

電氣傳導度測定에 의한 連續流 攪拌槽의 混合時間測定

姜 雄 基*

(1962. 8. 3 受理)

A Mixing Time Measurement by a Conductivity Method in a Continuous Flow Stirred Tank

By Woong Ki Kang

Department of Reactor Engineering, Atomic Energy Research Institute

A new method of evaluating the mixing time in the continuous flow stirred tank is herein proposed. Experimental results to test the concept are also presented.

The mixing time is defined as the time interval between the injection of a slug of an electrolyte solution into the tank and the moment at which an essentially straight line begins on a plot of the conductivity of effluent versus time.

The proposed method of measuring the mixing time is valid even for the low mixing time (5 seconds) and the results obtained agree well with previous work, where the mixing time measurements were carried out by the injection of a dye into the feed stream.

概 說

混合時間이란 混合效果의 測度가 될 수 있는 量으로서 어떤 不均一한 混合狀態로부터 比較的 均一한 混合狀態로 될때까지의 時間을 말한다. 따라서 그 測定에는 混合狀態의 轉移가 觀測될 수 있어야 하며 그 값은 關係의인 뜻을 갖는다. 이러한 混合時間은 混合의 良好度와 混合器의 效率를 定해 주는 量으로 使用되었으며 특히 攪拌槽의 混合研究에 많이 利用되었었다.

現在까지의 混合時間 測定에는 大體로 比色에 依한것과 電氣傳導度 測定에 依한 것으로 大分 될 수 있다. 即 染料의 擴散을 觀測한 것^(3,5,7) 着色·脫色反應을 觀測한 것⁽⁴⁾ 光屈折을 利用한것, 混合器의 各部分에서의 電解質溶液의 電氣傳導度差에 依한 것^(6,9) 등이 있다.

本論文은 連續流 攪拌槽의 混合時間을 測定하는 새로운 方法을 提案한 것인데 그것은 入流의 濃度衝擊에 依한 出口濃度의 時間에 對한 函數를 解析하여 混合時間을 定한 것이다. 이 混合時間은 衝擊時로부터 出口濃도가 完全混合에 따르는 최적 特性을 나타낼 때까지의 時間으로서 流體의 平均滯留時間과 攪拌機의 迴轉速度를 變數로 測定하였다.

* 原子力研究所

本研究에서 얻은 結果는 過去의 研究結果와 大體로 一致되는 것이나, 比較的 簡單한 裝置로서 짧은 混合時間을 測定할 수 있음이 그 特徵이라 하겠다.

理論的 考察

連續流 攪拌槽의 入流에 그것과 混合될 수 있는 第二溶液을 小量 加하여 이것이 t_m 時間後에 攪拌槽內의 流體와 完全混合이 되었다고 하면 다음 式이 成立한다.

$$-\ln \frac{n_t}{n_{tm}} = \frac{t-t_m}{H} \quad (t \geq t_m) \quad (1)$$

但 n_t = 時間 t 에서의 第二溶液의 濃度

H = 平均滯留時間

t_m = 混合時間

또한 (1)式은 $\frac{n_t - n_{tm}}{n_{tm}} \ll 1$ 인 동안

$$\frac{n_t}{n_{tm}} = 1 - \frac{t-t_m}{H} \quad (2)$$

와 같은 近似式 即 n 와 t 間의 一次式으로 表示될 수 있다.

어떤 特定時間後에 入流와 攪拌槽內의 流體가 完全混合이 된다는 假定은 相當한 모순이 있는 것이며 n 는 事實上 t 의 亂步函數(random function)가 될 것이다. 그러나 n 와 t 의 平均的인 關係에는 上記 (1), (2)式의

關係가 있을 것이다. 이는 t_m 時間 後에는 어떤 混合의 크기를 갖는 比較的 均一한 混合狀態가 되며 그 混合狀態를 維持하면서 第二溶液이 희석되어 감을 뜻한다.

그러므로 混合時間 t_m 는 x vs. t 의 圖表를 檢討하여 그 關係의 平均이 直線狀態로 始作할때의 時間으로 일 을 수 있을 것이다.

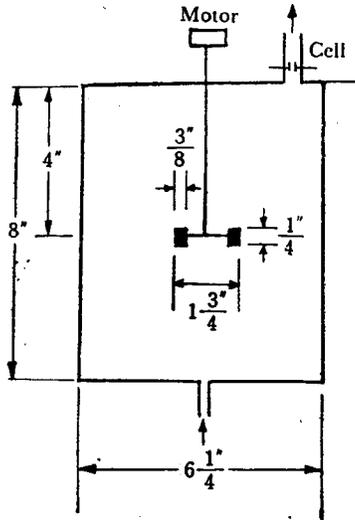


Fig. 1—Mixing tank.

實驗過程 및 結果

本實驗은 Fig. 1과 같은 4,000 ml 容量 유리混合器에 1 3/4" 6 bladed-turbine 型 攪拌機(impeller)를 中央에 設置하여 實行하였다. 連續流 流體는 常溫의 물을 使用 하였으며 容器의 入口는 3/4" 直徑으로 하였고 流量은 Rotameter 로서 測定하였다.

電解質 溶液으로는 0.5% KCl 水溶液을 使用하였다.

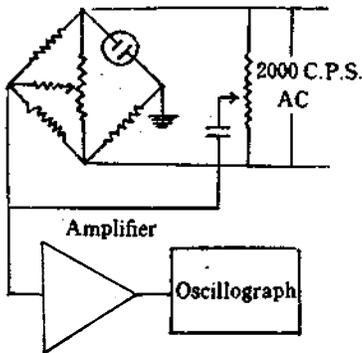


Fig. 2 -Measuring system.

連續流 攪拌槽가 攪拌機의 迴轉速度, 流量, 溫度等에 關해서 定常狀態가 되었을 때 容器의 入口에 5 ml 注射器로서 KCl 水溶液 5 ml를 注入한 後 出口濃度를 電氣傳導度 測定으로 繼續 記錄하였다. 本實驗에 使用된 記錄器는 60 c.p.s.의 變化를 充分히 記錄할 수 있는 것이 며 電導度는 두個의 3/16"×1/4" 白金板을 3/8" 間隙으로

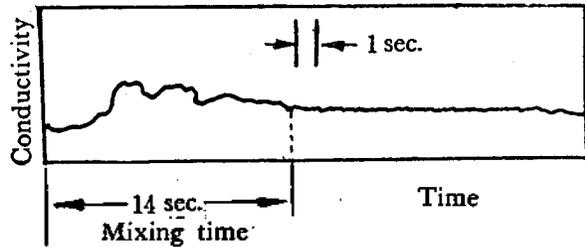


Fig. 3--Sample strip chart.

로 두고 이를 Wheatstone bridge의 一端으로 하여 測定하였다(Fig. 2, Fig. 3). 實驗範圍는 攪拌機의 迴轉速度를 0 r.p.m.에서 250 r.p.m.까지, 流量을 800 ml/min에서 2,500 ml/min까지로 하였으며 混合時間은 出口 濃度의 繼續記錄結果를 解析하여 얻었다. 얻어진 混合時間은 迴轉速度와 流體의 平均滯留時間(混合器의 容量/流量)의 函數로 圖示되었다(Fig. 4).

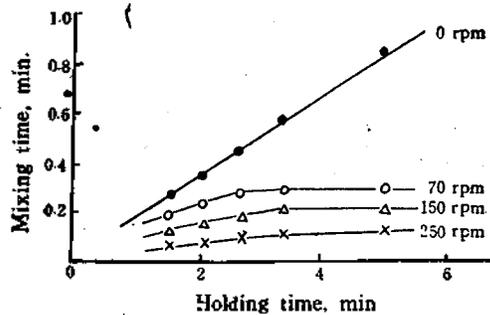


Fig. 4—Mixing time as a function of holding time.

考 察

混合時間을 利用한 連續流 攪拌槽에서의 混合研究는 攪拌機의 位置, 流量, 流體의 粘度, 妨害板(baffle)의 有無, 所要動力等과 混合과 의 函數關係를 규명하는 것이었으며 混合時間은 色素 또는 發色物質을 入流에 注入하여 그것이 完全히 퍼질 때까지의 時間으로 定하였었다.(3,4,5,7,8) 그러나 流體의 粘度가 작고 攪拌機의 迴轉速度가 빠른 경우, 即 混合時間이 짧은 경우에는 染

料注入 方法으로 混合時間을 測定하기는 어려울 것이다. Hessburg⁽⁶⁾는 Reynolds 數가 1000만 되어도 混合時間이 너무 짧기 때문에 混合時間 測定이 困難함을 말하였다. 그러나 여기에 提案된 方法, 即 濃度衝擊에 對한 出口濃度の 反應을 解析하여 混合時間을 얻는 方法으로서 Reynolds 數 9,000에서의 混合時間(約 5秒)도 測定될 수 있었다.

Kramers 等⁽⁶⁾과 Wood 等⁽⁹⁾은 電氣傳導度 測定으로 混合時間을 얻어서 攪拌 特性을 研究하였다. 그들은 batch system에서 攪拌槽의 여러 곳에 電導度 測定 Cell을 備置하고 小量의 電解質 溶液을 槽 속에 순간적으로 注入한 後 各 位置에서의 電導度の 差가 어느 量 以下로 적어질 때 까지의 時間으로 混合時間을 얻었다. 本研究에서는 連續流인 경우의 混合時間을 出口에 Cell을 設으로서 얻었으며 關係的인 混合의 程度를 이로서 定하였다. 이 方法으로 얻은 混合時間은 試料의 크기, 即 電導度 測定 範圍에 影響을 받을 것이며, 試料의 크기가 작으면 測定된 混合時間은 커질 것이다.

Fig. 4를 살펴 보면 250 r.p.m.의 경우의 混合時間은 流量에 別影響을 받지 않으며 0 r.p.m.인 경우는 流量의 影響을 현저히 받고 있다. 이러한 結果는 豫測할 수 있는 것으로서 攪拌機의 廻轉速度가 高速이면 混合은 主로 攪拌에 依해서 이루어지며 廻轉速度가 느리면 流體의 流量으로 因한 混合 및 회색의 程度가 커짐을 말한다. Fig. 4의 結果는 또한 Piret 等^(3,7)의 研究結果와 類似하다. 入流의 濃度 衝擊에 依한 出口濃度 解析은 또한 滯留時間 分布(Residence time distribution) 研究에 利用될 수 있을 것이다. Choletté 等^(1,2)은 滯留時間 分布와 混合器 속의 死域(dead zone), 捷徑(short-circuiting), 完全混合(complete mixing)等을 關聯시켜 部分的으로는 完全히 混合되어 있고 死域 및 捷徑의 程

度가 全體의인 混合效率을 不良케 한다는 假定아래 濃度衝擊과 出口濃度 解析을 하였다. 그러나 그들의 測定은 斷續的이었으며 本研究의 方法과 같이 連續的인 記錄을 하면 連續流 攪拌槽 內에서의 流動 物性에 關해서 比較的 定量的인 규명을 할 수 있으리라 思料된다.

總 括

連續流 攪拌槽의 入流(常溫의 물)에 電解質 溶液(0.5% KCl 水溶液)으로서 濃度衝擊을 주어 이에 對한 出口 電氣傳導度の 時間函數 解析으로 混合時間을 얻는 새로운 方法을 提案, 實驗하였다.

이 方法으로 짧은 混合時間(約 5秒)까지를 測定할 수 있었으며 實驗結果는 過去의 染料 注入에 依한 方法과 類似하였다.

引 用 文 獻

1. A. Choletté, L. Cloutier: *Canadian J. of Chem. Eng.*, **37**, 105(1959).
2. A. Choletté, J. Blanchet, L. Cloutier: *Ibid.*, **38**, 1 (1960).
3. J. W. Eldridge, E.L. Piret: *Chem. Eng. Prog.*, **46**, 459(1950).
4. E.A. Fox V.E. Gex: *Am. J. Chem. Eng. J.*, **2**, 539 (1956)
5. L.J. Hessburg: M.S. Thesis, Univ. of Minn. (1955).
6. H. Kramers, G.M. Baars, W.H. Knull: *Chem. Eng. Sci.*, **2**, 35(1953).
7. R.W. McDonald, E.L. Piret: *Chem. Eng. Prog.*, **47**, 363(1951).
8. J.G. Van de Vusse: *Chem. Eng. Sci.*, **9**, 74(1955).
9. J.C. Wood, E.R. Whitmore, W.L. Badger: *Chem. Met. Eng.*, **27**, 1176(1922).