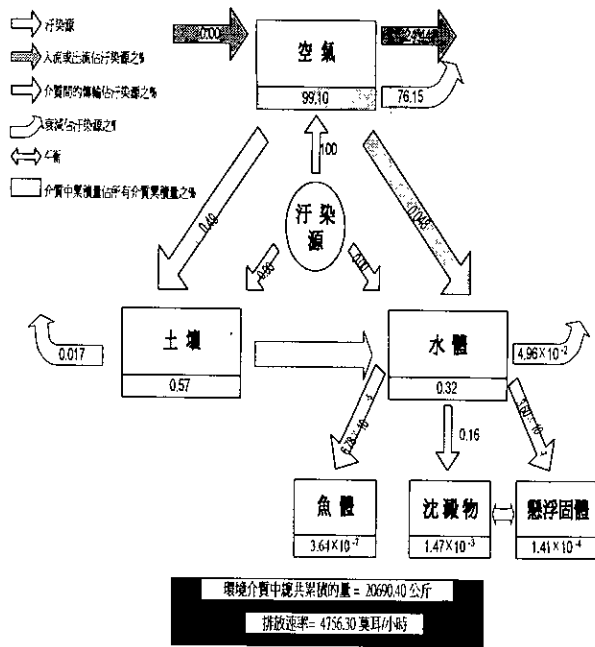


圖 2 苯之多介質濃度分佈圖

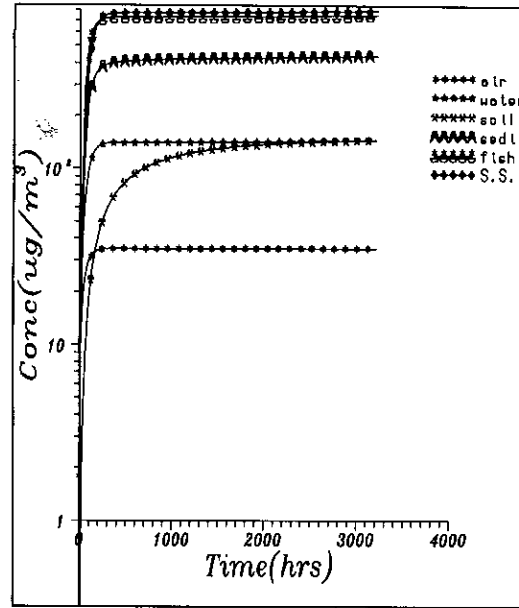


圖 4 苯在無下雨情況下，各介質之濃度變化情形

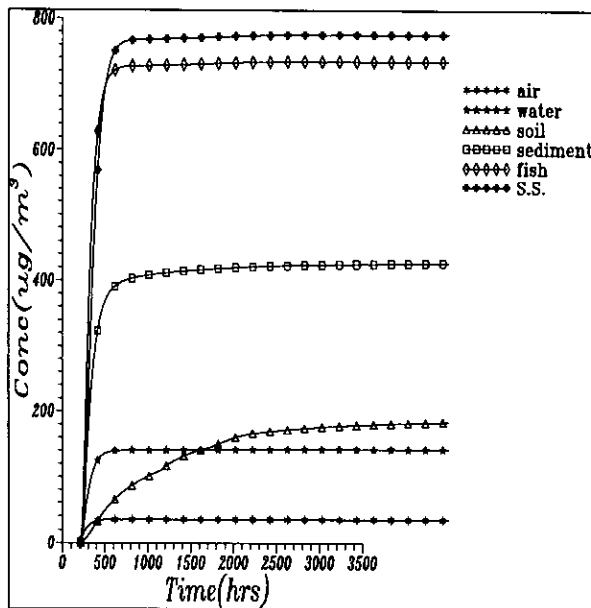


圖 3 苯在隨機下雨的狀況隨時間之變化情形

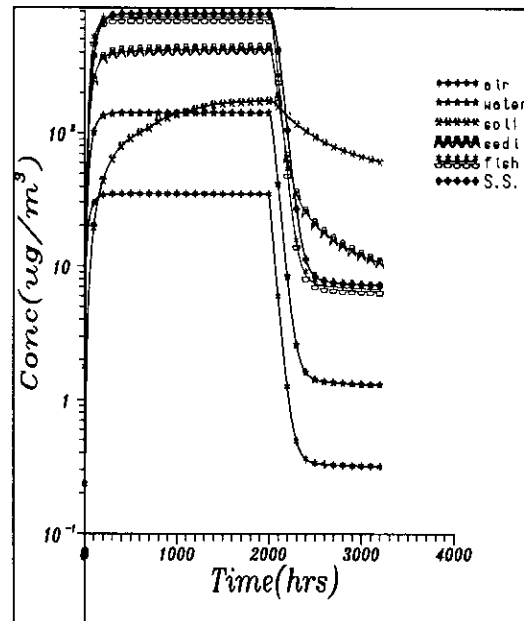


圖 5 苯在第 2000 小時停止排放，各介質之濃度變化情形