

# 固體懸浮氣舉式氣泡床之壓力擾動分析及氣體滯留量

## Characterization of Pressure Fluctuations and Gas Holdup in a Solid-Suspension Air-Lift Bubble Column

計畫編號：NSC90-2214-E-002-031

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 10 月 31 日

主持人：呂理平 國立台灣大學化學工程學系

### 一、中文摘要

本實驗採用之氣泡床為內徑 80 mm、高 500 mm 之透明壓克力圓管；並使用粒徑為 1.7 mm 之玻璃珠當作固體粒子。壓力探針置於分散器上方 5 cm 處，用以量測壓力擾動訊號。探討不同表面液體流速、不同起始液體高度及不同固體負荷量下對壓力擾動標準偏差值的影響。並用傅立葉轉換(Fourier transform)來分析功率頻譜密度函數主頻之變化，與小波轉換(wavelet transform)分析壓力擾動訊號，利用此兩種分析方法來判斷氣泡床中流態的變化情形。

關鍵詞：氣泡床、壓力擾動標準偏差值、傅立葉轉換、小波轉換

### Abstract

The bubble column used in this study is a Plexiglas cylindrical column with an inside diameter of 80 mm and a height of 500 mm. The particles used are glass beads with average diameters of 1.7 mm. The pressure probe installed at 5 cm above the gas-liquid distributor was used to measure the pressure fluctuation signals. The effects of different superficial liquid velocities, initial liquid heights and volume fractions of glass beads on standard deviation were studied in the bubble columns. Fourier transform and wavelet transform were used to analyze the pressure fluctuation signals.

Keywords: bubble column, standard deviation of pressure fluctuation, Fourier transform, wavelet transform.

### 二、簡介

氣泡床已經被廣泛的應用在工業程序上，例如：生化廢水處理、觸媒反應、石化工

業(Fan, 1989)等。若能瞭解氣泡床中的流體力學和流態的轉變對於操作、設計、控制及將整個製程的放大很有幫助。在本研究中主要探討改變表面氣體速度、表面液體流速及固體負荷量對於氣泡床中壓力擾動標準偏差值的影響，並藉著傅立葉轉換與小波轉換分析壓力擾動訊號，以便瞭解氣泡床中巨觀流態變化情形。希望經由實驗的結果，期望能在熱、質傳或需要良好混和的系統，獲得更深入的瞭解及應用。

### 三、實驗方法

本實驗採用之氣泡床為內徑 80 mm、高 500 mm 之透明壓克力圓管，如圖 1 所示；並使用粒徑為 1.7 mm 之玻璃珠當作固體粒子，其物理性質如表 1 所示。壓力探針置於分散器上方 5 cm 處，用以量測壓力擾動訊號。主要探討不同起始液體高度、不同表面液體流速、及不同固體粒子負荷量對氣泡床中壓力擾動標準偏差值之影響。此外，將上述實驗所得之瞬間壓力值作快速傅立葉轉換(FFT)，紀錄其結果，並分析其主頻變化情形；同時將上述實驗所得之瞬間壓力值作小波轉換(wavelet transform)，共分出 11 個尺度(scale)D1~D11，取其中 D7 之數據做標準偏差值之計算，觀察其標準偏差值之圖形變化。

### 四、結果與討論

圖 2 為分別在不同起始液體高度  $H_0$  下，壓力擾動標準偏差值 S.D.對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。從圖形上顯示在低表面氣體速度下，壓力擾動標準偏差值並沒有很大的差距；而隨著表面氣體速度的增加，床中的氣泡開始聚結形成大顆氣泡，因大顆氣泡的流動造成氣泡床中有較劇烈的擾動，此時壓力擾動標準偏差值有逐漸上升的趨勢且隨著起始液體高度的增加而增加。

圖 3 為分別在不同表面液體流速  $U_l$  下，壓力擾動標準偏差值 S.D. 對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。從圖上顯示壓力擾動標準偏差值在表面氣體速度 6 cm/s 以下會隨著表面液體速度的增加而有漸增的趨勢，而在表面氣體速度 6 cm/s 以後則沒有太大的影響。

圖 4 為固體粒子量佔整個氣泡床體積百分比為 0 vol%、12 vol%、20 vol% 及 30 vol% 下之壓力擾動標準偏差值 S.D. 對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。圖形上顯示壓力擾動標準偏差值會隨著固體粒子量的增加而增加且比沒有加入固體粒子的情況下大很多。這是因為一旦加入固體粒子後，減少了氣-液間的流動空間，氣泡受到固體粒子碰撞的影響導致氣泡與氣泡之間聚結的機會大增，容易形成塊狀氣泡的流動，造成床中擾動變大。

圖 5 為起始液體高度在 20 cm 之 P.S.D.F. (power spectral density function) 頻譜圖。由圖形上發現在氣泡均勻分散的流態 (Homogeneous regime) 下並沒有明顯的主頻出現；而在過渡區的流態 (Transition regime) 下，此時有較明顯的主頻出現；而在氣泡不均勻分散的流態 (Heterogeneous regime) 下，此時主頻逐漸可看出，而主頻產生的位置約在 3~4 Hz 處出現。

圖 6 為表面液體流速為 1.555 cm/s 下之 P.S.D.F. 頻譜圖。由圖形上發現在氣泡均勻分散的流態 (Homogeneous regime) 下在 0~1 Hz 出現一個主頻；隨著過渡區 (Transition regime) 的出現，主頻逐漸往高頻率的方向移動；當氣泡不均勻分散的流態 (Heterogeneous regime) 出現後，此時主頻的位置約在 3~4 Hz 附近出現。由此可知氣泡床中的流態變化使得主頻從低頻率往高頻率的方向逐漸移動。

圖 7 為加入固體粒子 (glass bead) 後，在表面液體流速為 7.295 cm/s 下操作之 P.S.D.F. 頻譜圖，而固體粒子量在未通入氣體及液體下佔整個氣泡床之體積百分比為 12 vol%。由圖形上發現，在加入固體粒子後，於低表面氣體速度下即開始有明顯的主頻約在 3~5 Hz 附近出現，而隨著表面氣體速度的增加，主頻位置並沒有明顯的改變，均在 3~5 Hz 附近出現，但是 P.S.D.F. 的強度則越來越強。

圖 8 為不同起始液體高度下，經小波轉換後 D7 的標準偏差值對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。從圖形上可分辨出 Homogeneous regime、Transition regime 及 Heterogeneous

regime 三個流態變化區域，在 Homogeneous regime 時，此時氣泡床中的氣泡量並不多，氣泡大小一致且均勻分佈，因此 D7 的標準偏差值並沒有太大的變化；在 Transition regime 時，此時氣泡床中的氣泡量夠多開始有累積的現象出現，氣泡與氣泡碰撞聚結成大氣泡開始發生，此時 D7 的標準偏差值有上升的趨勢；而在 Heterogeneous regime 時，此時在氣泡床中為渦流擾動的流態，因為劇烈的擾動出現，此時 D7 的標準偏差值開始有個明顯的上升趨勢。

圖 9 為不同表面液體流速下，經小波轉換後 D7 之標準偏差值對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。由圖形上可分辨出 Homogeneous regime、Transition regime 及 Heterogeneous regime 三個流態變化的區域。在 Homogeneous regime 時，D7 的標準偏差值並沒有明顯的變化；而在 Transition regime 時，D7 的標準偏差值有上升的趨勢；而在 Heterogeneous regime 時，D7 的標準偏差值有明顯上升的趨勢。

圖 10 為不同固體負荷量，經小波轉換後 D7 之標準偏差值對表面氣體速度  $U_g$  之關係圖。而圖形上曲線並沒有明顯發生改變的地方，近似一條直線的上升。而實驗時觀察床中變化情形發現，在低表面氣體速度下即有明顯的塊狀氣泡出現，而隨著操作的表面氣體速度增加，塊狀氣泡仍為床中主要的流態 (Slugging regime) 情形，但因為大顆氣泡的擾動越來越劇烈，所以經小波轉換後 D7 的標準偏差值有逐漸上升的趨勢。

## 五、結論

- 1、隨著起始液體高度與固體粒子負荷量的增加，壓力擾動標準偏差值有增加的趨勢。
- 2、在本實驗所操作的表面液體速度 (1.555~10.814 cm/s) 下，表面液體速度對壓力擾動標準偏差值並無太大的影響。
- 3、本實驗之氣-液兩相氣泡床在所操作的氣體及液體流速下，共可區分三個流態：Homogeneous regime、Transition regime 及 Heterogeneous regime。而經傅立葉轉換後，在 Homogeneous regime 時，主頻在 0~1 Hz 附近出現；在 Transition regime 時，主頻逐漸往高頻方向移動；在 Heterogeneous regime 時，主頻會出現在 3~4 Hz 處出現。
- 4、經過小波轉換分析後，發現 D7 之標準偏差值於流態轉變時會有相對應之變化，可

知小波轉換對於判斷氣泡床中的流態有很大的幫助。

## 六、參考文獻

Bakshi, B. R., H. Zhong, P. Jiang and L. S. Fan, "Analysis of Flow in Gas-Liquid Bubble Column Using Multi-Resolution Methods," Trans. IChemE, **73**, 608-614(1995).

Fan, L. S., "Gas-Liquid-Solid Fluidization," Butterworths, Stoneham, MA, USA(1989).

Vial, C., S. Poncin, G. Wild and N. Midoux, "A simple method for regime identification and flow characterization in bubble column and airlift reactors," Chemical Engineering and Processing, **40**, 135-151(2001).

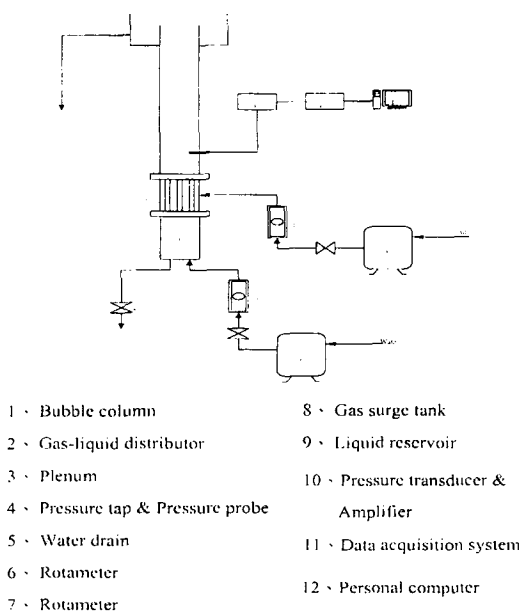


Fig. 1 Experimental setup.

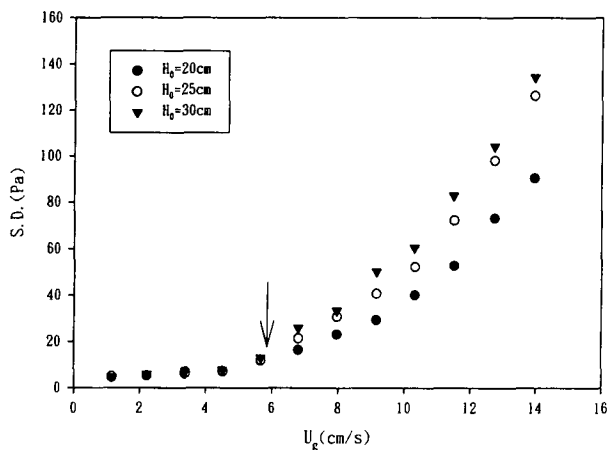


Fig. 2 Standard deviation vs. superficial gas

velocity at different initial liquid heights. ( $U_l=0$ )

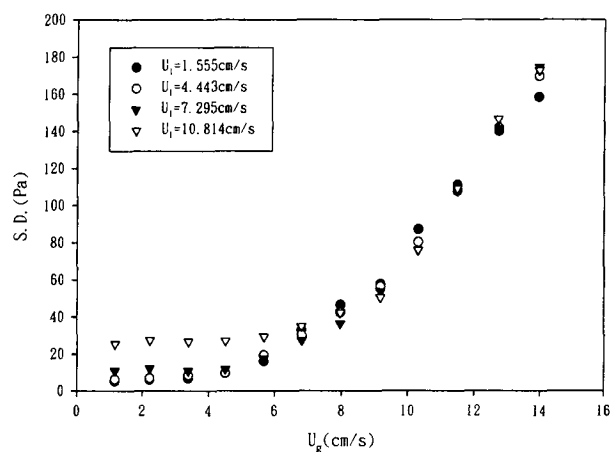


Fig. 3 Standard deviation vs. superficial gas velocity at different liquid velocities.

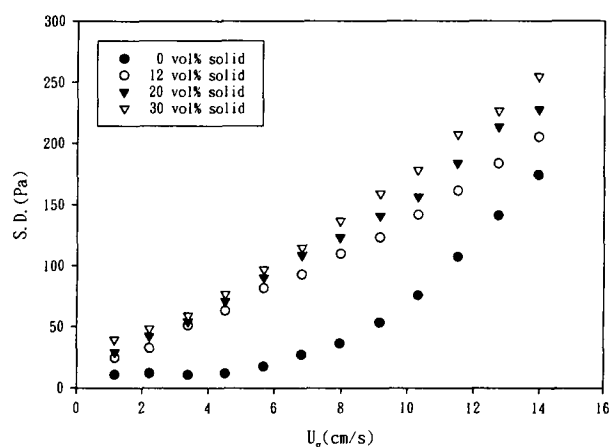


Fig. 4 Standard deviation vs. superficial gas velocity at different volume fractions of glass bead. ( $U_l=7.295$  cm/s)

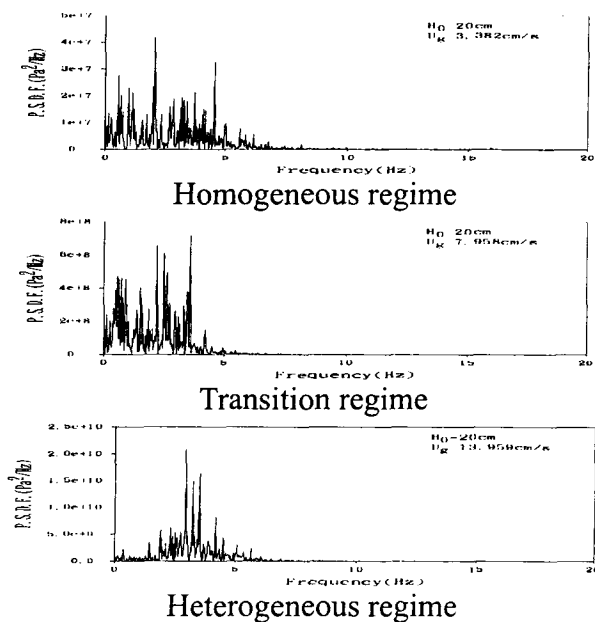
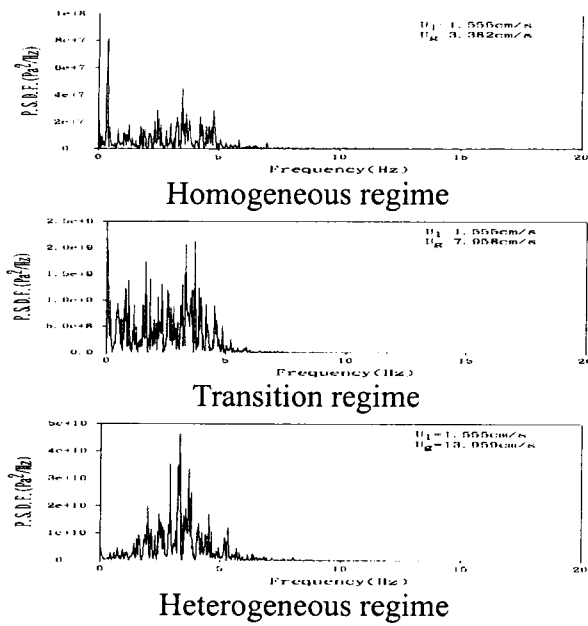
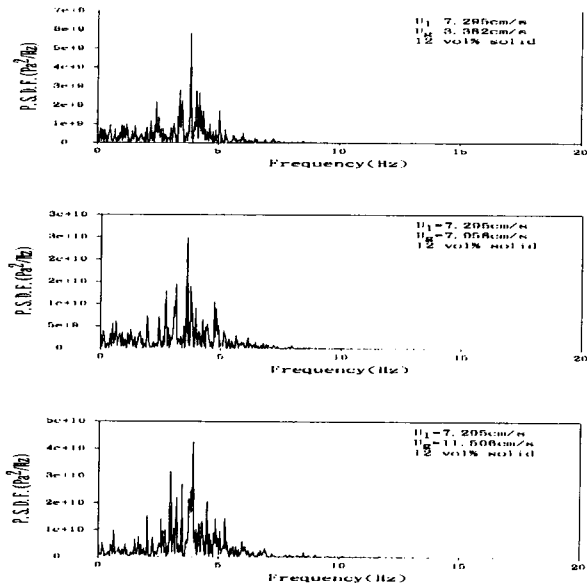


Fig. 5 P.S.D.F. vs. Frequency at different superficial gas velocities. ( $H_0=20$  cm,  $U_l=0$ )



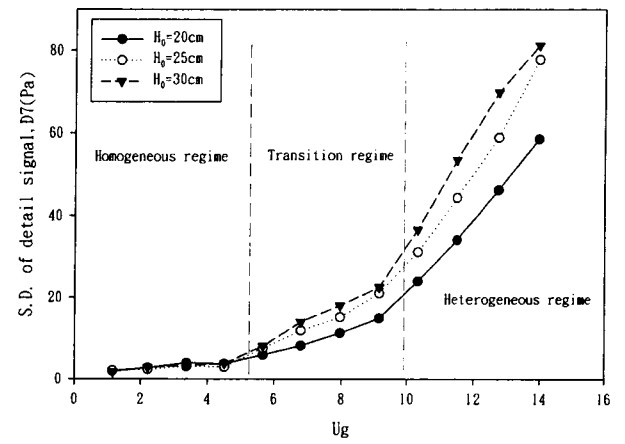
**Fig. 6** P.S.D.F. vs. Frequency at different superficial gas velocities. ( $U_1 = 1.555$  cm/s)



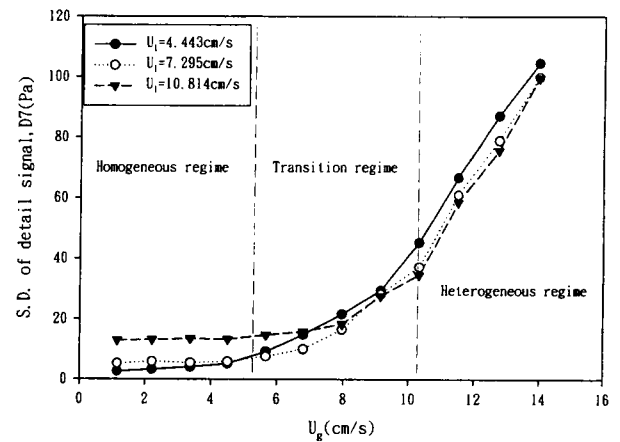
**Fig. 7** P.S.D.F. vs. Frequency at different superficial gas velocities. ( $U_1 = 7.295$  cm/s, 12 vol% solid)

**Table 1** Physical properties of the particles used.

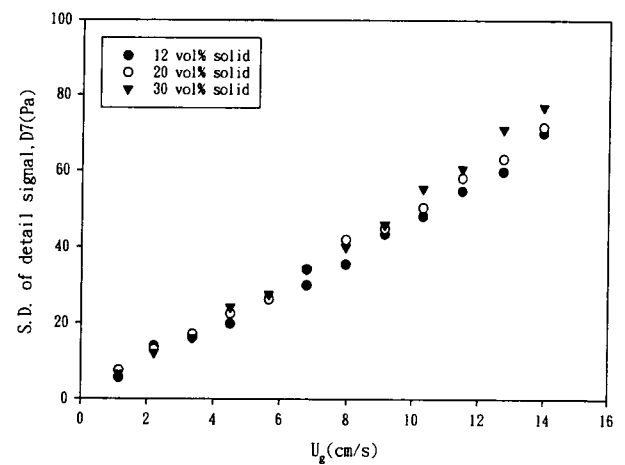
| Material   | Diameter | Density                | Shape     |
|------------|----------|------------------------|-----------|
| Glass bead | 1.7 mm   | 2420 kg/m <sup>3</sup> | spherical |



**Fig. 8** S.D. of D7 vs. superficial gas velocity at different initial liquid heights. ( $U_1 = 0$ )



**Fig. 9** S.D. of D7 vs. superficial gas velocity at different liquid velocities.



**Fig. 10** S.D. of D7 vs. superficial gas velocity at different volume fractions of glass bead. ( $U_1 = 7.295$  cm/s)