

## 脈動과 粒子運動

姜 雄 基\* · 金 永 旭\*

(1963. 2. 14 受理)

### Pulsation and Particle Motion†

By Woong Ki Kang and Yong Wook Kim

Atomic Energy Research Institute, Korea

The effect of the pulsation on the particle hold-up in a pulsed wetted column has been studied theoretically for the case of laminar region and experimentally for the cases of transient and turbulent regions.

The experiment has been carried out by employing water as fluid medium and solid particles. The pulsation has been given by the reciprocating motion of a piston.

The results of the investigation show that the pulsation would not give apparent effect on the particle hold-up but would increase the total travelling length of the particle.

#### 序 論

原子力の發展 및 原子力工業의 發達과 더불어 高分子 量物質의 分離, 精製에 對한 研究가 活潑해졌다. 高分子 量 物質은 分子擴散(molecular diffusion)이 더 더므로 그러한 物質의 擴散을 促進시켜 液相抽出(liquid-liquid extraction)로서 分離 精製하는 裝置의 案出은 原子核燃料의 處理 및 後處理(processing and reprocessing) 過程을 위하여 必要하게 되었다. 脈動 抽出塔(pulse column)은 이러한 要求를 充足시키는 한 裝置로서 登場하였다. (Fig. 1 參照)

脈動抽出塔은 1935年 Van Dijck<sup>10)</sup>가 考案한 것을 改良한 것인데 Van Dijck의 抽出塔은 塔속의 多孔板(perforated plate or sieve plate)을 上下로 振動시켜 液體를 攪亂시키는 裝置이며 現在의 脈動抽出塔은 板(plate)代身 液體를 振動시키는 裝置이며 1949年 Hanford에서 C. Groot가 Uranium 精製過程에 이 裝置를 처음으로 使用하여 塔의 높이를 過去의 抽出塔의 半으로 할수 있게 하였다.

그 後 脈動抽出塔의 研究는 脈動抽出塔의 安定性(flooding characteristics)<sup>5, 7)</sup>, 抽出效率<sup>1, 2, 4, 9)</sup>, 脈動

塔의 設計方法<sup>3)</sup>, 其他 plate wetting<sup>8)</sup>, 濃度分布<sup>6)</sup> 등에 關해서 廣範하게 進行 되었다. 이러한 研究들은 大概 아래와 같은 여러 要素를 變數로 하고 있다.

- I. Pulse factors: 1. amplitude, 2. frequency  
3. pulse shape.
- II. Geometry factors: 1. plate spacing 2. plate hole diameter,  
3. percent free plate area,  
4. column diameter
- III. Other factors: 1. flow rates, 2. physical properties of the system,  
3. choice of continuous phase.

本研究는 脈動에 對한 基本的인 研究의 一部分으로서 脈動이 液體속의 粒子運動에 미치는 影響을 理論 및 實驗으로 규명함을 目的으로 하였다. 그 結果 脈動은 粒子의 落下時間(或은 上昇時間)에는 影響을 별로 주지 않으며 다만 粒子周圍의 渦流程度(degree of turbulence)를 增加시킴을 알았다.

本研究에서 取扱한 脈動은 sine-wave로서 그 frequency는 0~2 cps, amplitude는 0~2 inches이며 粒子는 球形의 固體로 하였다. 實地로 液相抽出을 할때의 粒子는 液體이며 脈動으로서 粒子의 型態도 變할 것이나 本研究에서는 그 影響은 생각 하지 않았다.

粒子運動을 laminar, transient, turbulent의 세 경우로 나누어 생각 할수 있다. 本研究에서는 laminar의 경우는 理論적으로, 그 밖의 경우는 實驗적으로 進

†The paper presented at the 2nd Conference of the Atomic Energy, Korea, in October 1961.

\* \*\* 原子力研究所

行 되었다.

理論的 考察

流體內에서의 粒子의 落下運動에 對해서는 아래와 같은 式이 成立된다.

$$m \frac{dv}{dt} = v'(\rho_s - \rho_l)g - fA' \frac{(v-v_l)^2 \rho_l}{2} \quad (1)$$

流體의 脈動運動을  $C \sin \omega t$ 로 하고 粒子를 球形으로 생각하면 式(1)은 aminor flow의 경우 다음과 같이 된다.

$$\frac{dv}{dt} = A - B(v - C\omega \cos \omega t) \quad (2)$$

$$\text{但 } A = \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s} g, \quad B = \frac{18\mu}{D^2 \rho_l}$$

式(2)를 初期條件, 即  $t=0$ 일때  $v=0$  및  $x=0$ 에 對해서 풀면 다음과 같은 解를 얻는다.

$$v = \frac{A}{B} (1 - e^{-Bt}) + \left[ \frac{C\omega^3}{B^2 + \omega^2} e^{-Bt} + \frac{BC\omega}{\sqrt{B^2 + \omega^2}} \cos(\omega t - \alpha) \right] \quad (3)$$

$$x = \left[ \frac{A}{B} \left( t + \frac{1}{B} e^{-Bt} \right) - \frac{A}{B^2} \right] + \left[ -\frac{C\omega^3}{B(B^2 + \omega^2)} e^{-Bt} + \frac{BC}{\sqrt{B^2 + \omega^2}} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{C\omega}{B} \right] \quad (4)$$

$$\text{但, } \alpha = \tan^{-1} \frac{\omega}{B}$$

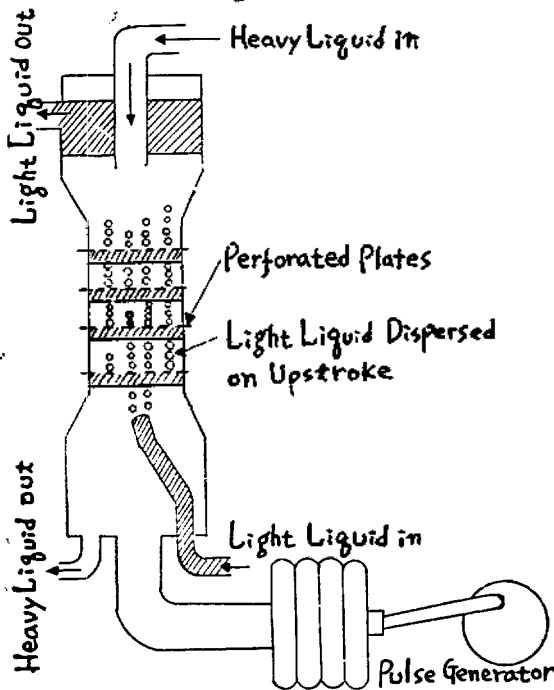


Fig. 1 Diagram of a pulse column<sup>5)</sup>

粒子運動이 transient 나 turbulent region으로 되면 式(1)은 non-linear로 되어 解析的인 解를 얻지 못한다.

實驗裝置 및 過程

Fig.2에서 보는 바와 같은 裝置를 製作하여 固體粒子의 落下時間을 脈動의 程度를 變化하여 測定하였다. 이 裝置에서 얻는 脈動은 sine-wave로 生覺될수 있으며 脈動의 amplitude와 frequency는 各 아래와 같다.

amplitude : 0.4 cm 0.8 cm 1.6 cm 3.2 cm  
 frequency : 25 cpm 50 cpm 75 cpm 100 cpm

固體의 粒子는 polyethylene에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 넣어서 만 들었는데 그 크기와 比重 및 Reynolds 數,  $\frac{Dv_l \rho_s}{\mu}$ , 는 아래와 같다.

粒子의 크기	比重	Reynolds 數
0.2 cm	1.05	300(transient)
0.5	1.10	2,000(turbulent)
1.00	1.52	40,000(turbulent)

Fig. 2의 塔속에 물을 채워 놓고 上記의 粒子를 落下시켜 그 粒子가 100 cm 동안 떨어질때 까지의 時間을 各 脈動에 따라 測定하였다.

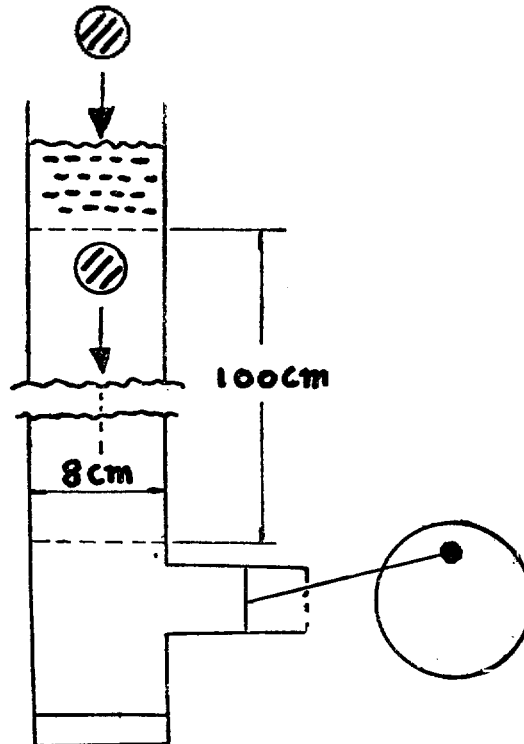


Fig. 2 Experimental apparatus

結果 및 討論

Laminar region 인 경우 運動速度 및 粒子의 位置는 式(3), (4)로 各各 表示된다. 式(3)과 (4)를 살펴보면 充分한 時間이 經過한 後에는 粒子의 速度는 一定한 平均値 即 terminal velocity, A/B,를 中心으로 振動하는 값이 되며 粒子의 位置는 時間에 比例하는 값을 中心으로 振動하는 값이 됨을 알수 있다. 이것은 充分한 거리 동안 落下하는 粒子의 落下時間은 脈動의 影響을 받지 않음을 말하는 것이며 특히 B가 相當히 큰 값이 될 때에는 더욱 그러하다. Fig. 3은 frequency 가 1cps 인 경우 amplitude를 變更하여 粒子의 位置와 時間과의 關係를 圖表로써 그린 것인데 아래와 같은 條件下에서 計算된 것이다. 即  $\mu=10$  centipoises,  $D=0.2$  cm,  $\rho_1=1$ ,  $\rho_2=1.04$ .

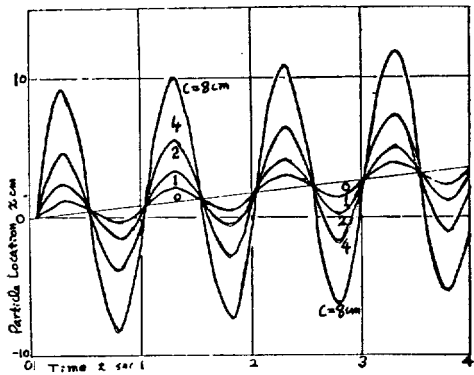


Fig. 3 The particle location as a function of time for  $\omega=2\pi$  rad/sec

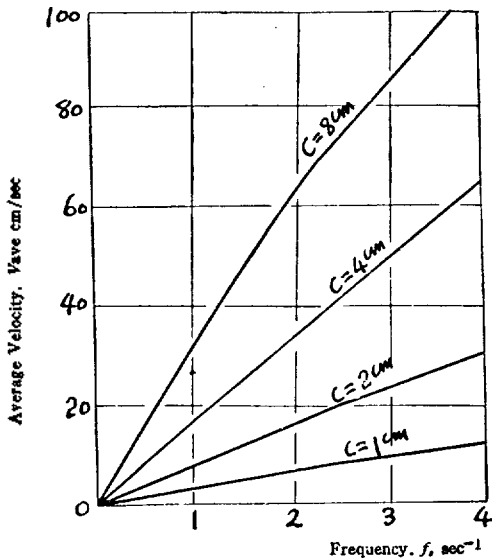


Fig. 4 Average velocity as a function of frequency and amplitude

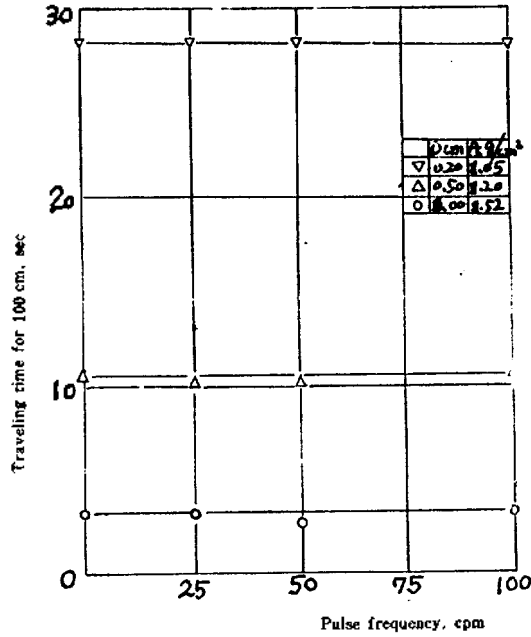


Fig. 5 Traveling time as a function of pulse frequency

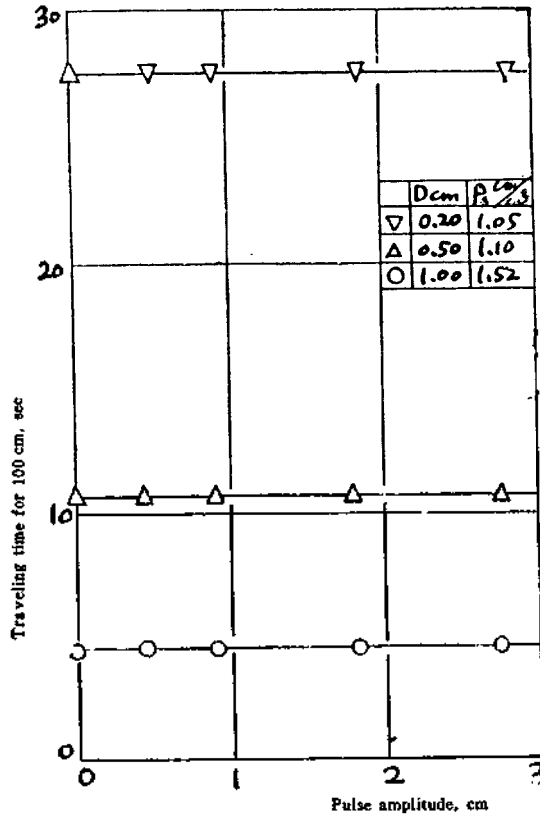


Fig. 6 Traveling time as a function of pulse amplitude

Fig. 3에서 보는바와 같이 脈動은 粒子的 位置를 어떤 平均値를 中心으로 振動시키는 役割을 하고 있으며 1秒後엔 그 平均値까지 到達하는 時間엔 影響을 주지 못한다.

脈動과 함께 粒子가 液體속으로 落下할때 T時間後 粒子가 旅行한 總距離  $S_t$ 는  $S_t = \int_0^T |v| dt$ 로 表示되며 絶對 平均速度  $v_{ave}$ 는 또한  $v_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T |v| dt$ 로 表示 된다. Fig. 4는 上記의 條件下에 計算된 絶對 平均速度를 amplitude와 frequency의 函數로 表示한 것이며 이로써 絶對平均速度는 amplitude나 frequency의 增加에 따라 漸次히 增加함을 알수 있고 따라서 粒子의 總旅行距離도 脈動으로서 增加됨을 알수 있다.

Transient region 및 turbulent region에 있어서는 解析的으로 微分方程式을 풀기가 어려우며 實驗的으로 이 경우의 粒子運動을 落下時間測定으로서 얻은 結果가 Fig. 5 및 Fig. 6이다. Fig. 5는 脈動의 frequency를, Fig. 6은 脈動의 amplitude를 各各 變數로 하여 100 cm 거리의 落下時間을 圖示한 것이다. 이것으로 transient region이나 turbulent region에서도 落下時間은 脈動에 影響을 받지 않음을 알수 있다.

여기에 圖示한 세 粒子 뿐만 아니라 크기와 비중이 다른 粒子 10餘個에 對해서도 實驗을 해 봤으나 같은 結果를 얻었다. 實驗에서의 測定誤差는 最高 10% 程度였으며 같은 粒子에 對한 10回 測定의 標準偏差는 5% 以下 였다.

脈動抽出塔內에서는 液體의 粒子가 多孔板을 通해서 上昇하며 粒子的 크기는 脈動으로써 달라질 것이다. 그러나 같은 크기의 粒子인 경우 그 粒子가 한 多孔板에서 다른 多孔板 까지 上昇하는 時間은 이 研究의 結果로 미루어 보아 脈動에는 關係가 없음을 豫測할 수 있다. 卽 脈動塔의 各段에서의 粒子的 Hold-up은 脈動에는 直接的인 關聯이 없고 脈動과 粒子的 크기와 의 關係에 間接的으로 關係가 있음을 假定할 수 있다.

### 總 括

垂直塔에 있어서 脈動이 粒子運動에 주는 影響을 料明키 위해 laminar의 경우는 理論的으로 transient 및 turbulent의 경우에는 實驗的으로 研究되었다.

研究의 結果 脈動은 粒子的 落下時間에는 影響을 주지 못하여 總旅行距離를 漸次히 增加시킴을 알수 있었다.

### 記 號

$A_e$ =effective friction area,  $cm^2$

$C$ =amplitude of pulsation, cm.

$D$ =particle diameter, cm.

$f$ =friction coefficient, dimensionless.

$g$ =acceleration of gravity,  $cm/sec^2$

$m$ =particle mass, gm.

$t$ =time, sec.

$v_s$ =velocity of liquid,  $cm/sec$ .

$v$ =velocity of particle,  $cm/sec$ .

$V$ =volume of particle,  $cm^3$

$\rho_l$ =density of liquid,  $gm/cm^3$ .

$\rho_s$ =density of particle,  $gm/cm^3$ .

$\omega$ =angular velocity,  $radian/sec$ .

### 參 考 文 獻

- 1) Belaga, M.W. and J.E. Bigelow, *U.S.A.E.C. Report* KT-133(1952)
- 2) Burkhart, L.E. and R.W. Fahien, *U.S.A.E.C. Report* ISC-860(1956)
- 3) *Ibid.*, ISC-1095(1958)
- 4) Chantry, W. A., R. L. von Berg and H.F. Wiegandt, *I.E.C.*, 47, 1153(1955)
- 5) Edwards, R.B. and G.H. Bayer, *A.I.Ch. E.J.* 2, 148(1956)
- 6) Mar, B.W. and A.L. Babb, *I.E.C.*, 51, 1011(1959)
- 7) Sege, G. and Woodfield, F.W., *Chem. Eng. Prog.*, 50, 396(1954)
- 8) Sobotik, R.M. and Himmelblan, D.M., *A.I.Ch. E.J.*, 6, 619(1960)
- 9) Thornton, J.D., *British Chem. Eng.*, 3, 247(1958)
- 10) Van Dijck, W.J.D., *U.S. Patent* 2,011, 186(1935)