急速濾過池에 있어서 懸濁物 附着모델에 관한 研究

A Study on the Adhesion Model of the Deposit in Rapid Filter

姜　龍　太*
柳　東　先**

Abstract

This paper is a study on the adhesion model of the deposit in rapid filter.

In this paper, ellipse adhesion model modified was proposed. With that head-loss equation during filtration that is very consistent with the experimental value was derived.

In the design of the rapid filter, after this head-loss equation during filtration derived may contribute to the decision of optimum filter height.

要　旨

本 研究는 急速濾過池에 있어서 懸濁物 附着모델에 관한 研究이다.

今回의 研究를 통하여 修正楕圓形 附着모델을 提案하여 實測値와 잘 일치하는 濾過 抵抗式을 誘導했다.

誘導된 이 濾過抵抗式은 今後 急速濾過池 設計에 있어서 最適 높이 決定에 寄與함으로써 經濟的인 急速濾過池를 設計하는데 중점을 두고 本 研究를 施行하였다.

** 東亞大學校 工科大學 副教授
** 東亞大學校 工科大學 碩士課程

1. 序　論

急速濾過池에 있어서 閉塞濾層에 附着되어지는 懸濁物 抑留量을 解明하기 위해서는 濾過速度, 原水濁度, 濾材構成, 濾水水質, 凝集劑注入率 등 많은 變數의 測定이 필요하다. 그러나 지금까지는 附着狀態에 관해 明確하게 밝혀진 것이 없었고 濾過抵抗 理論式도 實測値와 잘 일치되지 않아서 實際 急速濾過池를 設計함에 있어서 問題點을 안고 있었다.

따라서 本 研究는 이러한 問題點을 補完하기 위하여 濾過池 높이 決定에 重要한 要素가 되는 濾過抵抗을 明確히 把握하여 實測値와 잘 일치되는 濾過低抗式을 提案하고자 한다.

우선 濾過抵抗의 基礎理論인 Kozeny-Carman式으로 부터 球形濾材에 附着되어지는 抑留物이 球形濾材 表面에 동일하게 附着한다고 보고 球形附着모델에 의한 濾過抵抗式을 誘導하면 다음과 같다.

$$\frac{\triangle h}{\triangle h_0} = f \cdot \frac{\varepsilon_0{}^3}{(\varepsilon_0+\sigma)^3} \cdot \frac{(1-\varepsilon_0+\sigma)^2}{(1-\varepsilon_0)^2} \cdots\cdots (1.1)$$

단 $f = \left(1 + \frac{\sigma}{1-\varepsilon_0}\right)^{-\frac{2}{3}}$

f : 濾過抵抗係數

ε_0 : 初期空隙率

σ : 懸濁物 抑留量

그러나 (1.1)식은 實測値와 잘 맞지 않아 實際 適用이 不可能하므로 보다 正確한 濾過抵抗을 구할 수 있는 새로운 附着모델을 고안하여 實測値와 잘 일치되고 實際 適用이 가능한 濾過抵抗式을 提案하고자 한다.

2. 閉塞濾層의 濾過抵抗

閉塞濾層의 濾過抵抗은 閉塞의 程度에 따라 다르므로 懸濁物 抑留量 σ의 함수형으로 되어진다. σ는 濾層內의 位置에 따라 다르므로 濾過抵抗은 濾層의 미소두께 ΔZ 의 濾過抵抗 $\triangle h$ 와 σ의 관계 즉 $\frac{\partial h}{\partial z} = F(\sigma)$의 형으로 表示 할 수 있다. 지금까지 提案된 몇몇 濾過抵抗式을 정리하면 다음과 같다.

〈표-1〉 연구자에 의한 여과저항식의 차이 [2]

연 구 자	여 과 저 항 식	비 고
Ives(1960)	$\frac{\triangle h}{h_0} = \frac{f'}{f} \cdot \frac{r}{r_0} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3 \cdot \left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0}\right) \cdot \frac{\Delta z}{L}$	
Shektman (1961)	$\frac{\triangle h}{h_0} = \left(1-\sqrt{1-\frac{\varepsilon_0-\sigma}{\varepsilon_0}}\right)^{-3} \cdot \frac{\Delta z}{L}$	$\frac{f'}{f}\left(\frac{\phi D}{\phi' D'}\right)^2 = 1$
Camp(1964)	$\frac{\triangle h}{h_0} = \left[\sqrt{\frac{\sigma}{3(1-\varepsilon_0)}} + \frac{1}{4} + \frac{\sigma}{3(1-\varepsilon_0)} + \frac{1}{2}\right]^{-1}$ $\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3 \left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0}\right)^2 \frac{\Delta z}{L}$	$\frac{f'}{f} = 1$ $\left(\frac{\phi D}{\phi' D'}\right)^2 = \left[\sqrt{\frac{\sigma}{3(1-\varepsilon_0)}} + \frac{1}{4} + \frac{\sigma}{3(1-\varepsilon_0)}\right]^{-1}$
Deb(1969)	$\frac{\triangle h}{h_0} = \left[1 + G(1-10^{-k\sigma})\right]\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3$	$\frac{f'}{f}\left(\frac{\phi D}{\phi' D'}\right)^2 = 1+G(1-10^{-k\sigma})$ $G = 3.2$ $k = 13.3$
Fujita[3] (1976)	$\frac{h}{h_0} = 1 + \left[a\left(\frac{\eta_0\theta}{\varepsilon_0}\right) + b\left(\frac{\eta_0\theta}{\varepsilon_0}\right)^2\right]\frac{\phi D}{\eta_0 L}$	전여과저항 a.b는 실험치
Kang[4] (1982)	$\frac{\triangle h}{h_0} = f \cdot \left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3 \frac{\Delta z}{L}$	$f = a\ \exp(-b\sigma)$ $a = 1.07$ $b = 7.76$

3. 實驗 方法

3.1 實驗裝置圖

実験装置는 다음과 같다.

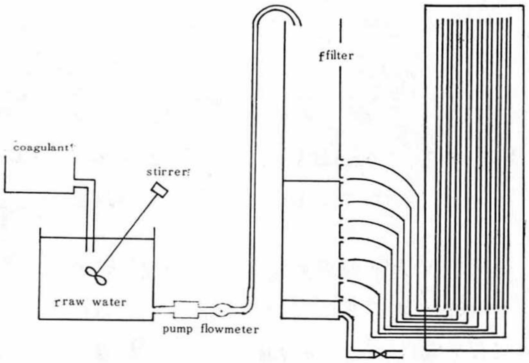

Fig 3-1 Filtration Equipment

3.2 實驗器機 및 材料

本 實驗에 使用된 器機는 濾過筒 10 × 10 × 120㎝攪拌機 顯微鏡寫眞機 등이고 材料는 자갈, 濾過砂, 카오린, 유산반토, 本校 水道水 등을 사용했다。

3.3 實驗方法

水道水에 카오린과 유산반토의 一定量을 混合하여 攪拌機로 急速攪拌後 펌프를 통해 急速濾過池에 一定한 流速과 濾過時間동안 濾過시켜 抑留物이 附着하는 過程을 調査하였다.

4. 實驗結果 및 考察

閉塞濾層에서 Kozeny-Carman 式을 表示하면 다음 式이 成立한다.

$$\frac{\partial h}{\partial z} = \frac{h_0}{L} \cdot \frac{k'}{k_0}\left(\frac{\phi_0 D_0}{\phi\ D}\right)^2 \cdot \left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.1)$$

h : 閉塞濾層의 濾過抵抗 〔m〕

k' : 閉塞濾層의 濾過抵抗係數〔-〕

ϕ : 閉塞濾層의 濾材形狀係數〔-〕

D : 閉塞濾層의 濾材粒徑 〔m〕

(4.1)式을 微小濾層의 濾過抵抗比로 表示하면 다음과 같다.

$$\frac{\triangle h}{\triangle h_0} = \frac{k'}{k_0}\left(\frac{\phi_0 D_0}{\phi\ D}\right)^2 \left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma}\right)^3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2)$$

위式에서 $f = \frac{k'}{k_0}\left(\frac{\phi_0 D_0}{\phi\ D}\right)^2$ 라 두고 f를 懸濁物 抑留量 σ의 함수로 간주하여 濾過抵抗係數 f와 σ와의 관계를 表示하면 Fig 4-1과 같다.

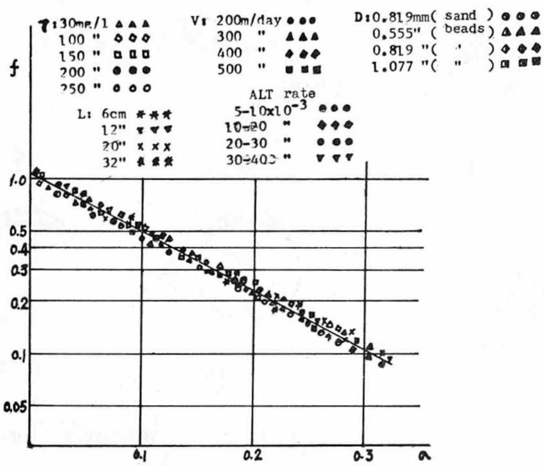

Fig 4-1 Correlation of Correction Coefficient and Specific deposit

Fig 4-1에서 알 수 있는 바와 같이 濁質의 濃度, 濾材의 粒徑, 濾材두께, 濾過速度, 凝集劑의 注入量의 變化에 관계없이 σ가 증가할수록 f의 값은 작아지므로 實際의 濾過抵抗은 적은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 濁質은 濾過抵抗이 서서히 증가하도록 附着한다.

한편 球形附着모델에 의한 濾過抵抗係數 f는 $f = \frac{k'}{k_0}\left(\frac{\phi_0 D}{\phi\ D}\right)^2$ 에서 k', ϕ의 값은 球形

濾材에 동일하게 附着된다고 보면 값이 일정하며 결국 $(\frac{D_0}{D})^2$ 만 남게되며 球形附着모델에 의한 濾過抵抗係數 f 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\frac{D_0}{D}) = (1+\frac{\sigma}{1-\varepsilon_0})^{-\frac{2}{3}} \cdots (4.3)$$

그러므로 球形附着모델에 의한 濾過抵抗式은 (4.2)식에 f 를 代入하여 表示하면 다음과 같다

$$\frac{\triangle h}{\triangle h_0} = (\frac{1-\varepsilon_0+\sigma}{1-\varepsilon_0})^2 (\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0-\sigma})^3$$

$$(1+\frac{\sigma}{1-\varepsilon_0})^{-\frac{2}{3}} \cdots\cdots (4.4)$$

그러나 (4.4)식은 Fig 4.2에서 알 수 있는 바와 같이 實測値와 잘 일치하지 않는다.

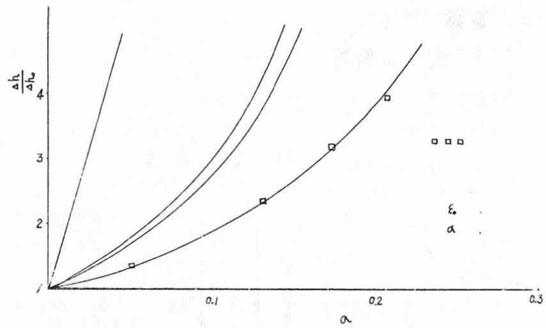

Fig 4-2 Comparison of Head-Loss Equations During Filtration

따라서 球形附着모델을 修正하여 實測値와 잘 일치하는 附着모델을 생각해 보기로 한다. 球形附着모델에 의한 濾過抵抗과는 달리 實際의 濾過抵抗은 작기 때문에 다음과 같은 附着狀態로 附着되어가는 부착모델을 가정할 수 있다.

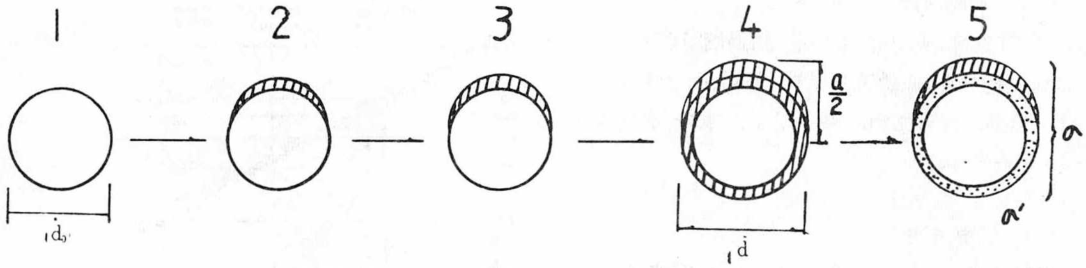

Fig 4-3 Adhesion Condition of Ellipse Model

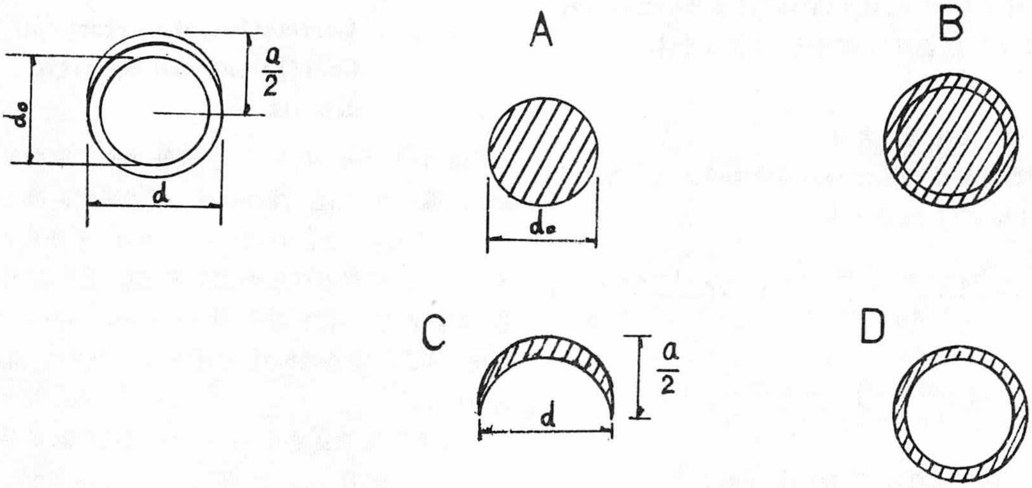

Fig 4-4 Computation of Effective Specific Deposit

Fig 4-3 과 같이 濁質은 (3)의 형상이 되기까지 濾材의 上部에만 附着하고 그후는 점점 楕圓形이 되도록 濁質이 附着되어 간다. 최종적인 附着狀態는 (4)의 형태가 되며 上半은 장축 a, 단축 d의 楕圓形이고 下半은 직경 d의 圓形이 된다. (4)의 그림을 구분하여 도식하면 fig 4-4가 된다.

여기서 장축과 단축의 비 $\alpha=\frac{a}{d}$라 두고 정리하면 (4.5)式으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma=\left[\frac{1-\varepsilon_0}{\sigma'}\cdot\frac{\alpha-1}{2}\left(1+\frac{\sigma'}{1-\varepsilon_0}\right)+1\right]\sigma' \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4.5)$$

여기서 有效懸濁物 抑留量 σ'는 다음과 같다.

$$\sigma'=\left[\sigma-\frac{\alpha-1}{2}(1-\varepsilon_0)\right]\frac{2}{\alpha+1}\cdots\cdots\cdots(4.6)$$

濁質은 濾過抵抗이 서서히 증가하도록 附着되어 간다고 보면 (C)부분의 懸濁物 抑留量은 濾過抵抗에 주는 영향이 작기때문에 무시할 수 있다. 따라서 (D)부분만의 懸濁物 抑留量이 濾過抵抗의 증가에 영향을 준다고 생각할 수 있다. 따라서 懸濁物 抑留量 σ로부터 (4.6)式을 이용하여 有效懸濁物 抑留量 σ'를 구할 수 있다. 이 관계를 Fig.4-5에서 표시하면 직선 η가 된다.

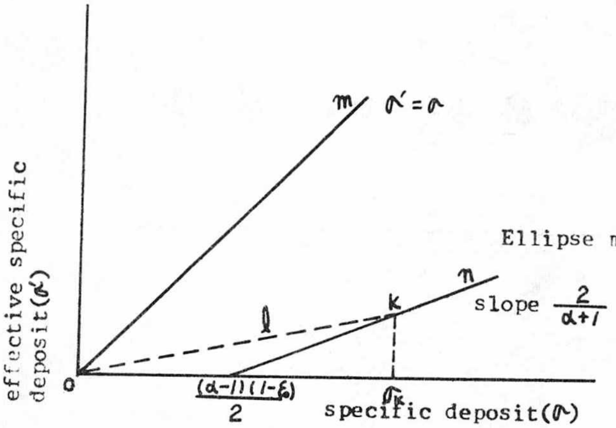

Fig 4-5 Relation of Effective Specific Deposit and Specific Deposit

여기에서 σ가 $0<\sigma<\frac{(\alpha-1)(1-\varepsilon_0)}{2}$의 구간에서 σ'가 負의 값이 되어 부자연스럽다. 이것은 Fig 4-3에서 (1),(2),(3)의 狀態까지는 懸濁物 抑留量이 증가하고 있으나 濾過抵抗에 有効한 有效懸濁物 抑留量 σ'는 0으로 간주되었기 때문이다. 따라서 楕圓모델과 球形모델을 융합시켜서 σ가 커져감에 따라 점점 楕圓모델로 변화하여 σ가 限界懸濁物 抑留量 σ_k 일때 楕圓모델의 장축과 단축비 α값을 가지는 완전한 修正楕圓形모델로 생각할 수 있다. 점 O와 K를 연결하는 선은 修正된 楕圓모델을 선분 ℓ로 나타낸 것이다. 이것으로부터 有效懸濁物 抑留量 σ'와 全懸濁物 抑留量 σ와의 관계를 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\sigma'=\frac{1}{\sigma_k}\cdot\frac{2}{\alpha+1}\left[\sigma_k-\frac{(\alpha-1)(1-\varepsilon)}{2}\right]\sigma \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4.7)$$

이 (4.7)式에서 구한 有效懸濁物 抑留量 σ'를 (4.4)式의 懸濁物 抑留量 σ에 代入한 것과 微小濾層의 濾過抵抗比(4.2)式으로 부터 다음식이 성립된다.

$$f=\left(\frac{1-\varepsilon_0+\sigma'}{1-\varepsilon_0+\sigma}\right)^2\cdot\left(\frac{\varepsilon_0-\sigma}{\varepsilon_0-\sigma'}\right)^3\cdot\left(1+\frac{\sigma'}{1-\varepsilon_0}\right)^{-\frac{2}{3}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4.8)$$

단 $\sigma'=\frac{1}{\sigma_k}\cdot\frac{2}{\alpha+1}\left[\sigma_k-\frac{(\alpha-1)(1-\varepsilon_0)}{2}\right]\alpha$

이 경우 일반적으로 初期空隙率 ε_0가 0.4일때 限界懸濁物 抑留量 σ_k가 0.3의 크기를 가지며[6] 修正된 楕圓形모델의 α값은 1.3정도가 實測値와 가장 잘 근사하는 것을 알 수 있다.

5. 結　論

急速濾過池의 濾材에 附着되는 懸濁物 附着모델을 解明하여 본 결과 球形附着모델에 의한 濾過抵抗 理論式은 實測値와 잘 맞지 않고 濾材 表面에 附着되는 懸濁物은 球形으로 附着되는 것이 아니라 濾過抵抗에 적은 영향을 미치는 楕圓形 또는 이와 有似한 형태로 附着한다고 볼 수 있는 修正楕圓形 附着모델을 提案할 수 있었다. 이것을 정리하여 濾過抵抗係數를 수식으로 表示하면 (4.8)式으로 된다. 따라서 修正楕圓形 附着모델에 의해 誘導된 濾過抵抗係數를 고려한 濾過抵抗式을 適用하면 實測値와 잘 일치하며 今後 急速濾過池의 經濟的인 濾過池의 높이 設定에 도움을 기할 수 있으리라 생각한다.

參 考 文 獻

1. 白井隆, " 流動層 "科學技術, 1965.
2. 井出哲夫編 " 水處理工學 "技報堂 1980. (pp. 108 ～ 110).
3. 藤田賢二 " 急速濾過池の設計に關する硏究 " 東京大學學位論文, 1976.
4. 姜龍太 " 急速濾過池の濾過速度と濾材構成の硏究 " 東京大學學位論文, 1982.
5. 姜龍太 " 急速濾過池の濾過抵抗に關する硏究 "第32回日本水道硏究發表集 pp。314 ～ 316, 1981.
6. 4와 같음