

< 論 說 >

急速濾過原理에 關한 理論的 考察

Theoretical Study of the Rapid Filtering Principle

丁 奎 榮
Chung, Kyu Young

1. 緒 論

都市上水道가 公共의 飲料水取得과 水質淨化를 目的으로하여 公衆保健과 産業經濟發展에 크게 寄與했음은 물론 重要한 社會施設이 되었지만 用水需要의 急激한 增加와 더불어 産業施設의 急激한 發達は 水量의 不足과 水質汚染의 公害를 惹起시키므로써 自然環境을 破壞하고 人間生活 및 産業을 危脅하는 深刻한 狀態에까지 이르렀다. 따라서 水質汚濁으로 因한 淨水處理는 더욱 高度한 技術과 高級處理를 要하게 되고 廣大한 建設用地的 取得이 困難해짐에 따라 緩速濾過보다는 急速濾過를 採用하는 傾向이 많아졌으며 그 重要性도 大端히 높아졌다.

1908年 서울의 鴨水源地에 緩速濾過池를 設置하였던 當時는 1日 12,500톤의 給水施設이 現在 5個水源地 및 2個補助水源地의 生産量이 147萬톤의 生産施設로 擴張되까지 施設面에서의 飛躍은 刮目할만한 것이며 서울시 給水人口의 87.7%에 該當하는 給水普及率에 이르렀다.

이와같이 大規模의 施設을 維持管理하기 위해서도 淨水에 關한 學問的인 背景을 定立하는 것은 매우 重要한 것이며 理論的인 基礎가 다르지 못하는 施設은 結果的으로 試行錯誤의 誤謬를 免치 못할 것은 當然之事라 하겠다.

여기서는 淨水過程中에서도 急速濾過의 理論的인 濾過原理를 解明하여 維持管理에 參考가 된다면 多幸이라 생각한다.

2. 急速濾過原理의 史的 背景¹⁾²⁾

急速濾過는 1884年 美國의 New Jersey Somerville

本會理事·서울特別市水道局長·技術士

이라는 都市에 機械濾過가 建設된 것이 그 始初이며 一般的으로 高濁度의 原水에 適合하여 濾速은 1日 100~150m가 標準이다. 緩速에 비해 濾速이 20~50배나 크기 때문에 藥品沈澱에 依한 前處理를 行하는 것이 原則이다.

2-1. 古典的인 人工濾過膜說³⁾

急速濾過에 있어 除濁效果를 發揮하기 爲해서는 凝集處理가 必要하지만 그 理由로서는 從來 人工濾過膜에 依한 物理的化學的作用이라 생각했다. 即 濾過初期에 있어 flocc의 一部가 砂層表面에 蓄積하여 壓密된 狀態의 濾過膜을 形成하여 이것이 微細한 flocc이나 懸濁粒子를 除去한다고 보았다. 따라서 沈澱水에는 若干의 flocc이 殘存하는 것이 濾過機能發揮에 有効하다고 했으며 濾過膜이 形成될 때까지는 逆洗滌直後의 濾過水放水를 實施하는 것이 좋다고 생각한 것 등은 人工濾過膜說에서 나온 急速濾過의 管理原則이었다. 그러나 1951年 岩井四郎의 實驗으로 藥品에 依한 人工濾過膜으로도 濾過水는 惡化된다는 것이 確認되므로써 人工濾過膜說은 再檢討해야 했다.

(i) precoating의 效果

人工濾過膜이 浮遊物을 除去한다면 藥品 flocc으로서 precoating을 한 濾過池는 precoating을 하지 않은 濾過池에 비해 越等한 除濁能率을 發揮해야 할 것이다.

그러나 그림-1의 實驗에서와 같이 藥品 flocc에 依한 人工濾過膜은 浮遊物의 除去率에 거의 影響을 주지 않으며 人工濾過膜과 濾過機能과는 本質的으로 關係가 없는 것을 알 수 있다.

(ii) 洗滌直後의 濾過水濁度

濾過砂層을 洗滌한 直後의 濾過水는 人工濾過膜이 形成되기 以前이므로 濾過水의 濁度는 높아야 할 것이다. 그러나 實際池의 觀察에 따르면 거의 濁度는 上昇

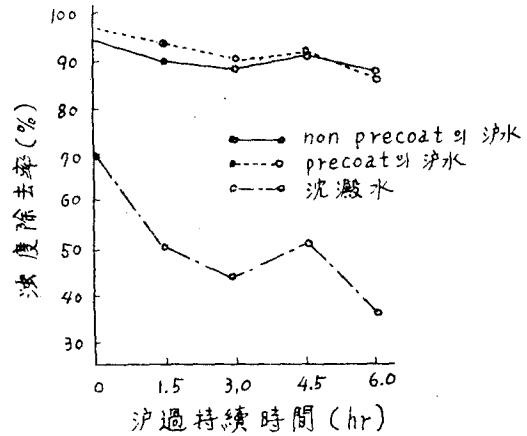
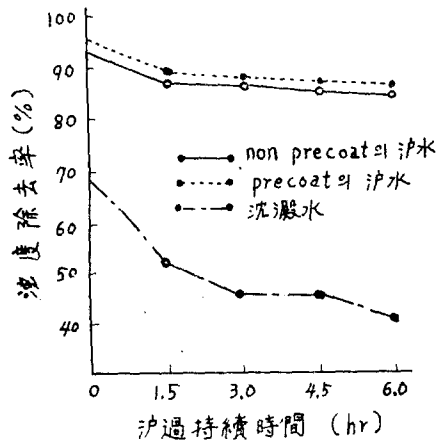


그림-1 急速濾過에 있어 precoat의 效果

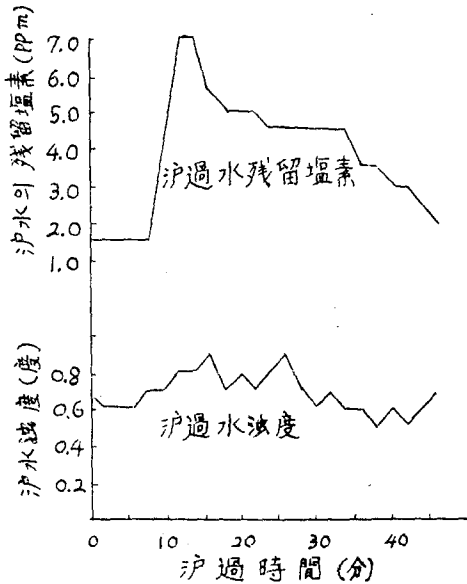


그림-2 急速濾過에 있어 洗滌의 濾過水濁度變化

하지 않은 淸淨한 淨水이며 만약 濁도가 생겼다면 流向이나 流速의 急變에 基因한 衝擊이고 未濾水의 濁도는 아니다.

그림-2는 濾過水에 濁도가 發生하기 쉽도록 洗滌時間을 1分으로 短縮하고 比較的 高濁度의 未濾水狀態에 過量의 鹽素를 注入한 後 濾過水에 나타나는 濁도와 殘留鹽素를 測定한 것으로 이와같이 高濁度의 未濾水가 1度以下까지 濁도가 除去된 것은 人工濾過膜에 依한 除濁機能이 아니고 濾材層에서 除濁效果가 發揮된 것이라 보겠다. 따라서 最近의 濾過作業에서는 洗滌直後의 濾過水放水를 省略하는 것이 普通이다.

(iii) 砂層內的 除濁效果

濾砂層全體가 除濁能力을 發揮하는 것은 濾層內에 多量의 汚泥가 存在하는 것으로도 確認할 수 있으며 濾層內의 濾砂를 深度別로 採取하여 濁도를 測定하면 濾層內의 濁度除去能力을 알 수 있다. 이와같은 方法으로 調査한 結果에 따르면 最初에는 表層部에서 除去되지만 차차 除去能力이 低下됨에 따라 中層部에서 發揮되고 다시 濾過持續時間이 길어지면서 下層部로 抑留能力이 移行된다. 即 濾過機能은 表層部에서만 發揮되는 것이 아니고 濾砂層全體가 發揮되는 것이므로 人工濾過膜說은 否定되어야 한다.

2-2. 最近의 急速濾過理論

急速濾過의 抑留原理에 關해서 K. Craaps(1966年)는 다음의 8項目이 主體를 이룬다고 했다.

1. Screening 作用
2. 沈澱
3. 慣性衝突
4. Brown 運動
5. 粒子 또는 濾材와의 接觸捕集
6. 擴散
7. Van der Waals 引力
8. Electrokinetic 引力

이 중에서 粒子의 捕集에 效果가 있는 事項은 Screening 作用, 重力에 依한 沈澱, 接觸捕集 및 電氣의 捕集 등이다.

지금 水中의 懸濁粒子가 濾過에 依해 除濁되는 경우 여기에는 2段階로 생각할 수 있다. 그 첫째는 濾層內의 水流(層流)를 타고 흐르고 있는 粒子가 어떻게 해서 層流로부터 遊離되어 濾材表面에 接近할 수 있는가 하는 것이며 둘째는 濾材表面에 接近 또는 到達한 粒子가 어떤 힘에 依해서 抑留되는가 하는 點이다. 前者에

關해서는 Brown 運動, 重力에 의한 沈澱, 慣性衝突 및 流體力學的作用을 提示할 수 있는데 流體力學的作用이라 함은 물이 濾材間隙을 흘러가는 동안 流路의 間隙이 좁아질때는 水流가 集合하고 間隙이 넓어질때는 水流가 分散하는 것을 反復하는 동안 粒子가 濾材表面에 接近하는 機會를 얻는다고 보는 것이다.

여기서 Brown 運動은 微細粒子에 作用하고, 重力은 比重이 큰 粒子의 運搬力으로서, 마지막 流體力學的作用은 特別히 比重이 물에 近似한 粒子에 對해서 作用한다.

한편 吸着 또는 附着力으로서의 動電學의 效果(zeta 電位), van der Waals 引力, 水和作用 및 相互吸着등을 생각할 수 있다.

(i) zeta 電位와 濾過原理

汚染되지 않은 新砂의 粒子表面은 水中에서 minus의 電位(zeta 電位)를 가지며 pH에 따라 크게 變化한다. 砂의 電氣泳動度에 있어 pH와 的 變化에 따른 泳動度는 다음 그림-3과 같다.

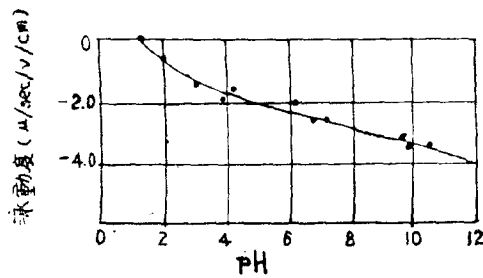


그림-3 砂의 電氣泳動度

한편 天然水中的 粘土粒子, 細菌, 藻類 등도 같은 minus의 zeta 電位를 가지며 이들 粒子가 어떤 힘에 의해 砂粒表面에 接近했을 경우 相互電氣的인 反撥로 附着을 妨害하게 된다. 이에 黃酸礬土나 鐵鹽으로 凝結反應을 行하면 浮遊物의 zeta 電位는 零에 가까워지고 砂粒表面은 알미늄 또는 鐵의 水酸化物로 被覆되어 電荷가 消去되거나 plus로 逆轉되면서 minus로 帶電한 細菌 및 微粒子를 吸着除去하는 것이다.

이와같이 凝結反應을 行할때 濾過機能이 發揮되는 理由의 하나는 zeta 電位의 中和 내지는 逆轉에 있다는 點이다. 따라서 濾過池에 流入하는 floc는 人工濾過膜을 形成할만큼 多量으로 必要치 않으며 濾材表面을 coating 할 程度면 충분하다. 濾材表面은 Coating 할 정도면 여과막이 형성된 셈이다.

實際로 濾過池運轉에 있어 逆洗滌直後의 濾過水에서 水質劣化가 일어나야 함에도 長期間 使用한 濾過池는 初期水質惡化가 거의 發生하지 않는 것을 經驗하고 있

다. 이러한 濾過池의 濾過砂를 仔細히 觀察해보면 이른바 熟成된 狀態의 赤褐色으로 汚色되어 있으며 精質性의 物質로 coating 되어 있다. 이 모래를 鹽酸으로 處理하여 溶出된 成分을 分析해보면 原水內의 mineral이 oxidation되어 여러 雜質 成分에 結合된 것이다. $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O = 2Fe(OH)_3$, $Al_2O_3 \cdot 3H_2O = 2Al(OH)_3$, $MnO_2 \cdot 2H_2O = Mn(OH)_4$ 등으로서 이들 物質은 水中에서 plus로 帶電된다. 따라서 熟成된 濾材表面은 逆洗滌으로도 脫離되지 않는 堅密한 反對荷의 物質로 被覆되어 있기 때문에 逆洗滌直後에도 充分한 濾過機能을 發揮하는 것이라 생각한다.

(ii) 濾過原理와 凝集處理原理의 類似性

懸濁液에 凝集劑를 注入하면 제일 먼저 zeta 電位의 中和로 瞬間的인 凝結(coagulation)이 일어나고 繼續하여 機械的 混和에 의한 微細 floc의 相互衝突로 floc의 生長인 凝集(flocculation)이 進行된다.

急速濾過에 있어서도 砂層間의 floc 抑留가 上記와 같은 現象이라고 보는 것은 濾材間을 흐르는 물의 流線이 集合 또는 分散의 連續이므로 一種의 混和過程이라고 볼 수 있다. 砂層表面 또는 이미 附着되어 있는 floc에 또다른 floc가 附着하는 것은 마치 floc 形成池에서 數많은 微細 floc가 相互衝突에 의해 生長하는 것과 같다.

한편 高分子凝集劑를 添加할때 濾過機能이 顯著하게 向上된다는 것은 널리 알려진 事實로서 이것역시 濾過와 凝集現象이 類似하다고 할 수 있다. 即 濾過原理에 있어서도 凝集現象에서와 똑같이 水和라던가 架橋作用과 같은 化學的 結合력이 作用한다고 하는 것이다.

이와같은 理論에서 볼때 floc 形成이나 沈澱을 行하지 않고 바로 濾過池入口에서 凝集劑를 注入하더라도 濾過機能에 支障이 없다고 보아 開發된 處理方法이 microfloc法이며 美國 및 소련에서 實用化되고 있다.

3. 砂濾過의 水理⁴⁾⁵⁾⁶⁾

砂濾過의 水理에서 가장 重要한 것은 濾過時의 損失 水頭에 關한 問題이며 其他 砂層內部的 壓力分布, 逆洗滌時의 砂層膨脹에 關한 問題 등이 있다.

한편 濾過砂는 濾過機能을 發揮함에 있어 水理學의 으로 더욱 重要한 役割을 차지하며 여기서는 細部의 引誘導式을 避하기로 한다.

3-1. 濾過砂

濾過砂와 같은 粒狀材料의 크기와 形狀은 여러가지 方法으로 表示되지만 一般的으로 濾過砂粒子의 크기라

하면 體積을 意味하고 形體라하면 體積에 關聯해서 表面積의 問題가 包含된다.

지금 代表粒徑이 d 인 1個의 粒子에 있어서

α : 表面積에 關係된 形狀係數

β : 體積에 關係된 形狀係數

A : 粒子의 表面積

V : 粒子의 體積이라 하면

$$\alpha d^2 = A, \beta d^3 = V$$

로 表示된다. A/V 는 比表面積(形狀係數)으로서 粒子 徑이 均等하지 않을때는

$$\frac{A}{V} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{1}{d}$$

粒子가 球狀일때는

$$\frac{A}{V} = \frac{6}{d} \text{와 같이 된다.}$$

緩速濾過池의 砂層은 全層이 均一한 粒度組成을 가지므로 모래의 節分析百分率과 粒度加積曲線에 依해 다음 式을 利用한다.

$$\frac{A}{V} = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \int_{P=0}^{P=1} \frac{dP}{d}, \text{ 또는 } \frac{A}{V} = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \Sigma \left(\frac{p}{d}\right)$$

여기서 P : 粒度加積曲線의 縱距

p : d 의 粒徑으로 代表되는 砂粒의 重量百分比

急速濾過池에서는 砂層이 成層化되어 있으므로 이를 몇個의 層으로 區分하여 各層마다 前記한 式으로 積分 하던가 또는 累加算을 한다.

모래의 α , α/β 의 概略値는 別表-1과 같다.

表-1. 모래의 形狀係數의 概略値

砂粒의 形態	β	α/β
角 形	0.64	6.9
銳 角 形	0.77	6.2
平 板 形	0.86	5.7
둥 근 形	0.91	5.5
球 體 形	0.52	6.0

3-2. 閉塞되지 않은 砂層의 損失水頭

濾過開始初期에 있어 淸淨砂層의 濾過速度와 損失水頭間의 關係式으로는 다음과 같은 것이 있다.

(i) Darcy의 法則

$$h = \frac{1}{k} v \cdot l$$

여기서 h : 損失水頭(cm)

v : 濾過速度(cm/day)

l : 砂層두께(cm)

k : 浸透係數(cm/day)

이 式은 Reynold數가 $R_e < 4$ 일때 砂層浸透流의 摩

擦損失水頭와 斷面流速 v 와의 關係에서 求해진 것이 다.

(ii) Fair-Hatch 式

美國에서는 標準式으로 利用되는 公式이다.

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} &= 1.067 \frac{C_D}{g} \frac{1}{f^4} \frac{v^2}{d} \\ &= 0.178 \frac{C_D}{g} \frac{v^2}{f^4} \frac{A}{V} \end{aligned}$$

式中, $C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0.34$

$$\frac{A}{V} = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{d}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

여기서 h : 砂層두께 l (cm)에서의 損失水頭(cm)

C_D : 砂粒의 形狀抵抗係數

f : 砂層의 空隙率

v : 濾過速度(cm/sec)

a : 砂粒의 代表粒徑(cm)

R_e : Reynold's number

g : 重力加速度

ν : 물의 動粘性係數(cm^2/sec)

砂層內의 흐름이 層流일때 ($R_e < 0.5$) $C_D = \frac{24}{R_e}$ 이므

로

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} &= 25.6 \frac{\nu}{g} \frac{1}{f^4} \frac{v}{d^2} \\ &= 0.711 \frac{\nu}{g} \frac{v}{f^4} \left(\frac{A}{V}\right)^2 \end{aligned}$$

急速濾過池의 砂層은 層化되어 있으므로 前述한바와 같이 積分 또는 累加計算을 한다. 簡單히하기 위해 空隙率 f , 形狀係數 α, β 가 全層에 걸쳐 均一하다고 假定할때 全損失水頭는 다음 式으로 表示된다.

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} &= 0.178 \frac{v^2}{g f^4} \frac{\alpha}{\beta} \int_{P=0}^{P=1} \frac{C_D}{d} dP \\ \text{또는, } &= 0.178 \frac{v^2}{g f^4} \frac{\alpha}{\beta} \Sigma \left\{ \frac{C_D}{d} \cdot p \right\} \end{aligned}$$

(iii) Allen Hazen의 實驗式

Hazen 이 1904 年에 發表한 式으로 空隙率 $f = 0.4$ 일때 濾過速度는 다음과 같다.

$$v = c d^2 \frac{h}{l} \frac{T+10}{60}$$

여기서 c : 砂粒의 緻密係數(Coefficient of compactness) 600~1,200

d : 모래의 有效徑(mm)

h : 水頭(ft)

l : 砂層두께(ft)

T : 水溫(F°)

濾過速度는 水溫, 卽 물의 粘性에 크게 影響을 받아 溫度가 上昇하며 流速은 커져 74°F에서는 32°F때의 2 배가 된다.

3-3. 負水頭

急速濾過에서는 濾速이 크므로 砂層閉塞進行이 빠르다. 濾過砂表層은 砂粒子間의 空隙의 크기가 $10^1 \sim 10^2 \mu$ 程度이며 이를 基準으로 해서 未濾過水中에 큰 粒子의 數가 많으면 閉塞가 빠르고 작은 것이 많으면 閉塞進行은 느리지만 이때는 砂層深部까지 汚染될 可能性이 크다.

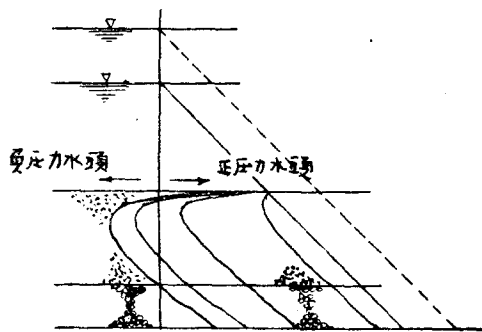


그림-4 濾床內의 壓力變化

그림-4에서와 같이 砂層이 閉塞함에 따라 砂面의 正壓力水頭는 砂層上層部의 負壓力水頭로 急激히 減少하고 이 負壓力水頭는 濾過時間이 經過함에 따라 漸次로 砂層深部까지 增加하여 負壓領域이 넓어진다. 물론 같은 크기의 負壓이 發生하기까지의 濾過持續時間은 水深이 클수록 有利하지만 通常 1.0~1.5m을 標準으로 한다.

負壓自體는 有害하지 않지만 負壓의 發生으로 水中의 溶存空氣는 遊離되어 氣泡가 되고 이것이 砂粒空隙에 남게되어 Airbinding 現象이 일어난다. 이러한 Air binding 이 일어나면 砂層內의 無數한 毛管의 一部가 閉塞하거나 혹은 毛管의 斷面이 작아져서 毛管內를 흐르는 물의 流速이 커진다. 이때 流速이 어느限界를 넘으면 砂粒에 吸着된 濁質이 洗流되는 scour 現象이 일어나는데 濾層中에 抑留된 floc 가 破壞되어 濾過水와 함께 流出하는 것을 break-through 라 한다.

空氣의 遊離는 砂層內負壓의 發生開始와 반드시 一致하지 않지만 損失水頭의 增大는 空氣發生量과 大體로 比例한다. 一般으로 常壓下의 물이 그 溫度에 對應하는 飽和溶存空氣量을 갖고 있을때 水壓低下 또는 水溫上昇에 依해서 過飽和狀態로 되며 過剩의 溶存空氣를 遊離시켜 空氣는 氣泡로 된다. 또한 濾過池에 流入

하는 原水의 水溫이 이와 接觸하는 濾過層의 水溫보다 낮은 경우에도 氣泡는 發生한다.

Air binding 의 障害는 濾過水頭의 急增으로 濾過持續時間이 短縮되고 濾水水質의 惡化, 濾砂의 流失, 濾床內에 氣泡의 殘留, 氣泡放出로 인한 砂面의 穿孔 등이 일어나며 특히 濾過水頭急增, 濾水水質惡化, 砂面穿孔이 重要하다.

急速濾過에서 負水頭를 許容하는 것은 floc의 強度와 吸着力이 強하고 어느程度의 流速까지는 scour 가 發生하지 않기 때문이다. 1950年代에 있어서 許容濾過損失水頭는 通常 2.0~2.5m 었지만 最近의 凝集處理技術의 向上으로 濾過池의 閉塞進行이 緩慢해진 結果 最大損失水頭를 積계하는 傾向이 있다. 또 最大損失水頭に 到達하기 前에 floc의 漏出現象(break-through)이 일어난다는 것을 알게 되면서부터는 損失水頭가 增大하기 前에 洗滌을 해야하는 問題가 있으므로 現在는 最大損失水頭 1.5~2.0m 를 許容하는 것이 普通이다.

3-4. 逆洗滌의 水理⁷⁾

逆洗滌에 있어 砂膨脹(sand expansion)은 砂層의 淸淨維持, 洗滌水量, 流砂防止 等の 見地에서 濾過池操作管理上 重要한 指標가 된다.

$$\text{砂膨脹比} = \frac{\text{洗滌時膨脹한砂層두께} - \text{洗滌前砂層두께}}{\text{洗滌前砂層두께}}$$

$$\times 100(\%)$$

膨脹比가 너무 크면 砂粒間의 摩擦 및 衝突이 작아져 完全한 洗滌이 되지 않으며 實驗的으로 30%程度가 適當하다⁸⁾.

膨脹比와 洗滌速度에 關한 實驗式은 다음과 같다.

(i) Hazen 式

$$v = 0.19d^{1.5}(1 + 0.06e)(9t + 310)$$

여기서 d : 모래의 有効徑(mm)

e : 膨脹率(%)

v : 洗滌速度(cm/min)

t : 水溫(°C)

(ii) Detroit 式

$$v = a + m \cdot e$$

$$a = \frac{14.99}{1 + (s - 0.17)} + 1.1st - 18.8$$

$$m = (0.046t + 2.64)(s - 0.17)$$

여기서 e, v, t : 前式과 同

s : 모래의 30%徑(mm)

위에 2式은 經驗에서 얻은 實驗式이므로 不充分한 點이 있으며 以外에도 여러학자의 膨脹式이 있다.

4. 急速濾過의 變遷⁹⁾

지금까지의 急速濾過는 標準方法에 關한 것이었지만 近來 濾過速度를 增進시키려는 意圖에서 濾過水流의 方向, 濾層의 材料, 粒度構成 또는 淨水過程의 管理面에서 各種의 變法이 開發되었다. 이들 變法의 濾過速度는 大概 標準速度보다 相當히 크므로 일단 操作을 잘못하면 水質을 惡化시킬 憂慮가 있으므로 이의 採用에는 愼重한 檢討가 必要하다.

(i) 上向流濾過(upflow filter)

普通濾過池가 위에서 아래로 물이 흐르는데 反해 밑에서 위로 濾過하는 方式이다.

急速濾過池의 砂層은 逆洗滌으로 成層化되기 때문에 最小粒子의 모래는 表層部에 堆積하게 되고 이 때문에 大小 floc는 表層部에만 抑留되어 閉塞가 빨리 일어나고 濾過持續時間이 短縮된다. 따라서 砂層의 下部는 有效한 濾過機能을 發揮하지 못하므로 이를 是正하기 爲한 方法이 上向流濾過다. 粒度構成은 水流의 方向에 따라 下層이 粗砂, 上層으로 갈수록 細砂가 分布되므로 多層濾過와 같은 利點을 갖는다. 濾過機能面에서 從來의 下向流濾過와 比較한 利點은

- ① 濾過損失水頭가 작으므로 濾過持續時間이 길다.
- ② 砂層全般에 걸쳐 floc가 均等하게 抑留된다.
- ③ 低濁度の 原水에서는 凝集沈澱池를 省略할 수 있다.
- ④ 高速濾過가 可能하여 高水溫의 夏節期에는 300m/d 以上の 濾速을 얻을 수 있다.

缺點으로는 上向流濾過中 濾層이 어느程度 浮遊狀態에 있으므로 濾速은 砂層膨脹이 일어나지 않을 程度라야 한다. 또한 砂利層에 堆積한 泥狀物은 물單獨의 逆洗滌만으로는 充分한 除去가 困難하다.

濾過中 砂層의 膨脹을 防止할 目的으로 砂表面에 格子를 設置한 濾過裝置가 있다.

(ii) 多層濾過(multilayer filtration)

急速濾過池에 있어 逆洗滌으로 因한 砂單獨濾層의 成層化를 除去한 方式이다.

濾材는 粒度 및 比重이 相異한 無煙炭(anthracite, 比重 1.49~1.68), 天然珪砂(sand, 比重 2.6~2.65) 및 拓留石(garnet, 比重 3.4~4.3)을 比重이 큰것을 아래쪽에 두고 粒徑이 클수록 上層으로 가게하여 逆粒度構成(reverse-graded multimedia)이 되게 한다. 이러한 濾床으로 下向流濾過를 行하면 上向流濾過에서와 똑같은 利點이 있을뿐만 아니라 逆洗滌에 依해서도 濾材의 比重差가 있어 濾層이 層化되어 最初의 逆粒度構成으로 復原된다.

로 復原된다.

濾層進行中 큰浮遊物은 上層에서 除去되고 下層으로 갈수록 작은 浮遊物이 除去되기 때문에 濾過層全體가 濾過機能을 發揮한다. 또한 損失水頭는 작고 濾過持續時間이 길며 高速濾過가 可能하다.

(iii) 2方向濾過(biflow filtration)

上向流濾過의 缺點인 砂層浮上의 危險防止를 目的으로 下向流와 上向流의 兩濾過를 하나의 濾床에서 同時에 行하는 方式이다. 濾層은 上下兩方向 모두 比重과 粒度가 相異한 逆粒度構成이며 逆洗滌은 通常의 方法으로 下部에서 空氣와 水併用으로 行한다. 原水는 濾床의 上下에서 同時에 流入하여 2方向의 各濾層境界에 設置된 集水裝置(多孔管式, 또는 strainer式)로 濾過水가 流出된다.

이 方式의 特徵으로는

① 全濾層을 有效하게 利用하므로 濾過持續時間이 延長된다.

② 2方向同時濾過이므로 所要面積이 적다.

③ 上向, 下向의 濾過速度가 自動적으로 調整되어 兩方向의 損失水頭가 同等하게 維持된다.

④ 低濁度原水에서는 凝集沈澱過程을 省略할 수 있다.

(iv) 마이크로후복法¹⁰⁾(micro-floc process)

1950年代初에 美國의 itmpan R.W. ʔ과 Conly W. R. ʔ가 創案한 方法으로 從來의 急速濾過는 前處理로서의 凝集沈澱에 力點을 두고 濾過는 從屬의인 것으로 생각해왔으나 本法은 이것과는 逆으로 濾過에 力點을 두고서 濾過池의 能力을 最大限으로 發揮하도록 前處理工程에 몇가지 改善이 加해진 多層濾過方法이다. 그 要點은 다음과 같다.

凝集沈澱에 對해서 :

① 通常凝集劑注入後 polymer 凝集助劑를 添加한다(凝集物質의 breakthrough 防止目的).

② 濾過水濁度を 連續監視한다(濾過水濁도에 依해 凝集劑注入率을 制御).

③ 凝集劑注入制御裝置의 開發使用(裝置內에 內藏된 特殊 pilot filter 로 急速濾過하여 濾過水殘留濁度の 測定結果를 즉시 藥注系統에 調節하도록 傳達하는 方式이다. 그 所要時間은 數分間이므로 Jar-test 에 依한 所要時間을 充分히 短縮할 수 있다).

濾過에 對해서 :

① 逆粒度構成의 多層濾過池를 使用한다(多層濾過池는 凝集沈澱이 不良한 原水에서도 濾過가 容易하고 通常의 濾過池보다 高負荷에 견디므로 沈澱工程을 省略 또는 輕減할 수 있다. 濾速의 急變에 對해서도 緩衝能

力이 優秀하여 濾過水濁도에 影響을 주지 않는다).

② 300~480m/d 以上の 濾速은 損失水頭가 過大하여 實用的이 아니다. 水質面에서 불매 濾材, 濾層두께 凝集劑注入이 適正하면 濾速은 二次的인 것이다.

③ 原水濁도가 1~3,000度 範圍에서는 沈澱池의 有無에 關係없이 高速濾過가 可能하지만 原水濁도가 平常 100度以上을 넘을 때는 沈澱池를 設置하는 것이 有利하다.

④ 洗滌水量的 總濾過水量에 對한 比率은 沈澱池가 있는 경우 1~3%, 없을 경우 1~6%이다.

(v) 減衰濾過(declining-rate filtration)

在來의 急速濾過가 항상 一定流量을 濾過하는 定速濾過임에 對하여 이것은 一定濾速으로 濾過를 開始하여 濾層의 閉塞에 따라 漸次濾速이 減少하더라도 이를 調整하지 않고 濾過하는 方法이다. 都市上水道에서는 1949年 St. Louis 水道에서 처음 採用하여 좋은 成績을 얻었다. 急速濾過池의 流量調節器가 故障으로 作動하지 않을때는 自然的으로 이 濾過法이 된다.

이 法의 特徵은 流量調節器가 制水弁으로 代用되는 것과 在來의 急速濾過池가 濾速을 常時調節하는데서 생기는 砂層의 衝擊으로 濾過水水質의 惡化가 發生할 수 있으나 여기서는 濾速을 調整하지 않으므로 그러한 憂慮가 없다. 前處理凝集이 若干不良하더라도 breakthrough가 發生했을 때 그 影響이 적으며 濾過持續時間이 길다.

以外에도 2段濾過(double filter), 自動無弁重力式濾過裝置, 潛水型急速濾過池 등이 있다.

6. 結 論

都市上水道의 巨大化는 急速濾過의 採擇이 不可避해졌고 이에 따라 濾過原理에 關한 理論이나 運轉管理方法에 있어서도 漸進的인 變化가 있었다.

急速濾過의 淨化機能이 主로 알미늄 floc로 形成되는 人工濾過膜에 依해 發揮된다고 생각하여 沈澱水中에는 少量의 floc가 殘存하는 것이 좋다고했으나 實驗的으로 人工濾過膜은 濾過機能이 없다는 것을 確認하게 되어 人工濾過膜說은 修正되어야 했다. 그 후 沈澱水濁도는 낮을수록 濾過池負擔을 輕減시킨다는 見解에서 凝集處理를 極度로 重視하여 前處理施設에 力點을 두어 發展해 왔다. 그 結果 濾過池의 負擔은 極히 輕減되고 濾過持續時間이 길어졌으나 急速濾過法은 凝集沈

澱과 急速砂濾過가 一體가 되어 淨水處理를 行하는 것이므로 어느한쪽 工程만이 過大한 處理를 하고 다른한쪽 工程의 處理負擔을 極히 輕減시키는 不均衡은 어느한쪽 施設物의 遊休라는 意味에서도 不合理的하다. 여기에서 兩工程에 均等한 負擔을 갖도록 創案된 것이 microfloc 法이다. 이것은 上水道의 處理過程인 砂濾過를 省略할 수는 없으나 濾材層을 開發하므로써 低濁度の 原水에서는 沈澱池를 省略하고 凝結反應後 바로 濾過處理를 行하는 方法이다.

한편 急速濾過는 定速濾過를 原則으로 했지만 濾過水の 劣化現象으로 불매 水質的으로 良好하다는 것이 實證되어 이에 對한 研究도 關心의 對象이라 하겠다.

以上과 같은 急速濾過의 變遷으로 오늘에 이르렀는데 衛生工學이 比較的인 짧은 歷史의 學問이면서 化學, 物理, 生物, 醫學, 土木 등 幅넓은 專門知識의 技術者를 必要로함은 周知의 事實이다. 그러나 우리 周邊은 學術誌의 貧困으로 坐井觀天의 태두리를 벗지 못하고 있으며 先進國의 學問的인 情報交流 및 一線實務者의 海外鍊修는 그들의 知識을 吸收할 수 있는 가장 빠른 手段일 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 石橋多聞·外監修: 濾過(靑澄濾過), 工學圖書, p. 68, 1970
- 2) 佐藤敦久·外1人: 急速砂濾過의 濁質除去에 關する 基礎的研究, 日本水道協會雜誌, 398 p. 30, 1967
- 3) 廣瀨考六郎: 都市上水道, p. 188, 技報堂 1968
- 4) Fair & Geyer: Water Supply and Waste-Water Disposal, John Wiley & Sons, Inc. 1961
- 5) 日本土木學會: 水理公式集(增補改訂版), p. 374, 1963
- 6) 大橋文雄·外編: 衛生工學 Hand book p. 295, 朝倉書店, 1967
- 7) 石橋多聞: 上水道學, p. 296, 技報堂, p. 303 1969
- 8) 日本水道協會: 水道施設基準解說, p. 191, 1972
- 9) 巽巖: 上水工學, p. 191, 共立出版, 1971
- 10) 友野勝義: microfloc process, 用水と廢水, vol. 11, p. 10, 1969
- 11) 小林三樹: microfloc 法의 紹介, 日本水道協會報誌, 390, p. 33, 1967