

# 通風空間中氣體濃度動態不確定性之模糊法描述

## A Fuzzy Model to Describe Uncertainties of Gas Concentration Dynamics in a Ventilated Airspace

台灣大學農業工程學系碩士

鄭 偉 聰

Wei-Jsong Jeng

台灣大學農業工程學系副教授

廖 中 明

Chung-Min Liao

### 摘要

實際通風空間中，氣體濃度動態受許多外界因素干擾，而干擾因素之內延（質）及外延（量）性質，並無法確切反映出。因此，僅在現有物理概念下運用。本文利用模糊理論可表達不明確度及主客觀現象間過渡性質的特點。將影響通風空間之可能因素視為模糊影響集輸入，並進行量化並模擬濃度動態不確定性，借以預估濃度動態受干擾之各種行為，如氣體混合比及氣體濃度動態變化等。模式以一通風空間中二氧化碳氣體動態行為做參考比較，考慮之模糊歸屬度合成為溫差、濕差、及空氣交換率三者。模式模擬結果能展現真實二氧化碳濃度不確定行為。結果並顯現模糊動態訊息中具有的渾沌現象。

關鍵詞：氣體濃度動態，模糊理論，不確定性，渾沌。

### ABSTRACT

The dynamic behavior of gas concentrations in a ventilated airspace is usually interfered with other factors such as air exchange rate and moisture/temperature differences between internal and external. The above noted mechanisms exist the ambiguity in general physical concepts and lack crispness between intensive (i.e., quality) and extensive (i.e., quantity) properties. A fuzzy set theory therefore is used adequately to describe the uncertainties of gas concentration dynamics in a ventilated airspace. The fuzzy theory has the characteristics in describing the transition between objective and subjective. The input disturbed factors can be seen as fuzzy influenced events to quantify and simulate the uncertainties of gas concentration dynamics. As a result, the disturbed behavior can be predicted. Thus, a fuzzy model considered temperature/moisture differences and air exchange rate as a fuzzy membership composition is applied to simulate the dynamics of carbon dioxide concentration in a ventilated airspace. Results obtained from this study are found compare favorably with that from the uncertainties of actual gas dynamics behavior. The chaotic phenomena in fuzzy dynamics are also shown.

Keywords: Gas concentration dynamics, Fuzzy theory, Uncertainty, Chaos.

## 一、前　　言

近來在農業密閉設施中，通風空間中的氣體環境控制逐漸受到重視。不論是栽培溫室或畜舍，其中各種氣體之影響，如 CO<sub>2</sub> 對溫室作物生長及發育影響 (Mastelerz, 1977; Saffell 及 Mattewa, 1983; Langhans, 1990); CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S 氣體等對家畜產量及品質的影響 (Hellickson & Walker, 1983; Albright, 1990; Maghirang et al., 1991) 均有詳細的研究。而一般農業密閉設施之氣體濃度控制，通常採用通風換氣的方式來達到標準。所以，了解通風空間中氣體濃度的行為及模式為設施環境控制重要之一環。

有關氣體濃度行為及模式的研究，大多是由決定性分析法 (Deterministic) 導出之物理模式；有實際現場偵側法 (Maghirang et al., 1991; Choi et al., 1988; Feddes et al., 1984)，因次分析法 (Ikeguchi et al., 1992) 和數學模式推估法。在數學模式推估法中較有效的有年齡分佈函數 (廖, 1991)，團塊參數法 (Liao & Feddes, 1990; 1992; 廖, 1992b)，及隨機團塊參數法 (廖, 1992a)。前人數學模式研究的重點在於描述空間氣體污染值之平均值。雖然，隨機團塊參數法可提供氣體濃度均值本身具有的隨機性 (Randomness)。但是，只考慮不確定干擾為系統內部變數受理想噪音過程影響，統計上的理想隨機描述並無法看出每一系統內部變數受干擾後整體之不確定性影響。針對環控過程中通風空間流量之高靈敏度 (廖, 1992a)，設施內外溫差之影響所造成之 Coanda 效應現象 (Albright, 1990)，及設施內外溫度差變動之影響 (Robbin et al., 1982) 等概念推論通風空間氣體污染值之不確定行為，模糊理論 (Fuzzy theory) 可提供適當的處理。

模糊理論由 Zadeh 氏 (1965) 提出，是一種能將概念定義上的模糊性利用模糊集合給予定量表達之理論。其利用歸屬函數 (Membership function) 可表達非決定性之『程度級』，而有別於傳統二值邏輯『真』與『否』之觀念拓展。以往歐、美、中、日的研究應用主要在人工智慧，模式識別，決策與控制工程方面，而有關農業的研究如水資源規劃、農業生態統計聚類、及農業環控等才在近年逐漸開發 (張, 1993；謝及陳, 1993)。

本文將『溫度高，濕度差高，通風空間交換率大』、『溫差中，濕度差中，通風空間交換率低』等不明確之概念，用模糊集合予以量化並將模糊推論規則當作運算而與隨機過程 (stochastic process) 相結合。由各項命題推論通風空間中氣體濃度動態之不確定行為。並以通風空間中二氧化碳氣體動態行為為例之推論結果與描述通風空間中二氧化碳氣體濃度實驗量測之干擾現象作一比較。

一般在嚴格物理定義下，想要確切地描述氣體濃度動態行為事實上並不容易而且可能辦不到。以往問題的研究方向注重於忽略氣體濃度動態不確定性而將問題簡單化。原因在於不確定性問題本質上是無法單由任一數學或物理分析可得。所以適當的描述不確定性實能對複雜事物分析提供較精確之處理和低代價傳輸訊息。

模糊理論在處理不確定度上具有較機率寬鬆的數學手法，於是便以模糊理論的觀念探討。本文目的如下：

(一) 模擬氣體濃度動態不確定性受假設因素干擾後的行為。

(二) 從模擬氣體濃度動態中探究通風空間中氣體混合比氣體濃度歷程關係。

(三) 氣體濃度受干擾後之分佈範圍與訊息以供工程設計判斷。

## 二、模式結構

### (一) 模糊模式推演

一般通風空間中氣體濃度動態方程式可由下式表示 (Liao et al., 1991)：

$$\dot{C}(t) = f(\{C(t)\}, t) \dots \dots \dots \quad (1)$$

其中：{C(t)} 為時間 t 之氣體濃度向量 (ppm)。

此假設氣體濃度動態是一個確定性的模式過程。且並無不確定之輸入參數影響系統。基於此，重新假設方程式(1)為一模糊模式。模式之假設及定義如下：

1. 影響氣體濃度不確定之事件構成一模糊測度空間。
2. 系統不確定性影響 (action) 屬性為模糊事件。
3. 模糊事件之概率能遵守模糊貝氏規則 (Fuzzy

-Bayes rule)。

由上述定義，可先找出系統中幾個不確定性影響屬性  $A_1, B_1, C_1, \dots$  等，其歸屬性函數可視觀測環境與氣體種類自行規定。屬性輸入值不再是一個「單一明確值」，而是模糊集。若將整個通風空間想像為一模糊動態團塊，而在影響氣體團塊動態屬性方面則以(1)通風量對通風空間比( $e = Q/V$ )，即空氣交換率，(2)內外空間溫度差( $\Delta T$ )，及(3)內外空間濕度差( $\Delta m$ )，為影響動態團塊之模糊事件(圖 1c)。在模糊動態團塊轉換之瞬間濃度動態，可假想係各屬性因子隨機模糊合成(stochastic fuzzy composition)之影響。

以往在一般氣體布朗運動(Brownian motion)隨機過程描述中當以白噪音(White noise)過程來代表布朗運動對時間的導數(圖 2a)。事實上氣體布朗運動雖是連續的，但並非可微的(differentiable)，因它存在扭結點(Kinks)(圖 2b)。基於以上觀點，假設布朗運動之隨機行為在瞬間( $\Delta t$ )內必定存在一個相對極大(maximum)及極小值(minimum)，這可由微積分中的大小定律(maximum-minimum)來瞭解。當 $\Delta t \rightarrow dt$ 時假設受干擾之隨機行為若非由小因子主宰就是由大因子主宰(圖 2c)，所以各模糊事件合成以採用『大小合成』與『小大合成』兩種。

### (二) 氣體動態模糊概率

於列出對氣體動態不確定性有關之屬性(Attributes)項目後，將各屬性項目視為模糊事件(Fuzzy event)。氣體動態不確定性之模糊概率則假設由類似波阿松(Poisson)分佈推導所得之函數模擬(Hinds, 1982)。

假設在  $t$  到  $t + \Delta t$  的時間間隔內濃度動態  $C_n$  到  $C_{n+1}$  的或然率取於空氣交換率( $e$ )，內外空間溫度差( $\Delta T$ )，內外空間濕度差( $\Delta m$ )及時間的合成，即，

$$\text{Prob}(C_n \rightarrow C_{n+1}, \Delta t) = k \cdot \Delta T \cdot \Delta m \cdot \Delta t \cdot e \quad (2)$$

其中， $k$ ：常數， $\Delta T$ ：溫度差歸屬度， $\Delta m$ ：濕度差歸屬度， $e$ ：通風量對通風空間比(空氣交換率)歸屬度，及 $\Delta t$ ：時差。

$C_n$  瞬點之濃度動態概率於是可表為：

$$\text{Prob}(C_n, t + \Delta t) = \text{Prob}(C_{n+1}, t + \Delta t) (K \cdot \Delta m \cdot e \cdot \Delta t \cdot \Delta T) + \text{Prob}(C_n, t) (1 - K \cdot \Delta m \cdot e \cdot \Delta t \cdot \Delta T) \quad (3)$$

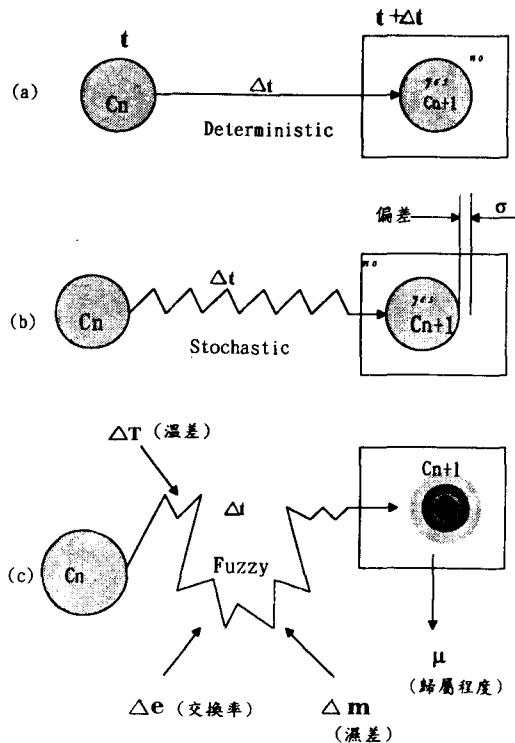


圖 1. 不同理論氣體濃度動態比較：

- (a) 不考慮隨機之決定性濃度值，
- (b) 考慮統計上理想隨機性濃度值，
- (c) 考慮可能性干擾之非決定性濃度值。

令 $\Delta t \rightarrow 0$  則，

$$\frac{\partial \text{Prob}(C_n, t)}{\partial t} = [\text{Prob}(C_{n+1}, t + \Delta t) - \text{Prob}(C_n, t)] \\ (K \cdot \Delta m \cdot e \cdot \Delta T \cdot \Delta t) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

如果假設濃度動態  $C_n$  在時間為零時受各模糊參數因子影響的可能性為 1(即明確之意義)，而時間為零時下一個濃度動態可能性為零的話，即，

$$\text{Prob}(C_0, 0) = 1, \text{Prob}(C_n, 0) = 0 \quad \text{當 } n \geq 1$$

則方程式(4)之解析可用下式表示：

$$\text{Prob}(C_n, t) = \exp(-At) (At)^{C_n} / T(C_n + 1) \quad \text{當 } n \neq 0 \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

其中： $A = K \cdot \Delta m \cdot e \cdot \Delta T$ ， $T$  則為 Gamma 函數。

方程式(5)說明通風空間中濃度動態概率為一類似馬可夫過程(Markov process)的模糊因子合成，即濃度動態之影響可能性僅取決與前一動態

間之關係。

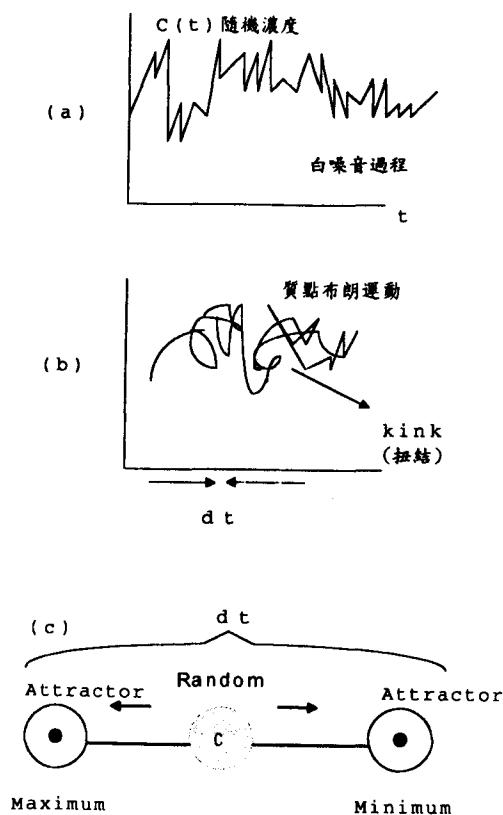


圖 2. 模糊隨機動態想像圖。

$C_n$  瞬點位置之濃度動態之不明確度則以資訊論中 Shannon Function 進行量化。Shannon Function 可表達一個事件的熵度(Entropy)，且具有以下的性質(Cover 及 Thomas，1991)：(a) $S(P) = -P \cdot \log(P) - (1-P) \cdot \log(1-P)$ ，(b)當  $P \rightarrow 0$  或  $P \rightarrow 1$ ， $S(P)$  愈小，表示事件較明確，及(c)當  $P \rightarrow 1/2$ ， $S(P)$  愈大，也就是說「不明確」性愈大。

$C_n$  瞬點位置之濃度動態之不明確度便可表示為：

$$H(P) = -\text{Prob}(C_n, t) \cdot \log\{\text{Prob}(C_n, t)\} - (1 - \text{Prob}(C_n, t)) \cdot \log\{1 - \text{Prob}(C_n, t)\} \quad (6)$$

因此，模式之不明確度  $E(A)$  便以下式表示(Cover 及 Thomas，1991)：

$$E(A) = H(P)/H(P)_{\text{MAX}} \quad (7)$$

### (二) 模糊系統方程式

根據物理系統決定性分析法推導，通風空間中氣體濃度動態方程可由質量平衡導出如下(Liao

et al., 1991)：

$$\dot{\{C(t)\}} = -[A]\{C(t)\} + [R]\{C_s(t)\} + [V]^{-1}\{S(t)\} \quad (8)$$

其中，

$\{C(t)\}$  = 氣體濃度時間函數向量。

$[Q]$  = 系統流量矩陣。

$[V]$  = 系統體積矩陣。

$[Q_s]$  = 供給流量對角矩陣。

$\{C_s(t)\}$  = 供給流量濃度向量。

$\{S(t)\}$  = 濃度產生源向量。

$[A] = [V]^{-1}[Q] =$  系統狀態矩陣。

$[R] = [V]^{-1}[Q_s] =$  常數矩陣。

假設濃度動態為受時間及不確定性參數變數影響之函數，則依照 Zadeh 氏之定律(1973)便可將團塊參數氣體動態模式表示成：

$$\begin{aligned} \dot{\{C(\lambda, t)\}} &= -[A]\{C(\lambda, t)\} + \underbrace{[B]\{Cs(\lambda, t)\}}_{(1)} \\ &+ \underbrace{[V]^{-1}[S]}_{(2)} \end{aligned} \quad (9)$$

方程式(9)右邊之(1)部份可視為受干擾而有不確定性之輸入，而(2)部份則視為可控制之明確輸入。如果不確定性參數  $\lambda$  之分佈為

$$\int_0^1 dp(\lambda) = 1 \quad \text{且} \quad \int_0^1 d\lambda = 1$$

則濃度之均值模糊解析解便可求出：

$$\begin{aligned} <\{C(\lambda, t)\}> &= e^{-\lambda t} \{C(\lambda, 0)\} + \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} \left( \frac{[S]}{[V]} \right) \\ &dt + \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} [B] \{Cs(\lambda, \tau)\} d\tau \times d\lambda \\ &= e^{-\lambda t} \{C(\lambda, 0)\} + \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} \left( \frac{[S]}{[V]} \right) d\tau \\ &\quad (a) \\ &+ \frac{1}{2} \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} [B] \{Cs\} d\tau \\ &\quad (b) \end{aligned}$$

方程式(10)右邊之(a)項為代表均值的非模糊部份(NonFuzzy Part)，而(b)項為代表均值的模糊部份(Fuzzy Part)，其中：

$$\{Cs(\lambda, t)\} \equiv \lambda \cdot \{Cs\}.$$

經由上述之假設及推導，氣體濃度動態在  $dt$  時間內受各模糊因子事件影響所造成的不確定機率分布為一波阿松分布。於是，單位通風空間瞬時濃度可視為一基於不確定參數  $\lambda$  和  $dt$  之波阿松

布影響之隨機濃度。戶外濃度輸入不確定度分佈則可視作基於常態分佈隨機濃度 (Dieck,1976)。並利用查普曼－柯爾莫哥洛夫方程 (Chapman-Kolmogoroveqation) 中濃度粒子在時刻  $t + \tau$  位於點 X 處的概率係由所有可能地從位置  $X + \Delta$  "推移"  $\Delta$  的概率乘上在時刻 t 位於  $X + \Delta$  處之概率後求和而得之觀念 (Cover 及 Thomas,1991)。因此在動態方程

(8)式中假設：

$$C(\lambda, t) \triangleq Err_1(t) \cdot C(t) \dots \dots \dots \quad (11)$$

$$Cs(\lambda, t) \triangleq Cs(\lambda, t)_{err} \dots \dots \dots \quad (12)$$

則氣體動態方程可重新表示為：

$$\{C(t)\} = (1 + Err_1)[-[A]\{C(t)\}] + [V] - 1 \{S\}_{err} + [B]\{Cs(t)\}_{err}$$

$Err_1$  = Random [Poisson Distribution ( $\lambda \cdot \Delta t$ )],

$Cs(t)_{err}$  = Random [Normal Distribution ( $m, \sigma$ )],

$S_{err}$  = Random [Normal Distribution ( $m', \sigma'$ )],  $\quad (13)$

其中，

Random[x]：以 x 分佈產生之亂數函數，

$Err_1$ ：團塊濃度真值因參數產生之誤差，

$Cs(t)_{err}$ ：戶外隨機輸入濃度，

$\lambda$ ：模糊合成歸屬度，

$\Delta t$ ：單位時間，

$m$ ：戶外濃度樣本均值，

$\sigma$ ：戶外濃度樣本標準差，

$m'$ ：室內濃度樣本均值，

$\sigma'$ ：室內濃度樣本標準差。

### 三、模式應用

#### (一) 歸屬函數

通常模糊集合在給定某種特性後，就必須建立反映此特性所具備的程度函數，本文主要採用形式如下。

(1) 空氣交換率 (e)：根據 Tamura 氏 (1975) 研究指出通風變動可高達平均值之 60 % 來看，交換率 (e) 對氣體濃度不確定度歸屬函數可使用如以下之型式表示：

$$\mu(X) = \begin{cases} 1 & 0 \leq X \leq a \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} (X - \frac{a+b}{2}) & a \leq X \leq b \\ 0 & b \leq X \end{cases} \quad (14)$$

根據 Randall 氏及 Battom 氏 (1979) 對通風流量與氣流穩定之研究，參數 b 值可定於 9 ~ 10，而 a

值定於 0 ~ 2。

(2) 溫差 ( $\Delta T$ )：由於內外空氣溫差會造成堆積效應 (Stack effect) 引起熱浮力現象而形成氣流不穩定 (Randall 及 Battoms,1979)，由 Randall 氏及 Battom 氏研究指出，戶內外溫差形成氣流型態不穩定之範圍在 5 °C ~ 20 °C。於是用  $\sin^2(x)$  函數來表示， $\sin^2(x)$  函數定義如下：

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & X \leq a \\ \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x-a}{b-a}\right) & a \leq X \leq b \\ 1 & X \geq d \end{cases} \quad (15)$$

(3) 濕差 ( $\Delta m$ )：由於濕度差對氣體動態不確定研究尚缺，不過於濕差會影響氣體之密度來看濕差對氣體動態不確定性會有關係。歸屬函數取以下之型式 (Randall 及 Battoms,1979)：

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & , 0 \leq X \leq b \\ a(x-b)^k & , b \leq X \leq b + \frac{1}{\sqrt{a}} \\ 1 & , b + \frac{1}{\sqrt{a}} \leq X \end{cases} \quad (16)$$

其中 a, b, 及 k 值等常數視情況而定。

真實氣流混合並非完全混合，不過基於計算上之簡化大部份的模式均將非完全混合情況忽略而假設為完全混合型態再乘以一 30 % ~ 40 % 補償係數來修正未完全混合帶或短路現象所產生的考慮。一般混合因子 (k) 之定義如下：k = (有效氣體交換) / (實際氣體交換)。而一階線性濃度動態方程解析解，

$$C(t) = Cs(1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) + S/Q + C(0)e^{-\frac{Q}{V}t} - S/Qe^{-\frac{Q}{V}t} \quad (17)$$

乃表示一完全混合之假設。

於是將利用追蹤氣體實驗之對數線性迴歸所得之混合比關係： $\ln\{(C-C_i)/(C_0-C_i)\} = -kQt/V$  (Barler 及 Qgiliver,1984)，與方程式 (17) 重新整理可得下式：

$$K = \frac{\ln\left(\frac{C'(t)-Cs-S/Q}{C(0)-Cs-S/Q}\right)}{-\frac{Q}{V}t} \quad (18)$$

其中：  $C'(t)$ ， $Cs(t)$ ，及  $S'$  分別代表模糊模式中之模糊濃度，戶外模糊濃度輸入，及室內濃度產生源。k 值大於 1 表示通風空間中氣體完全混合，k 值小於 1 則表示非發生短路循環 (Short circuiting) 及紊流離散，氣體並未完全混合，於農

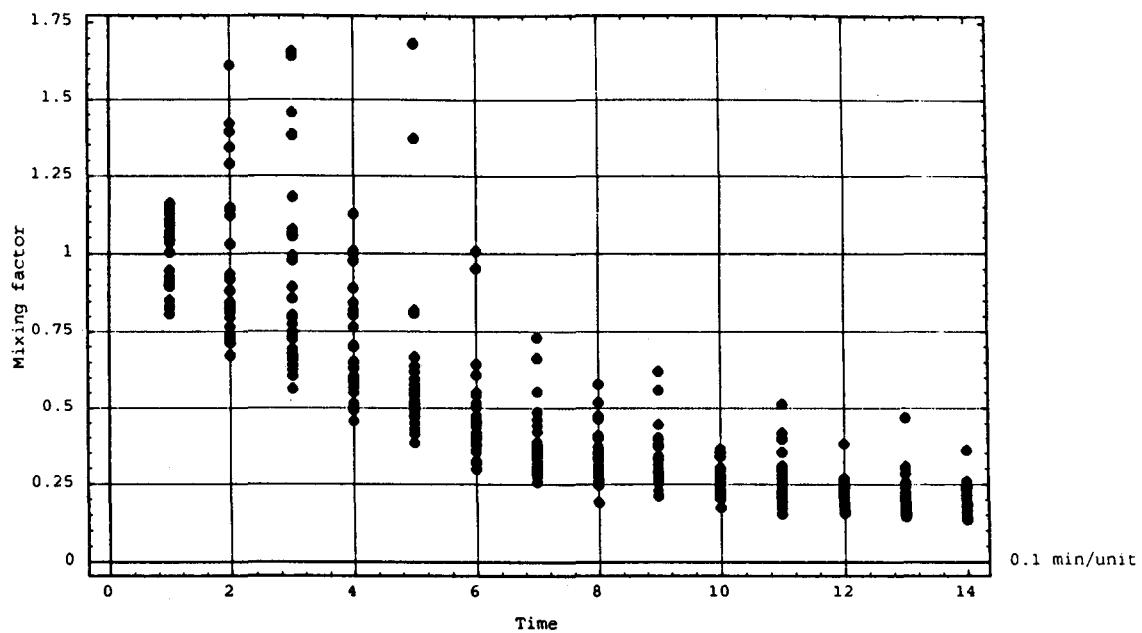


圖 3. 空氣交換率大( $= 10.5$ )，戶內外溫差小( $< 5^{\circ}\text{C}$ )，  
駐留時間短(步級時間 = 0.1min)之混合比與時間關係。

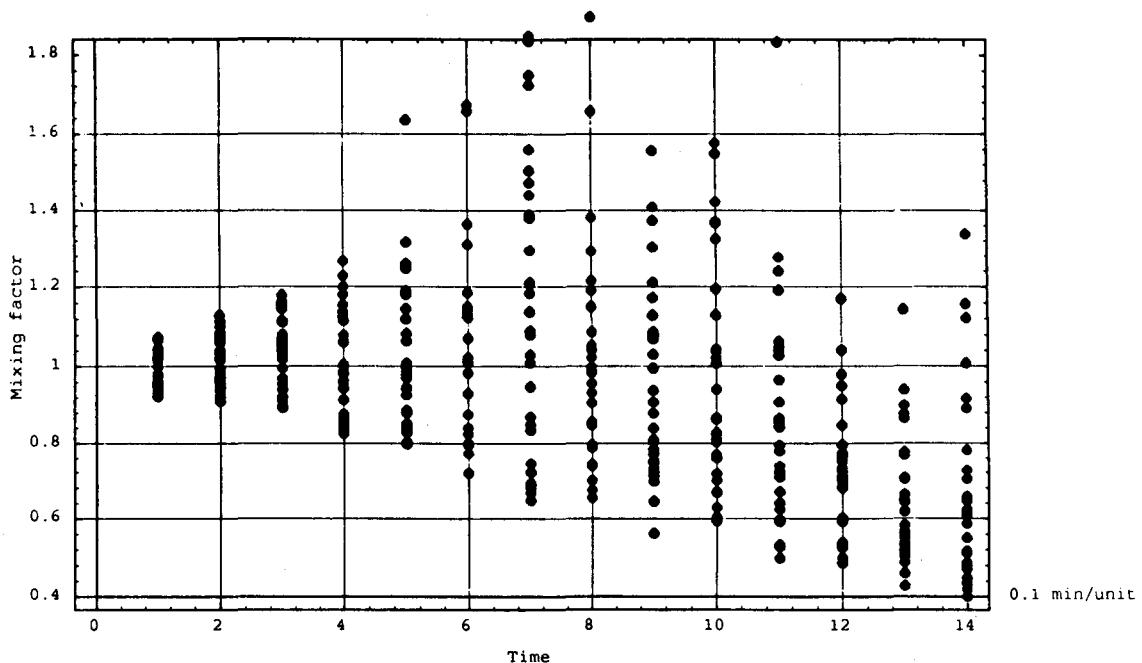


圖 4. 空氣交換率小( $= 5$ )，戶內外溫差小( $> 15^{\circ}\text{C}$ )，  
駐留時間短(步級時間 = 0.1min)之混合比與時間關係。

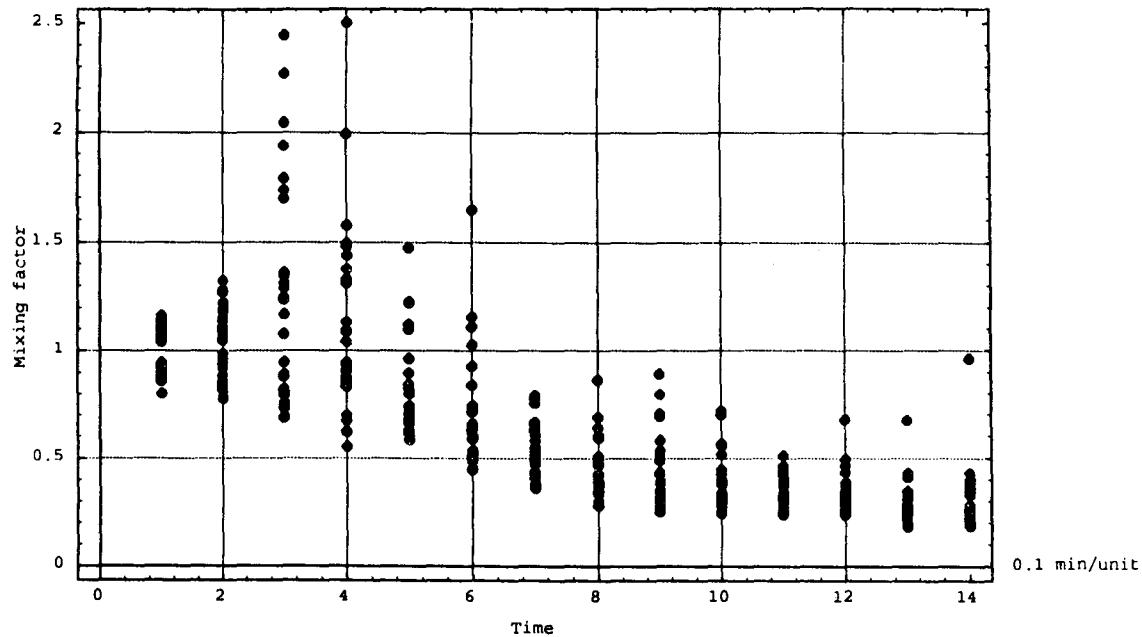


圖 5. 空氣交換率中 ( $= 7.5$ )，戶內外溫差小 ( $>15^{\circ}\text{C}$ )，駐留時間短 (步級時間 = 0.1min) 之混合比與時間關係。

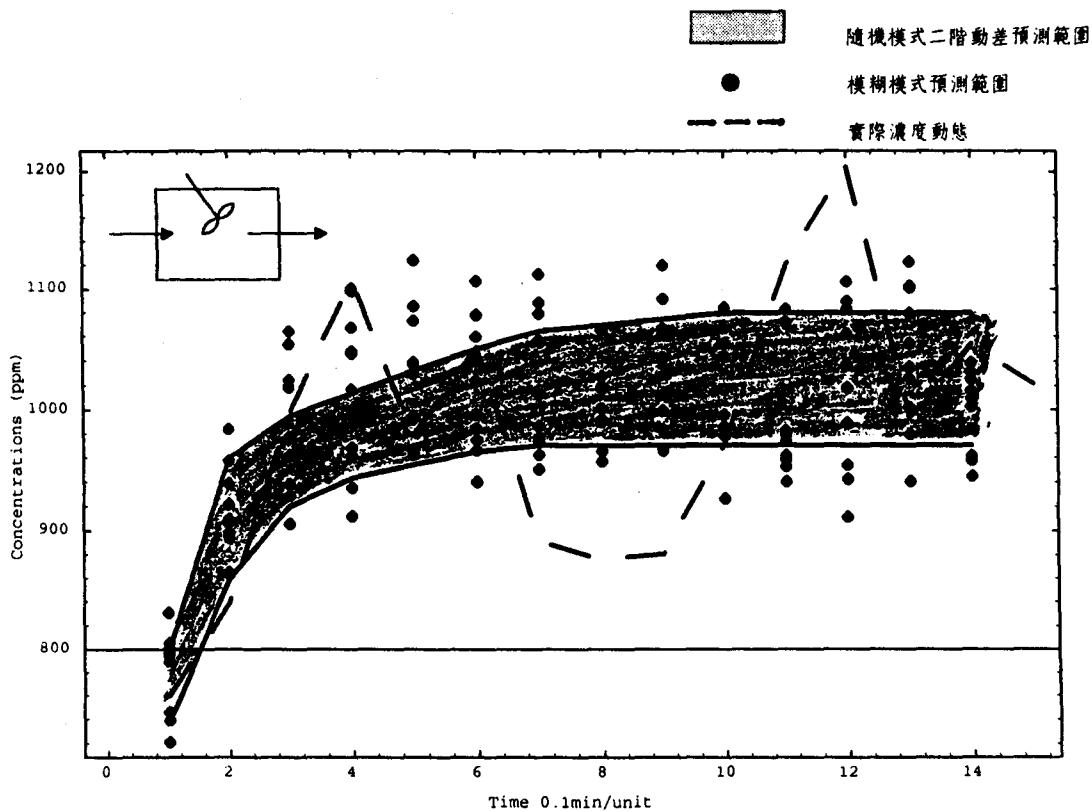


圖 6. 氣體濃度動態比較圖 (單團塊)。

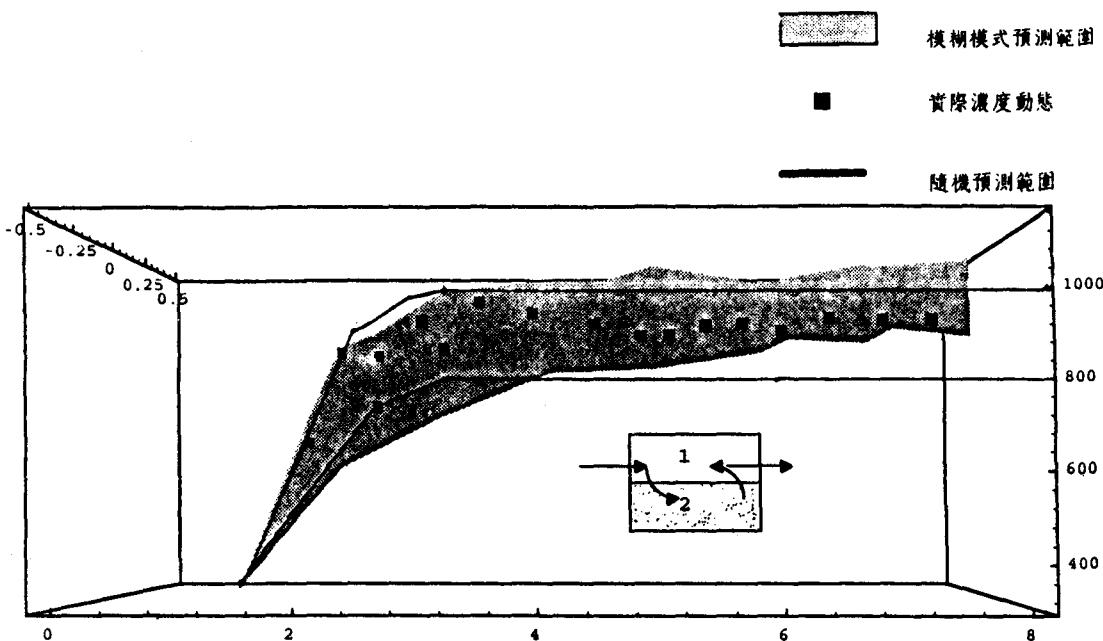


圖 7. 氣體濃度動態比較圖(團塊二)。

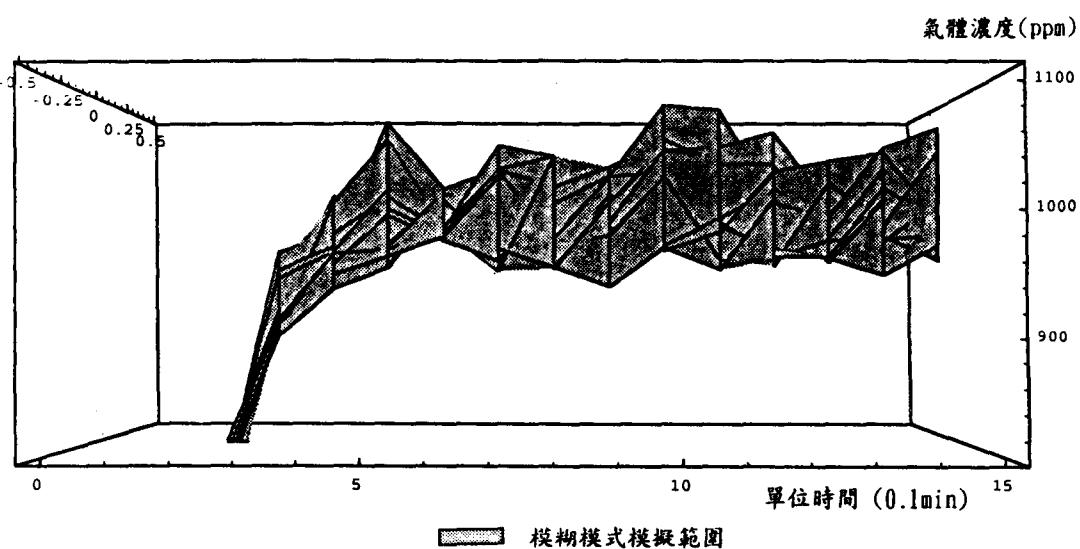


圖 8a. 空氣交換率大( $>10.5$ )，戶內外溫濕差大  
( $\Delta T > 15^{\circ}\text{C}$   $\Delta m > 70\%$ )，駐留時間短(步級時間 = 0.1min)  
之氣體濃度時間動態。

業設施中的混合比取 0.3 ~ 0.7 為較適合之範，(Albright,1990)。現以三種狀況進行模擬，輸入之模糊向量為對應方程式(14)、(15)、及(16)直觀給予的先設可能分佈集合，輸出結果示於圖 3 ~ 圖 7。

- (1)交換率大 ( $Q/V=10.5$ )，戶內外溫差小 (5 °C 內) 輸入模糊向量：{0.1, 0.2}  $\Delta_T$ , {0.2, 0.3}  $\Delta_m$ ,  $\Delta t=0.1\text{min}$  (圖 3)
- (2)交換率小 ( $Q/V=5$ )，戶內外溫差大 (15 °C 以上) 輸入模糊向量：{0.85, 0.9}  $\Delta_T$ , {0.9, 1}  $\Delta_m$ ,  $\Delta t=0.1\text{min}$  (圖 4)。
- (3)交換率中 ( $Q/V=7.5$ )，戶內外溫差大 (15 °C 以上) 輸入模糊向量：{0.9, 1}  $\Delta_T$ , {0.5, 0.6}  $\Delta_m$ ,  $\Delta t=0.1\text{min}$  (圖 5)。

表 1. 隨機模式演算之環境參數值

項 目	平 均 值	標 準 偏 差
體 積	$1.35\text{m}^3$	0.0
二 氧 化 碳 產 生 源	$9940\text{ ppm/m}^3$	$12.8\text{ ppm/m}^3$
戶 外 二 氧 化 碳 濃 度	315 ppm	12.8 ppm
通 風 率	$14.18\text{ m}^3/\text{min}$	$0.43\text{ m}^3/\text{min}$
飛 揚 比	3.13	0.0

#### (一)濃度動態之不確定行爲

採用廖(1992a)對隨機團塊參數模式所做驗証實驗之環境參數值(表 1)為系統輸入。模糊模式不確定干擾輸入集暫以兩個影響『小的』向量輸入，模擬單位時間均以 0.1 分鐘為準。而『小的』向量則為任意給予之 {0.1, 0.2}，及 {0.2, 0.3} 兩模糊集。其值係表示歸屬於不確定干擾的程度。此兩模糊集可視為室內溫差小與濕差小狀況，在此不考慮空氣交換率干擾向量輸入。模擬結果與隨機團塊參數模式預測值作比較其結果示於圖 6 ~ 圖 9。今藉以五種輸入模擬濃度在時間上之動態變化情形並將每次模擬後之氣濃度動態變化情形利用立體投影平面顯示。

- (1)  $Q = 14.18\text{ m}^3/\text{min}$ , {0.8, 0.8, 0.9}  $\Delta_T$ , {0.8, 1.1}  $\Delta_m$   
模擬次數 = 10,  $\Delta t = 0.1\text{min}$  (圖 8a)
- (2)  $Q = 14.18\text{ m}^3/\text{min}$ , {0.2, 0.2, 0.3}  $\Delta_T$ , {0.2, 0.2, 0.2}  $\Delta_m$   
模擬次數 = 10,  $\Delta t = 0.1\text{min}$  (圖 8b)
- (3)  $Q = 14.18\text{ m}^3/\text{min}$ , {0.2, 0.2, 0.3}  $\Delta_T$ , {0.7, 0.8, 0.9}  $\Delta_m$   
模擬次數 = 10,  $\Delta t = 0.1\text{min}$  (圖 8c)

c )

- (4)  $Q = 14.18\text{ m}^3/\text{min}$ , {0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7}  $\Delta_m$ , {0.6, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9}  $\Delta_T$ , 模擬次數 = 10,  $\Delta t = 0.1\text{min}$  (圖 8d)
- (5)  $Q = 14.18\text{ m}^3/\text{min}$ , {0.2, 0.3, 0.3, 0.8, 0.8, 0.9}  $\Delta_m$ , {0.1, 0.15, 0.2, 0.8, 0.9}  $\Delta_T$ , 模擬次數 = 10,  $\Delta t = 0.1\text{min}$  (圖 8e)

模糊模式氣體輸出值並非一決定值(圖 9)。

本文利用模糊熵歸化後表示氣體濃度動態受干擾時之模糊訊息，模糊值愈小表示受干擾之行為愈確定，且於物理狀態上趨於不穩定。茲取上述中條件之一：空氣交換率大 ( $e=10.5$ )，及  $\Delta T > 15$  °C，進行模擬並將結果示於圖 10 ~ 圖 12。圖 11 為圖 10 模擬 100 次之結果，圖 12 則為圖 10 模擬步走時差值 ( $\Delta t$ ) 之兩倍。

模式模擬計算乃採用高階程式語言「Mathematica」套裝軟體撰寫，並於 487PC 上執行。

## 四、結果與討論

#### (一)氣體濃度動態部份

1. 圖 6 及圖 7 顯示本模式在預測現象比隨機模式更進一步逼近氣體濃度在時間變化的動態。當 CO<sub>2</sub> 氣體濃度在 0.4min 上升和於 0.8 min 下降，及 1.2min ~ 1.4min 之趨勢非常吻合；表示本模式在單一團塊模式中已能對時間穩定性提供合理的描述。
2. 圖 8a 符合隨機雙團塊模式中第二個團塊實驗值所出現之行為，均於 1min 後趨向穩定，且說明團塊二之氣體濃度駐留時間比團塊一較長之物理現象。故本模式可與團塊參數分析結合利用其團塊駐留時間進一步探究氣體濃度動態行為。
3. 圖 8d 與 8e 模擬之意義則是顯示當干擾為接近脈衝形式時，則氣體濃度之不穩定出現於 0.9min 前部。若干擾屬漸升形式時，則氣體濃度之不穩定出現於 0.9min 後部。

#### (二)氣體混合比部份

1. 圖 3 ~ 圖 5 看出當通風時間到達 0.6min 時氣體混和比幾乎小於 0.6，說明通風系統可能趨於短路循環及產生紊流離散之現象。是

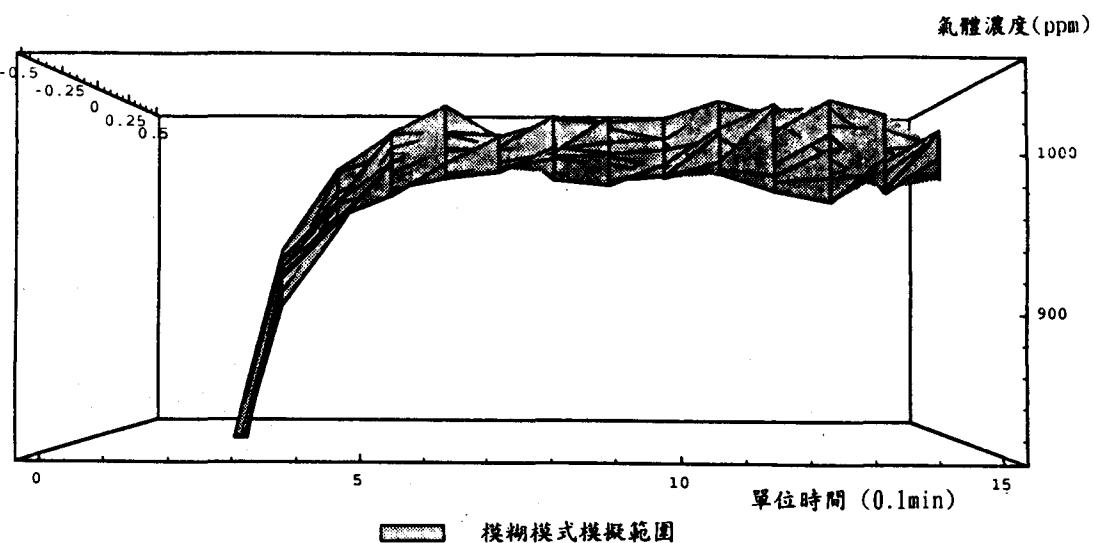


圖 8b. 空氣交換率大( $>10.5$ )，戶內外溫濕差小  
( $\Delta T < 5^{\circ}\text{C}$   $\Delta m < 30\%$ )，駐留時間短(步級時間 = 0.1min)  
之氣體濃度時間動態。

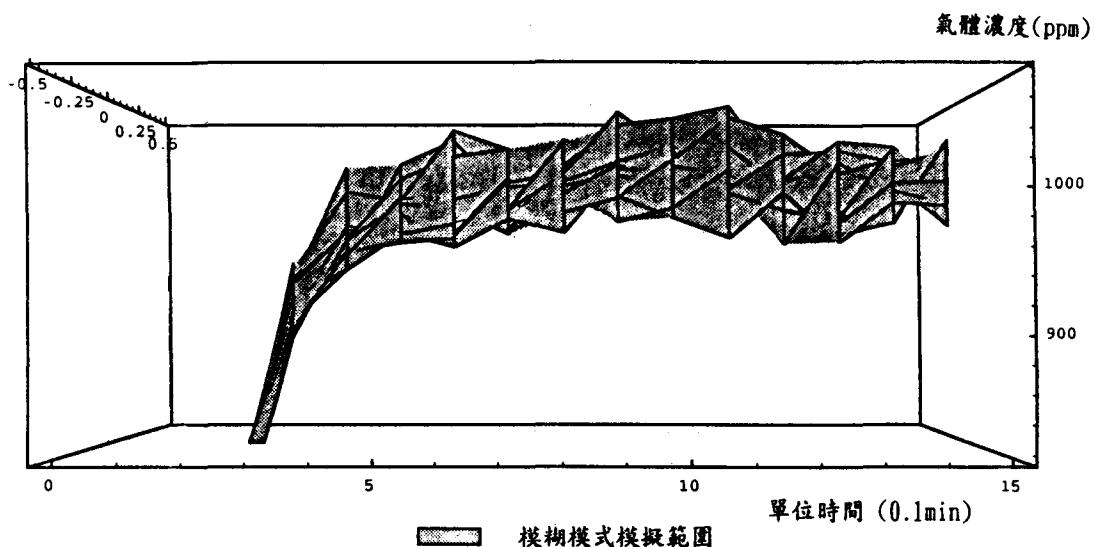


圖 8c. 空氣交換率大( $> 10.5$ )，戶內外溫濕差小( $\Delta T < 5^{\circ}\text{C}$ )  
，濕差大( $\Delta m > 70\%$ )，駐留時間短(步級時間 = 0.1min)  
之氣體濃度時間動態。

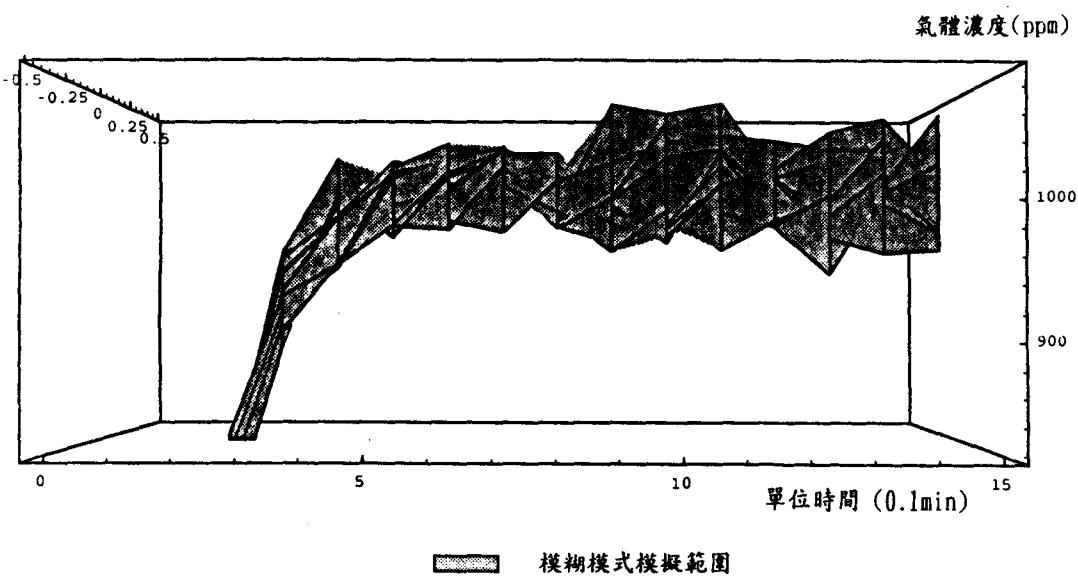


圖 8d. 空氣交換率大( $>10.5$ )，戶內外溫濕差緩衝式干擾，駐留時間短(步級時間 = 0.1min)之氣體濃度時間動態。

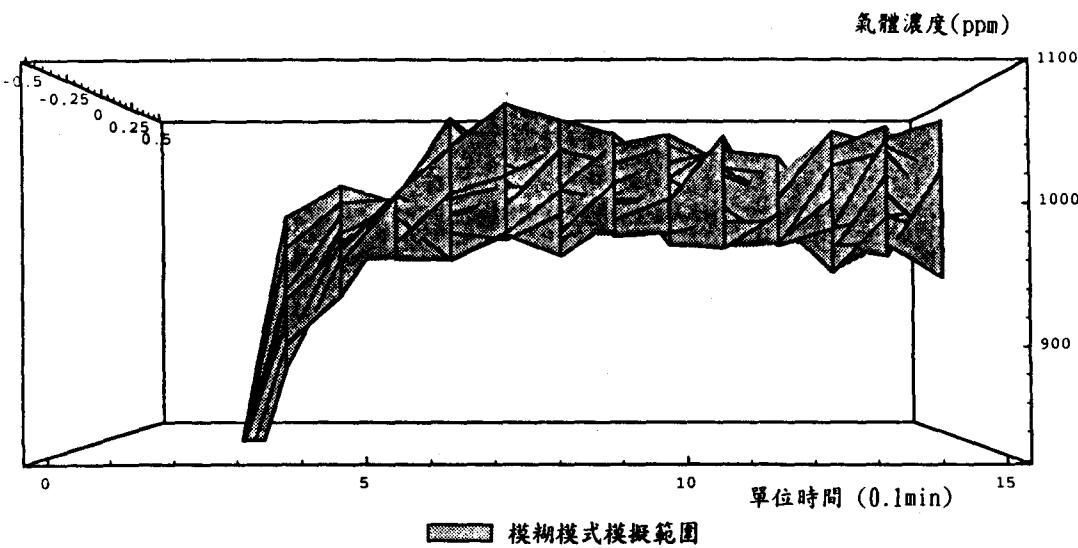


圖 8e. 空氣交換率大( $>10.5$ )，戶內外溫濕差緩衝式干擾，駐留時間短(步級時間 = 0.1min)之氣體濃度時間動態。

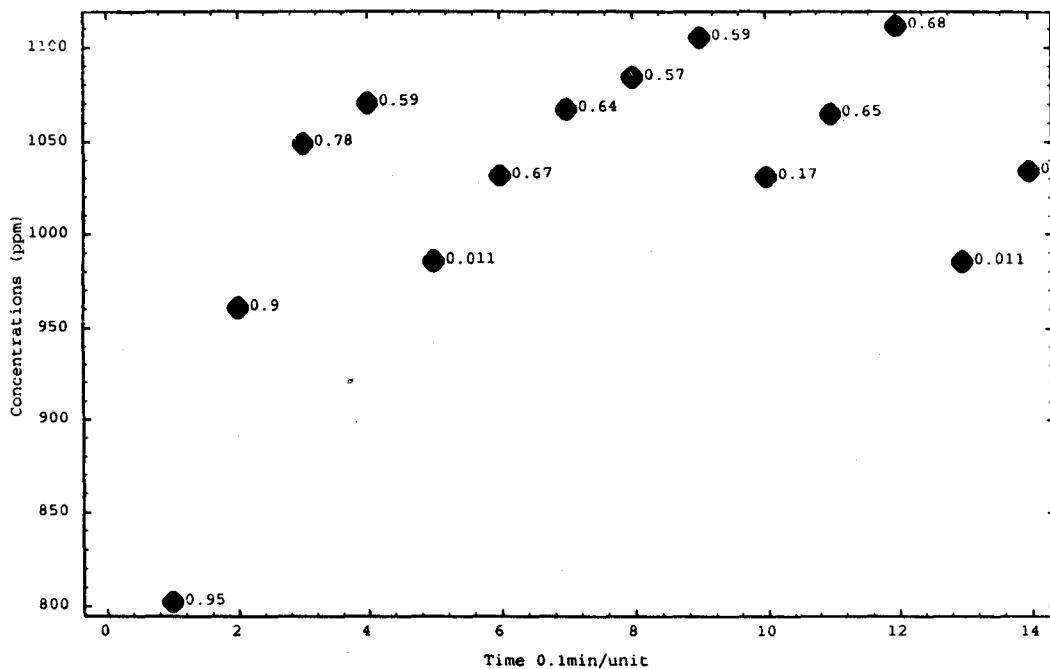


圖 9. 氣體濃度輸出及其模糊訊息。

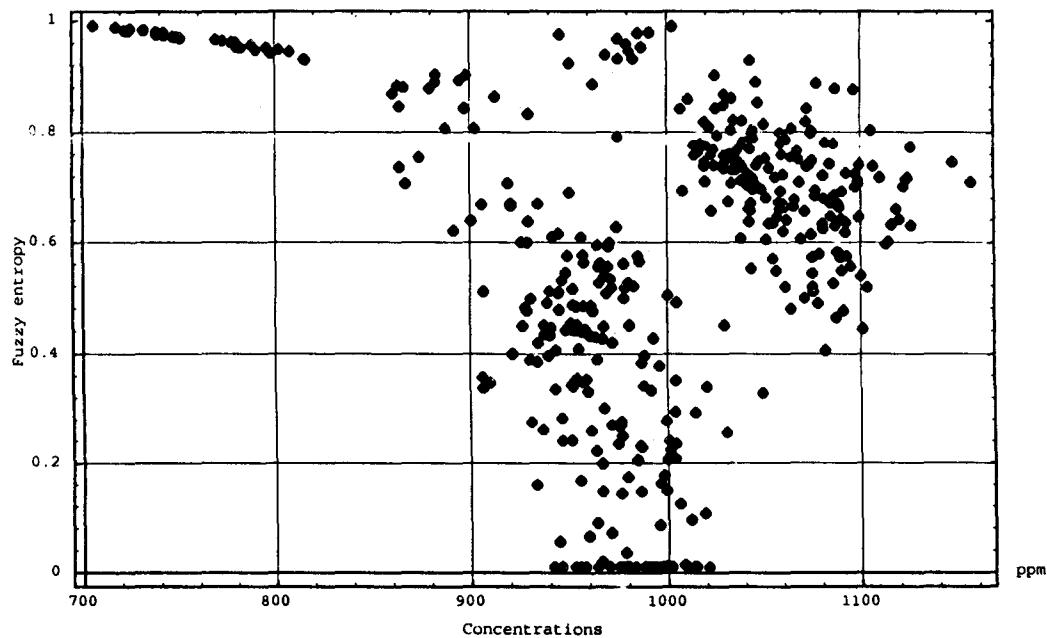


圖 10. 空氣交換率大 ( $= 10.5$ )，戶內外溫濕差大 ( $> 15C$ )，駐留時間短 (步級時間 = 0.1min)，模擬次數 = 30 之氣體濃度模糊熵。

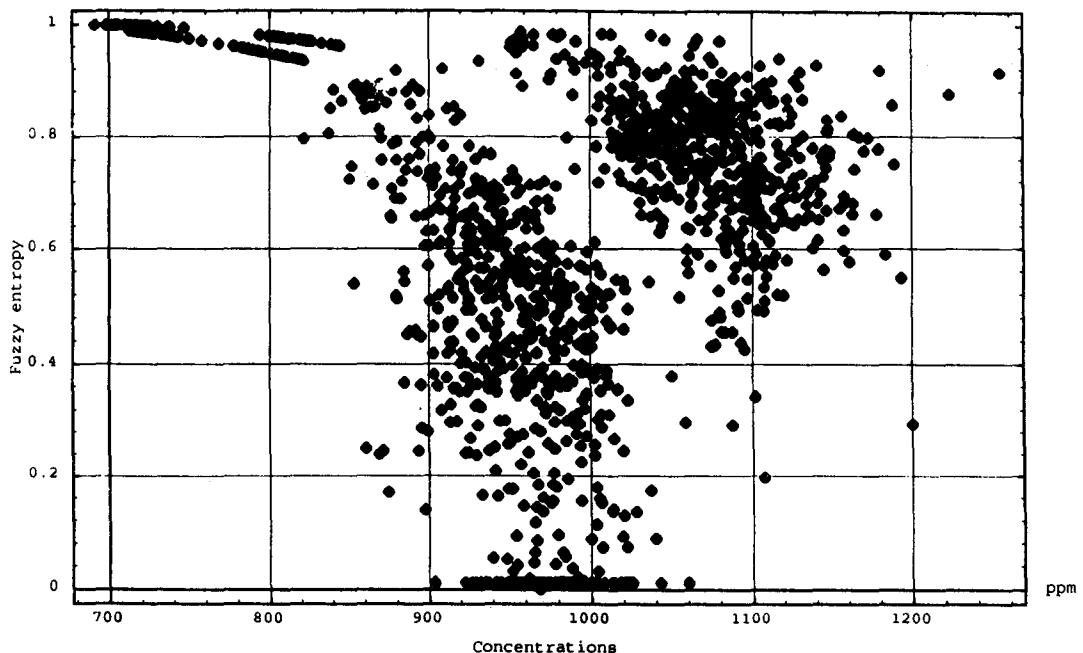


圖 11. 空氣交換率大( $= 10.5$ )，戶內外溫濕差大( $> 15C$ )，  
駐留時間短(步級時間 = 0.1min)，模擬次數 = 100，之氣體濃度模糊熵。

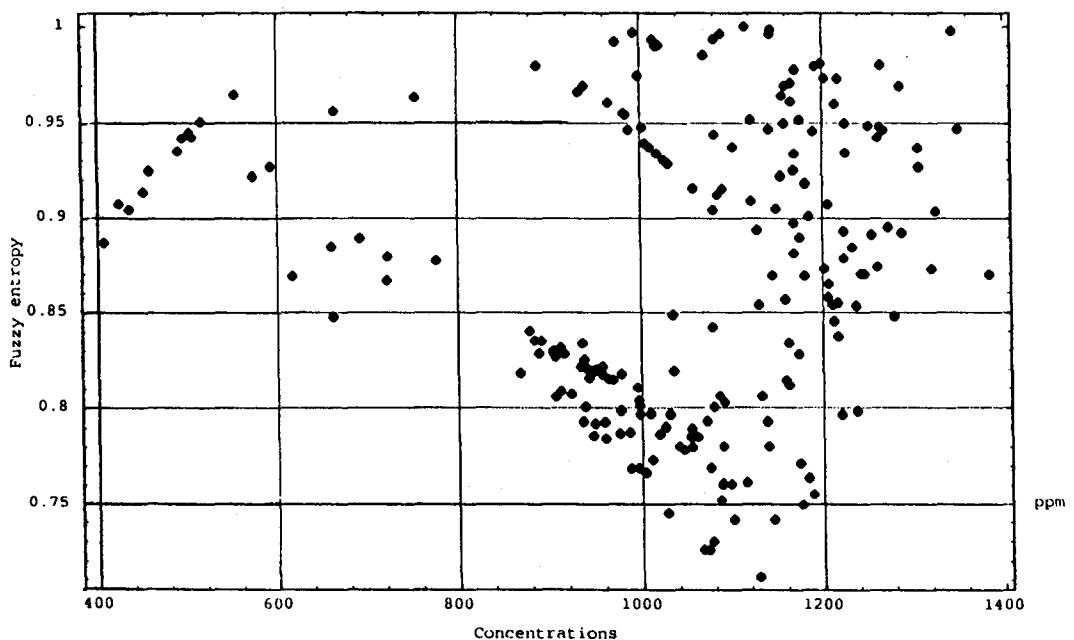


圖 12. 空氣交換率大( $= 10.5$ )，戶內外溫濕差大( $> 15C$ )，  
駐留時間短(步級時間 = 0.1min)，模擬次數 = 30，之氣體濃度模糊熵。

以隨機圓塊模式驗證之環境氣候箱尺寸(1.5 4m \* 0.92m \* 0.95)在通風率等於 14.18m<sup>3</sup> /min 下仍極易造成短路循環現象。

2. 圖 4 則是顯示當通風率降低，或通風空間尺寸增加時出現滯留與二次流區之可能且混合比範圍提高。

3. 圖 5 表示一中等通風率時若室內外干擾大時，通風初期大約 0.6min 前會有極大的停滯帶與二次流區產生。

4. 圖 3 與圖 4 之比較時差( $\Delta t$ )影響之涵義， $\Delta t$  大的比  $\Delta t$  小的混合比還高，顯示駐留時間和混合比成正比之關係。

#### (二) 模糊訊息部份

由於本模式並非一決定性系統，而於每次模擬下每個濃度值都有其相對應的模糊參考訊息，本文使用模糊熵來傳遞此信息。模糊熵值愈小表示受干擾之該濃度不確定值愈可信。

1. 由圖 10 ~ 圖 12 中可發現模糊熵相對氣體濃度值是一個相似性渾沌 (Chaos) 理論之分叉 (bifurcation) 週期加倍之渾沌現象。

2. 根據觀察時間差( $\Delta t$ )大所顯現之訊息愈少，換句話說，也就是更模糊。意喻駐留時間之增加減少模糊訊息。

3. 圖 11 為圖 10 條件所模擬 100 次之結果，可以發現氣體濃度與模糊熵逐漸擴大渾沌範圍。隱喻模擬次數增加會增加更多可能性。另一重要訊息是氣體濃度直較大所受干擾之訊息愈小。

## 五、結論與建議

1. 從模糊模式模擬結果顯示模糊模式於模擬氣體濃度不確定行為方面較隨機模式吻合真實氣體濃度動態，不但對氣體濃度時間上之變化現象提供更相似的模擬，在氣體濃度到達真實穩定時間的判斷也甚為接近，故可提供設計者更佳之判斷訊息。

2. 模糊模式到達穩定的時間較隨機模式二階動差所預測的還長，原因在於模糊模式對真實物理狀態干擾考慮之增加，如氣體交換率、溫差、及濕差等。

3. 利用模糊模式對步級時間差不同之模擬結果發

現氣體濃度不確定範圍隨步級時間增加而擴大，顯示氣體濃度在通風空間中駐留時間增加時，氣體濃度散佈受干擾產生之不確定更大。

4. 根據模糊模式模擬通風空間之氣體混合比顯示，混合比隨通風時間增加而下降，原因有二：(1)短路現象逐漸產生，減少污染氣體與入流量之交換，及(2)紊流離散或延散現象逐漸產生。

5. 關於模擬之氣體氣體濃度模糊訊息有幾項重要結果。

(1) 當步級時間增量增加和氣體交換率( $e$ )減少時，氣體濃度模糊熵逐漸增加。換句話說，氣體濃度值之不確定性增加。

(2) 氣體濃度和模糊熵之間具有趨於渾沌之特質，闡示了自然界之物理資訊：『細微之不確定性，會擴張成全然不可預測之行為』。

(3)『空氣交換率』與『氣體駐留時間』兩者為密閉式通風中氣體濃度不確定性之主因。

(4) 氣體濃度和模糊熵關係分支樹中，較低濃度範圍具有較低之模糊熵，較高濃度範圍具有較高之模糊熵現象可作為工程設計判斷之上限。

6. 本模式之模擬程式乃利用『Mathematica』套裝軟體撰寫成，於 487 - PC 上執行。基於硬體限制模糊集僅以向量為輸入模擬，日後若能以矩陣取代輸入較能完整的描述氣體濃度之動態行為。在氣體濃度和模糊熵關係中之渾沌現象因不在本文研究範圍內及計算機能力之限制，日後若能增加模擬之次數並配合不確定干擾模糊矩陣輸入及平面『相轉換』之運用，或可從中瞭解通風空間中氣體濃度動態不確定性之秩序風貌。

## 六、參考文獻

1. 張斐章，黃源義，及梁晉銘。1993。模糊推論模式之建立及其應用於水文系統之研究。中國農業工程學報。39 (1):71-83。
2. 廖中明。1990。由 CO<sub>2</sub> 氣體量測實驗推估多空間通風率及其不確定性。理論探討。中國統計學報。28 (2):171-184。
3. 廖中明。1991。由年齡分佈函數分析通風農業

- 設施中氣體污染質之分佈。中國農工學報。37 (4) :64-74。
- 4.廖中明。1992a。描述通風空間中二氧化碳濃度動態之隨機團塊參數模式。農業機械學刊。1 (2) :9-19。
- 5.廖中明。1992b。由團塊群法研析農業微氣候之污染質散佈 (I) 巨觀法。中國農工學報。38 (3) :54-68。
- 6.謝志誠，陳貽倫。1993。利用模糊理論推導熱風溫度、乾燥與均化時間對稻穀乾燥速率的影響。農業機械學刊。2 (4) :13-20。
7. Albright,L. D.1990.Environment control for animal and plants.ASEA publication.
8. Barber,E.M.,and Ogiliver,J.R.1984.Incomplete mixing in ventilated airspaces. Part (2).Scale model study. Canadian Agri. Eng.26 (2) :189-196
9. Choi,H.L.,Albright,L.D.,and Timmos,M.B.1988.An application of the K-Epsilon turbuence model to predict air distribution in slot-ventilated enclosure. TRASACTONS of the ASAE 31 (6) :1804-1814.
10. Cover,T.M.,and Thomas,J.A.1991.Element of information theory.John Wiley& Sons. New York,N.Y.
11. Dieck,R.H.1976.Gas turbine emission measurement instrument calibration. Calibration in air monitoring, ASTM STP 598.American Society for Testing and Materials:16-39.
12. Feddes,J.J.R., Leonard, j. j., and McQuitty,J.B.1984. Carbon dioxide concentrtration as a measure of air exchange in animal housing. Canadian Agri.Eng.26 (2) :5 3-56
13. Hellickson,M.L.,and Walker,J.N.1983.Ventilation of agricultural strcture. American Soc.Agro.Eng.,Joseph, MI.
14. Hinds,W.C.1982.Aerosol technology.John Wiley & Sons, New York,N.Y.
15. Ikeguchi,Atsuo,Nara, and Makoto. 1992.Effect of ventilation on distribution of carbon dioxide concentration in windowless swine farrowing house.J.Soc.Agro. Strctures,Japan 22 (3) :151-159
16. Langhans,R.W.,1990. Greenhouse management. Halcyon Press, I thaca,N.Y.
17. Liao,C.M.and Feddes,J.J.R.1990.Mathematical analysis of a lumped parameter model for describing the behavior of airborne dust in animal housing.Appl.Math. Modelling 14:248-257
18. Liao,C.M.,and Feddes,J.J.R.1992.A lumped parameter model for predicting airborne dust concentration in a ventilated airspace.TRANSACIONS of the ASAE 35 (6) :1973-1978.
19. Liao,C.M.,Wang,T.S.,and Liu,C.M.1991.A lumped parameter model describing the Behayor of carbon dioxide concentrationin a slot ventilated airspace. ( I ) Modeling and mathematical analysis. J.Soc.Agro. Strctures,Japan 22 (1) :9-16.
20. Maghirang,R.G.,Manbeck,H.B.,and Muir,F.V.1991. Air contaminant distributions in a commercial laying house. TRANSACTION of the ASAE34 (5) :2171-2180
21. Masterlerz,J.A.1977.The greenhouse environment. John Wiley & Sons,New York,N.Y.
22. Randall,J.M.and Battoms,V.A.1979.Stability criteria for airflow patterns in livestock buildings.J.Agro. Eng. Res. 24:361-374.
23. Robbins,F.V.and Spillman,C.K.1982.Heat and moisture production in a slotted-floor farrowing house. TRANSACTIONS of the ASAE 25 (2) :428-432.
24. Saffell, R. A., and Mattewa, B. 1983, Computer control of airtemperature in a glasshouse. J. Agri. Eng. Res. 28:469-477.
25. Tamura, G. T. 1975. Measurment of air leakage characteristic of house and enclosures.ASHRAE J. 81:202-211.
26. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets.Information and Control 8:338-353.
27. Zadeh, L. A. 1973. The concept of a linquistic variable and its application to approximate reasoning.Memorandum ERL-M 441 Berkeley.

收稿日期：民國 83 年 10 月 27 日

接受日期：民國 84 年 2 月 20 日