〈論 文〉

不規則한 自然河川에서 汚染物質의 橫擴散
— 累積流量 Model을 利用하여 —

Transverse Dispersion of Pollutant Solute in the Nonuniform Natural Channel
—By Using the Cumulative Discharge Model —

강 주 복* · 박 상 길** · 김 원 규*** · 김 종 화****
Kang, Ju Bok Park, Sang Gil Kim, Won Gyu Kim, Jong Hwa

Abstract

A mathematical model is presented for predicting the steady state two-demensional distribution of solute concentration in the meandering nonuniform natural channel. The dispersion equation derived herein employs the transverse cumulative discharge as an independent variable replacing the transverse distance and that it is developed in an orthogonal curvilinear coordinnate system which follows the flow direction of natural channel. The prediction from the results of numerical model are compared with laboratory experiment data. It is found that results from simulation and experiments are in good agreement.

요 약

本 研究는 不規則한 斷面을 가지면서 彎曲을 이루는 一般河川에서 工場이나 家庭으로부터 放流되는 汚染物質의 橫擴散現狀을 豫測하기 위한 數値模型을 提案하였다.

이 數値模型은 自然座標系와 累積流量概念을 導入하였으며 여기에 必要한 여러가지 要素들을 直接測定하지 않고 컴퓨터 프로그래밍을 통하여 간단히 結果를 얻을수 있는 效率的인 方法을 開發하여 實驗結果와 比較檢討하므로서 本數値模型의 現地適用性을 檢討하였다.

* 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 부산대학교 공과대학 토목공학과 조교수
*** 부산대학교 공과대학 토목공학과 조교
**** 부산대학교 대학원 박사과정

1. 序 論

우리들이 계속 利用하고 있는 河川의 水質에 대한 監視와 豫測은 最近 우리社會의 큰 問題로 대두되고 있는 食水의 安定性 確保 및 河川水質 管理計劃에 있어서 아주 중요한 意味를 갖는다. 自然水路에서 汚染物質의 擴散過程의 硏究는 一般家庭이나 工場에서 放流된 汚染源에 의한 危險性을 計算할 뿐만 아니라 이에따른 取水口의 位置選定과 産業基地開發時 水質管理및 自然生態系 保護를 위한 基礎資料를 提供할 수 있다.

따라서 本 硏究에서는 不規則한 斷面을 가지면서 彎曲을 이루며 흐르는 自然水路에서 汚染物質의 定常狀態 2次元分布를 豫測하기 위한 數學的 模型를 나타내었다. 이를위한 座標軸設定을 위해 보통 使用하고있는 直交座標系(Cartesian Coordinate System)을 使用하지 않고 橫軸으로는 橫斷距離를 대신하여 橫累積流量(transverse cumulative discharge)을 座標軸으로 使用하고 縱軸을 흐름방향으로 채택한 自然座標系(Orthogonal Curvilinear Coordinate System)를 導入하였다.

그리고 自然水路에서의 連續方程式에서 無視할 수 없는 橫대류항(transverse convective term)을 以前 많은 硏究에서는 計算과 測定의 곤란때문에 無視하였으나 本硏究에서는 累積流量이 橫斷距離를 代身하는 變換에 의해 考慮할 수 있었다.

이에 따라 本硏究에서는 Yotsukura and Sayre가 誘導한 方程式을 基本으로 하여 有限差分法을 利用한 數値模型을 나타내었다. 開發된 數値模型의 妥當性을 檢討하기 위해 먼저 直線矩形水路에서 水理實驗을 행하고 다음으로 釜山市 鎭區 西面一帶를 흐르고 있는 東川에서 曲率이 비교적 심한 區間을 實驗室內에 一定한 縮尺으로 模型化하고 水理實驗을 행하여 數値模型의 現地 適用性을 檢討하였다.

2. 基本方程式

2.1 擴散方程式

一般的으로 쓰이고 있는 擴散方程式을 나타내면 式(1)과 같다.

$$\frac{\partial c}{\partial t}+U\frac{\partial c}{\partial x}+V\frac{\partial c}{\partial y}+W\frac{\partial c}{\partial z}$$

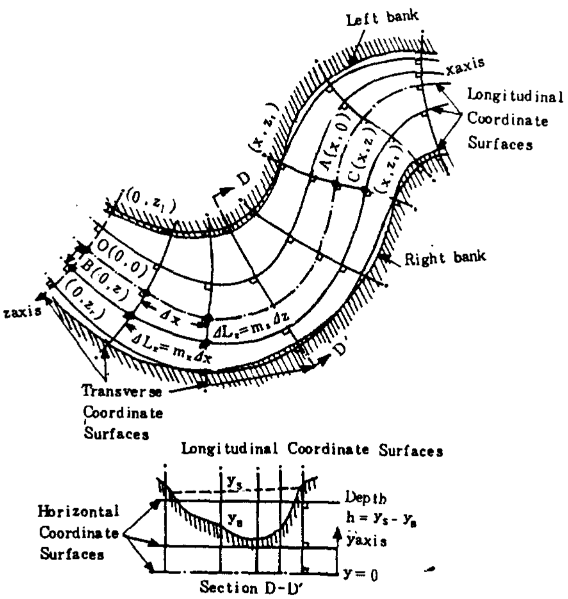

그림 1. 불규칙한 자연하천에서의 자연좌표계(직교 곡선좌표계)

$$=\frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_x\frac{\partial c}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_y\frac{\partial c}{\partial y})$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_z\frac{\partial c}{\partial z}) \quad (1)$$

여기서 ε_x, ε_y, ε_z는 物質의 亂流擴散係數이며 $[L^2T^{-1}]$의 次元을 갖고, c는 物質의 濃度이다. 이 式의 左邊 第 1項은 非定常項이며 濃度의 時間的 變化를 表示하고, 第 2項 以下는 各各의 方向, 平均流에 의한 移送率을 表示하며 右邊의 各項의 各項은 各方向의 亂流擴散을 表示한다. 그리고 여기서는 保存性 物質만을 고려하였다.

2.2. 自然座標系의 導入

本 研究에서는 彎曲部가 있고 깊이와 幅이 變化하는 自然河川을 좀더 詳細히 表現하기 위해 直交曲線座標系(Orthogonal Curvlinear Coordinate System)를 使用하였고 이를 나타내면 그림.1과 같다.

그림.1에서 x軸은 縱座標面(Longitudinal Coordinate Surface)과 水平座標面(Horizontal Coordinate Surface)의 交線이고 下流方向을 陽(+)으로 定義한다. 또 y軸은 橫座標面(Transverse Coordinate Surface)과 縱座標面과의 交線이고 上方向을 陽(+)으로 定意한다. 橫座標面과 縱座標面의 水平距離는 曲率을 갖기 때문에 一般的으로 같지 않다. 따라서 이를 補正하기 위해 距離補正係數 m_x, m_z를 使用한다.

그러므로 그림에서 나타낸것과 같이 B에서 C까지의 縱座標面을 따른 水平距離 $L_{bc}=\int_0^x m_x dx$이고 A에서 C까지의 橫座標面을 따른 水平距離 $L_{ac}=\int_0^z m_z dz$로 나타낼수 있다. 그리고 水平座標面은 平行이기 때문에 距離補正係數는 恒常 1이다.

따라서 不規則한 自然水路에 대한 連續方程式과 擴散方程式을 위에서 나타낸 自然座標系에 適用시켜 더욱 상세히 나타내면 式(2), (3)이 된다.

$$m_z\frac{\partial u}{\partial x}+m_x m_z\frac{\partial v}{\partial y}+m_x\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (2)$$

$$m_x m_z\frac{\partial c}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(m_z uc)+m_x m_z\frac{\partial}{\partial y}(vc)$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}(m_x wc)$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}(\frac{m_z}{m_x}\varepsilon_x\frac{\partial c}{\partial x})+m_x m_z\frac{\partial}{\partial y}$$

$$(\varepsilon_y\frac{\partial c}{\partial y})+(\frac{m_x}{m_z}\varepsilon_z\frac{\partial c}{\partial z}) \quad (3)$$

自然水路에서의 2次元 連續方程式과 擴散方程式을 구하기 위해서는 式(2), (3)을 그림. 1에서 볼 수 있듯이 바닥 〈$Y_B(x,z,t)$〉에서 水面 〈$Y_S(x,z,t)$〉까지 積分하면 된다. 이를 위해 첫번째 境界條件은 動力學的 境界條件(Kinematic boundary condition)으로서 式(4)와 같다.

$$V_{Y_s}=V_{Y_s}=0$$

$$V=\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{1}{m_x}u\frac{\partial y}{\partial x}+\frac{1}{m_x}w\frac{\partial y}{\partial z} \quad (4)$$

두번째 境界條件은 境界面을 通過하는 擴散溶質量(Diffusive solution mass)이 없다는 것이다. 이것을 백터로 表示하면 $Y=Y_s$, $Y=Y_B$에서 式(5)와 같다.

$$\vec{T}\cdot\vec{n}=0 \quad (5)$$

여기서 $\vec{T}$: 擴散放出백터(Diffusive flux vector)

$\vec{n}$: 單位法線백터

$$\vec{T}=\frac{\varepsilon x}{mx}\frac{\partial c}{\partial x}\vec{i}+\varepsilon y\frac{\partial c}{\partial y}\vec{j}+\frac{\varepsilon_z}{m_x}\frac{\partial c}{\partial z}\vec{k}$$

$$\vec{n}=\frac{\frac{1}{m_x}\frac{\partial y}{\partial x}\vec{i}+\vec{j}\frac{1}{m_z}\frac{\partial y}{\partial z}\vec{k}}{\sqrt{[\frac{1}{m_x}\frac{\partial y}{\partial x}]^2+1[\frac{1}{m_z}\frac{\partial y}{\partial z}]^2}}$$

두 境界條件을 利用하고 Leibnitz's rule과 레이놀즈 平均節次(Reynolds averaging procedure)를 이용하여 自然座標系에 適用한 2次元 連續方程式과 擴散方程式은 式(6),(7)과 같이 쓸 수 있다.

$$m_x m_z \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_x h v_x) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x h v_z) = 0 \quad (6)$$

$$m_x m_z \frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(m_z h v_x c) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x h v_z c)$$

$$= \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{m_z}{m_x} h E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{m_x}{m_z} h E_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) \quad (7)$$

여기서, $E_x = \langle \varepsilon_x \rangle + e_x$

e_x : 移流擴散係數(Convective dispersion coefficient)

v_x : $\langle u \rangle$, $v_z = \langle w \rangle$

$\langle\ \rangle$表示는 水深에 대한 平均을 나타낸다.

그리고 式(7)의 E_z를 위하여 다음과 같은 經驗式을 사용한다.

$$E_z = \alpha_z u_* h \quad (8)$$

여기서, α_z: 無次元 橫擴散係數

u_*: 摩擦速度

h : 水深

다음으로 式(6),(7)에서 流量 Q와 物質流入量이 定常狀態일때 下流 plume 또한 定常狀態가 되므로 이때 式(6),(7)에서 時間導函數項은 消去된다. 또 一方向 흐름에서는 擴散逐送(dispersive transport)인 $(\frac{E_x}{m_x})\frac{\partial c}{\partial x}$가 移流逐送(convective transport), $v_x c$에 비해 매우 작으므로 從方向 擴散項 $\frac{\partial}{\partial x}(\frac{m_z}{m_x} h E_x \frac{\partial c}{\partial x})$는 消去될 수 있어 式(9),(10)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(m_z h v_x) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x h v_z) \quad (9)$$

$$m_z h v_x \frac{\partial c}{\partial x} + m_x h v_z \frac{\partial c}{\partial z}$$

$$= \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{m_x}{m_z} h Ez \frac{\partial c}{\partial z}\right) \quad (10)$$

2.3 累積流量概念의 導入

式(9)을 더욱 간편하고 便利한 形態로 變換하기 위해 累積流量모델을 導入한다. 따라서 自然座標系에서 定義한 橫斷距離 Z를 代身하여 式(9)와 같이 定義할 수 있다.

$$q_c = \int_{z_L}^{z} m_z h v_x dz \quad (11)$$

式(11)를 左側bank z_L에서 任意의 z까지 積分하고 z와 x는 獨立인 條件과 Chain rule를 使用하므로서 溶質의 濃度의 函數c(x,z)를 c(x,q_c)로 바꾸면 式(12)과 같이 된다.

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial q_c}\left(m_x h^2 v_x E_z \frac{\partial c}{\partial q_c}\right) \quad (12)$$

모든 擴散過程에서 無視될 수 없는 橫速度 v_z를 測定하기 困難하기 때문에 數學的誘導過程에서 v_z가 自動的으로 考慮되는 式(12)는 擴散過程을 보다 嚴密히 나타낼 수 있을 것이다.

여기서, 距離補正系數는 式(13)으로 나타낼수 있다.

$$m_x = 1 \pm \left(\frac{z}{r_c}\right) \quad (13)$$

z : 橫斷距離

r_c: 軸의曲率

式(13)에서 下流로 向하여 왼쪽으로 굽으면 (+)이고 오른쪽으로 굽으면 (−)를 택한다.

3. 數值模型化 및 Stream Tube의 計算

3.1. 擴散方程式의 數值模型化

累積流量 形態로 變換된 擴散方程式인 式(12)을 解析하기 위해 다음과 같이 變換한다.

$$\frac{\partial c}{\partial x} + V\frac{\partial c}{\partial \eta} = D\frac{\partial^2 c}{\partial \eta^2} \quad (14)$$

여기서, $\eta=\frac{q_c}{Q}$

Q : 河川斷面의 總流量

q_c: 累積流量

$$V=-\frac{\partial Dz}{Q^2},\ D=\frac{1}{Q^2}Dz,$$

$$Dz=m_x h^2 v_x E_z$$

本硏究에서는 式(14)를 數値模型化하기 위해 Stone and Brian이 提案한 差分法을 利用하며 그림.2와 같은 格子点을 따라 差分化하며 式(15)과 같이 쓸 수 있다.

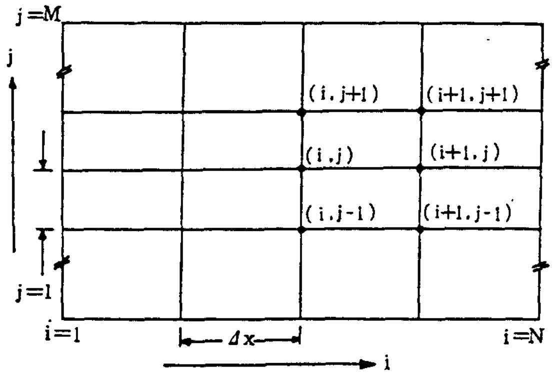

그림 2. 수치계산을 위한 격자분할

$$\frac{1}{\Delta X}[g(c_{i+1}-c_{i,j})+\frac{\theta}{2}(c_{i+1,j-1}-c_{i,j-1})+ m(c_{i+1,j-1}-c_{i,j+1})]+\frac{V_{i,j}}{\Delta\eta}[a(c_{i,j+1}-c_{i,j})+ (c_{i,j}-c_{i,j-1})+b(c_{i+1,j+1}-c_{i+1,j})+d(c_{i+1,j}- c_{i+1,j-1})]=\frac{D_{i,j}}{2(\Delta\eta)^2}[(c_{i,j+1}-2c_{i,j}+c_{i,j-1}) +(c_{i+1,j+1}-2c_{i+1,j}+c_{i+1,j-1})] \qquad (15)$$

이 數値模型에서 導函數 $\frac{\partial c}{\partial \eta}$는 加重係數 a, $\frac{\varepsilon}{2}$,b,d를 사용하여 구하고 $\frac{\partial c}{\partial x}$는 g,$\frac{\theta}{2}$,m을 使用해서 구한다. 이러한 係數들은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$a+\frac{\varepsilon}{2}+b+d=1,\ g+\frac{\theta}{2}+m=1$$

2차 도함수 $\frac{\partial^2 c}{\partial \eta^2}$를 구하는데는 가중계수가 사용되지 않고 Crank-Nicholson형의 計算이 2階導函數를 離散化시키기 위해 사용된다. 그리고 Stone and Brian은 앞의 數値形態가 V와 D가 常數인 경우뿐만 아니라 一般的인 경우에도 다음 값을 使用하는 것이 가장 近似한 값을 갖는다고 했다. 본 연구에서도 이 값을 使用한다.

$$g=\frac{2}{3},\frac{\theta}{2}=m=\frac{1}{6},$$

$$a=b=d=\frac{\varepsilon}{2}=\frac{1}{4}$$

다음으로 河川의 境界條件과 初期條件은 다음과 같다.

초기조건 : $c(0,\eta)=f(\eta)$ (농도분포의 실측치)

경계조건 : $\frac{\partial c}{\partial \eta}\Big|_{\eta=0}=\frac{\partial}{\partial \eta}\Big|_{\eta=1}=0$

3.2. Stream tube의 計算

水深과 流速의 橫分布를 實際로 測定하여 Stream tube의 幅과 그에 해당하는 水深 및 流速을 구한다면 汚染物質의 橫擴散分布를 把握하기 위해서 바람직하겠으나 幅이 아주 큰 河川에서는 이들의 測定에 엄청난 費用이 들 뿐만 아니라 作業상 많은 어려움과 많은 時間이 所要될 것이다.

이러한 점을 改善하기 위해 本硏究에서는 다음과 같은 方法으로 各Stream tube의 要素들을 계산하였다.

3.2.1. 水深計算

수심은 實際河川에서 Depth-sounding으로 測定할 수 있으나 本硏究에서는 다음과 같은 方法을 利用하여 水深을 구하였다.

두개의 斷面 i-1,i사이의 에너지 方程式은 다음

과 같다.

$$y_i + \left(\frac{Q}{A_i}\right)^2 \frac{1}{2g} + \frac{(x_i - x_{i-1})}{2}\left[\left(\frac{Q}{K_i}\right)^2 + \left(\frac{Q}{K_{i-1}}\right)^2\right] = y_{i-1} + \left(\frac{Q}{A_{i-1}}\right)^2 \frac{1}{2g} \qquad (16)$$

여기서, y : 水位

Q : 流量

A : 流水斷面積

g : 動力加速度

K : Section factor $\left(=\frac{1}{n}AR^{2/3}\right)$

윗 식을 利用하여 Newton-Raphson 반복계산에 의해 水位를 쉽게 구할수 있고 그 斷面의 地形을 適用시키면 그 斷面의 該當地点水深을 구할수 있다.

3.2.2. 流速分布計算

本硏究에서 必要한 깊이로 平均한 流速의 橫分布를 計算하기 위해 式(15)를 利用하였다.

$$\frac{u_d}{V} = \left(\frac{h}{H}\right)^{2/3} \qquad (17)$$

式(15)는 Manning平均流速公式에서 쉽게 알 수 있는 式이다. 여기서 V는 斷面 全體의 平均流速이고 H는 斷面全體의 平均水深이다. h는 各地点의 水深이며 u_d는 그 水深에 해당하는 流速이다. 따라서 水深 h와 H의 分布는 3-2.1)의 方法대로 구한 水深을 適用하고 Manning 평균유속공식을 이용하여 구한 단면전체의 平均流速 V를 適用하면 u_d의 橫分布를 구할 수 있을 것이다. 그러나 曲率이 심한 部分에서는 死水域이 생기기 때문에 이 部分에서는 流速을 直接 測定해야할 것으로 본다.

3-2.3. Stream tube幅의 計算

3-2.1-2)에서 흐름分布曲線이 구해지면 다음과 같은 方法으로 Stream tube를 分割하여 Stream tube의 幅을 구한다. 물론 模型化하는 河川에서 擴散過程이 全單面에 걸쳐서 일어날 것이라 豫想되면 斷面全體에서 같은 流量의 tube로 分割해서 使用하면 좋으나 만일 擴散現狀이 河川의 한쪽편에서 集中的으로 일어날것이라고 豫想되면 그 部分에서 더 작은 流量의 tube를 分割하여 計算하는것이 좋을 것이다. 分割하는 方法을 그림으로 說明하면 다음과 같다.

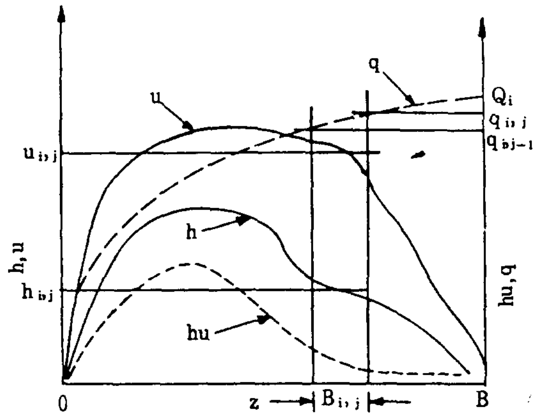

그림. 3 Stream tube의 계산방법

먼저 橫斷距離 z에 따라 1),2)에서 測定한 流速(u)과 水深(h)의 曲線을 plot하고 z에 따라 hu를 計算하여 累積流量曲線을 구한다.
그 累積流量曲線의 세로座標에서 $(q_{i,j} - q_{i,j-1})$이 원하는 Stream tube의 流量이다. 이部分에 해당되는 曲線의 점에서 가로座標로 연결하면 tube의 幅(B)이 정해지고 여기에 해당하는 h와 u의 중간값을 그 Stream tube의 水深과 流速으로 使用한다.

이상과 같은 全過程을 프로그램화하여 該當斷面의 Stream tube에 대한 必要한 要素들을 計算하였다.

4. 水理實驗

4.1. 實驗case및 實驗裝置

開發된 數値模型의 適用性을 檢討하기 위해 實

驗室內에서 다음과 같은 두가지 境遇에 대해 實驗을 行하였다.

1) 폭이 0.9m길이 13m의 傾斜調節이 容易한 直線矩型水路에서 側壁의 影響을 최대한 줄이기 위해 透明한 유리를 부착하였으며 流量은 高水槽→量水槽→四角weir→整水槽를 통해 供給하였으며 下流端의 影響을 줄이기 위해 제일 下端에 tail gate를 設置하였다.

2) 釜山市 鎭區 西面一帶를 흐르는 東川에서 曲率이 比較的 심한 一部區間을 實驗室내 1 : 20으로 縮尺하여 模型化하였으며 幅은 1.05m－1.35m이고 流路延長은 15m였고 바닥은 몰탈을 사용해서 비교적 매끈하게 處理하였다. 流量供給은 1)의 경우와 같으며 實驗區間은 上下流端 影響을 줄이기 위해 中間 10m區間만 使用하였다.

4.2. 實驗方法

實驗1) 그림.4와 같이 2.5m간격으로 4개의 斷面을 정하고 水路傾斜는 8×10^{-4}으로 固定하였으며 weir를 통하여 13ℓ/sec의 流量을 供給하였다. 各斷面에서 10개의 stream tube로 나누고 各 Stream tube의 中間点에서 流速을 測定하였고 point gauge를 사용하여 各 斷面에서 水位를 測定하였으며 各 tube의 중앙에서 깊이에 걸쳐서 均一하게 試料를 採取하였다. 試料採取는 흐름과 溶質의 分布가 定常狀態가 되었을 때 하였고 흐름에 주는 영향을 최대한 줄이기 위해 바늘이 긴주사기를 사용하였으며 溶質의 注入은 st.1의 中央點에서 하였고 溶質은 Rothamine.B dye를 使用하였다.

實驗2) 模型의 概略的인 狀態와 代表的인 斷面은 그림.5와 같으며 流量은 23ℓ/sec를 供給하였다. 흐름이 定常狀態가 되었을 때 各斷面마다 側壁에서 橫方向으로 5cm間隔으로 流速을 測定하였으며 斷面마다 水位를 測定하였다. 測定한 資料를 利用하여 3－2.3)의 方法으로 Stream tube를 分割하고 溶質은 st.0의 중앙에서 注入하였으며 試料採取方法은 1)의 경우와 同一하게 하였다. 實驗1)과 2)에서 採取한 試料는 紫外線分析機를 使用하여 濃度를 分析 하였다.

5. 結果및 分析

5.1. (實驗1)의 結果및 分析

溶質을 注入한 結果 採取된 試料의 濃度와 數値模型의 結果는 그림.6과 같다.

그림에서와 같이 數値模型의 結果는 無次元 橫擴散係數(α_z)값을 0.1에서 1.5까지 0.1씩 增加시키면서 計算결과 α_z값이 0.3일때 全單面에 걸쳐서 實測値와 잘 一致하고 있다.

以上에서 알 수 있듯이 특별한 斷面의 變化가 없으면 全單面에 걸쳐서 같은 無次元 橫擴散係數(α_z)를 使用하고 本硏究의 數値模型을 利用하여

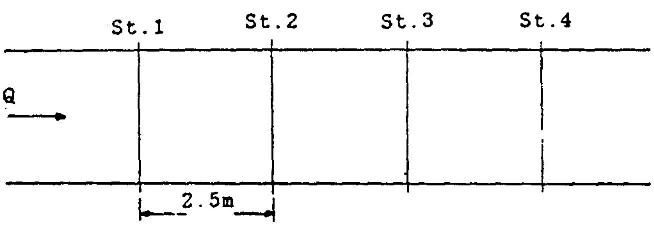

그림 4. 직선구형수로의 단면위치

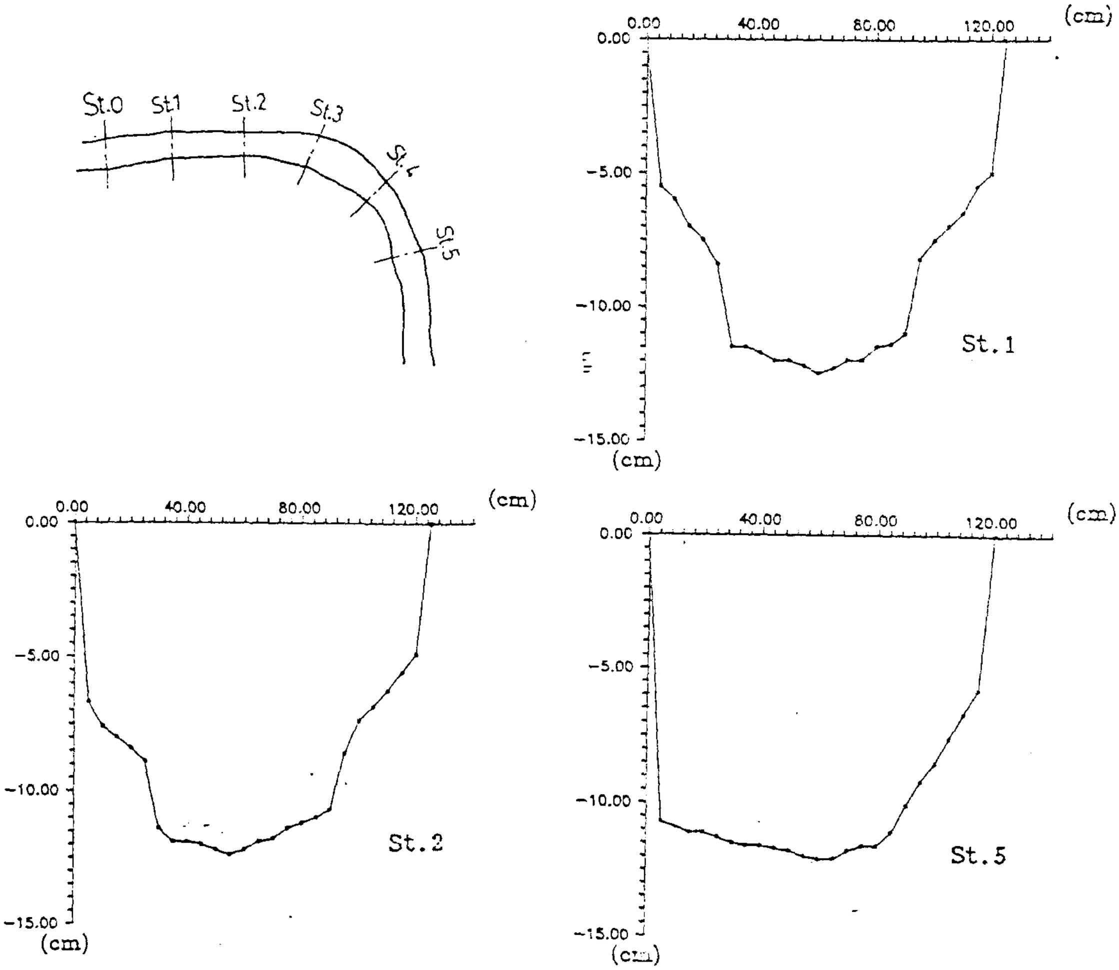

그림 5. 자연수로의 모형 단면형상 및 단면위치

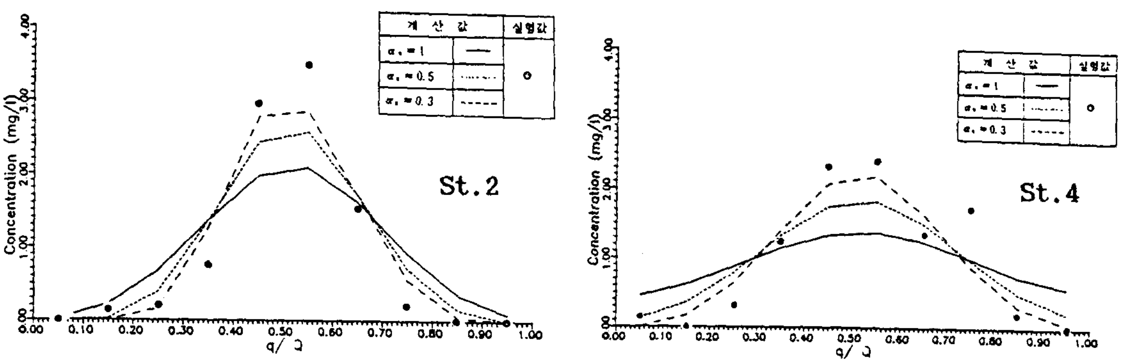

그림 6. 직선구형수로에서 실험및 계산결과의 비교

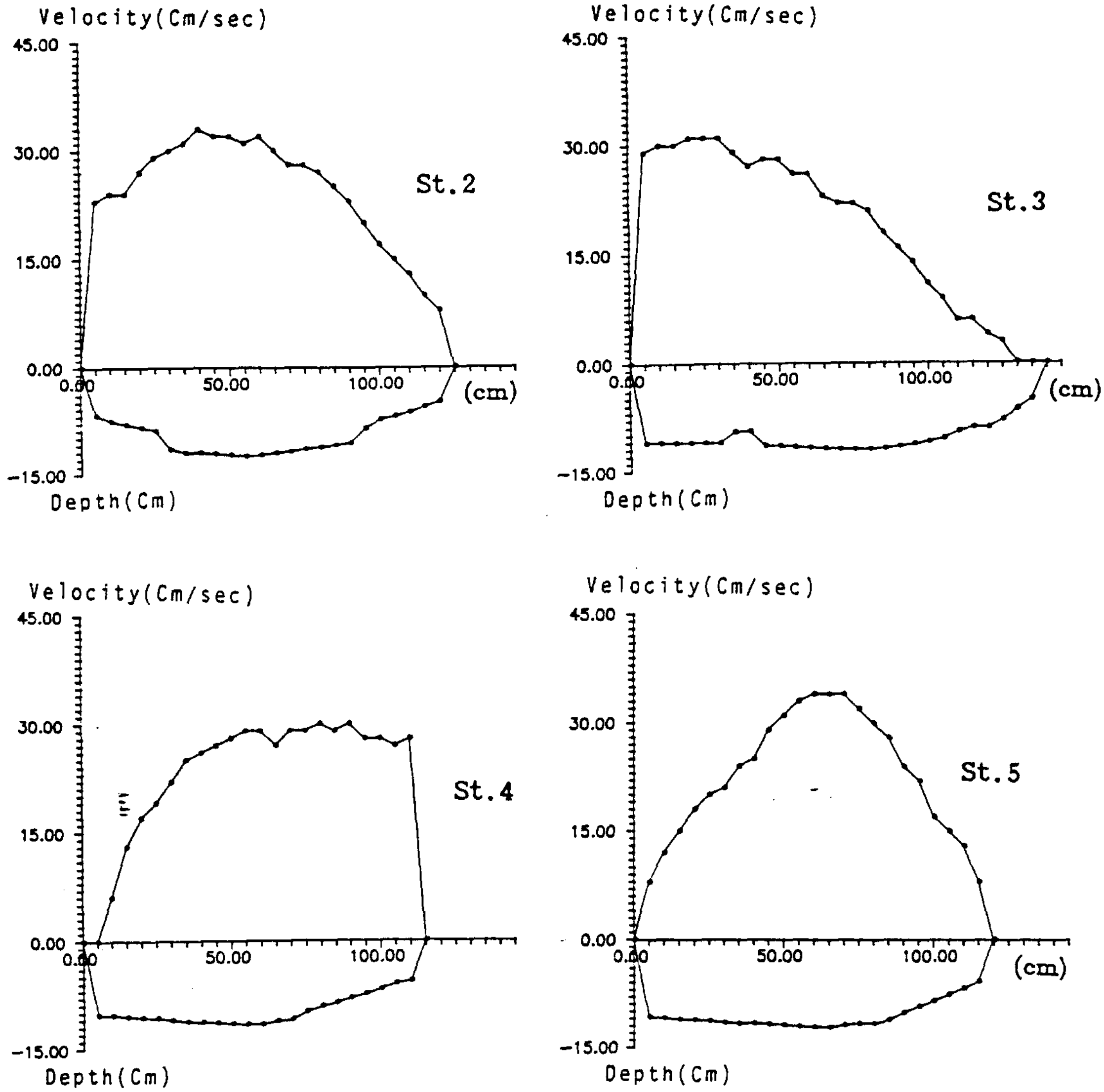

그림 7. 단면형상과 측정한 유속의 횡분포

計算하면 좋은 結果를 期待할 수 있겠다.

5.2. (實驗2)의 結果및 分析

먼저 直接測定한 流速및 水深을 使用하여 3-2.3)方法을 통해 Stream tube를 分割하고 이에 따라 정해진 水深과 流速을 使用하여 計算한 結果와 3-2의 방법으로 計算한 水深및 流速을 使用한 結果를 直接 測定한 濃度와 比較分析해본다.

5-2.1)實驗을 통하여 測定된 該當 斷面의 流速分布와 水深分布는 그림.7과 같다. 여기서 구해진 data를 利用해 3-2.3)方法으로 Stream tube를 分割하여 計算한 結果와 그 地點에서 實際測定한 濃度分布 q_c/Q에 대하여 나타내면 그림.8과 같다. 그리고 이것을 橫斷距離에 대한 濃度分布로 나타내면 그림.9와 같다.

그림에서 볼 수 있듯이 거의 직선을 이루는 구간에서는 무차원 橫擴散係數(α)값이 0.7일때

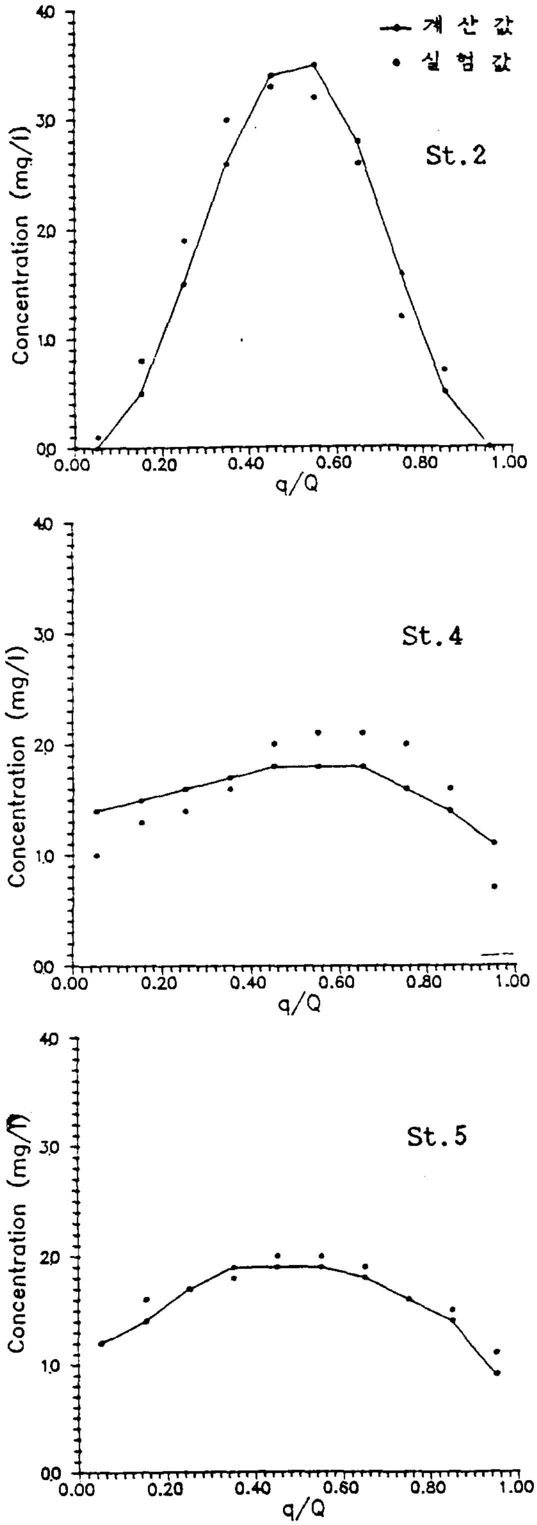

그림 8. q_c/Q에 대한 농도분포

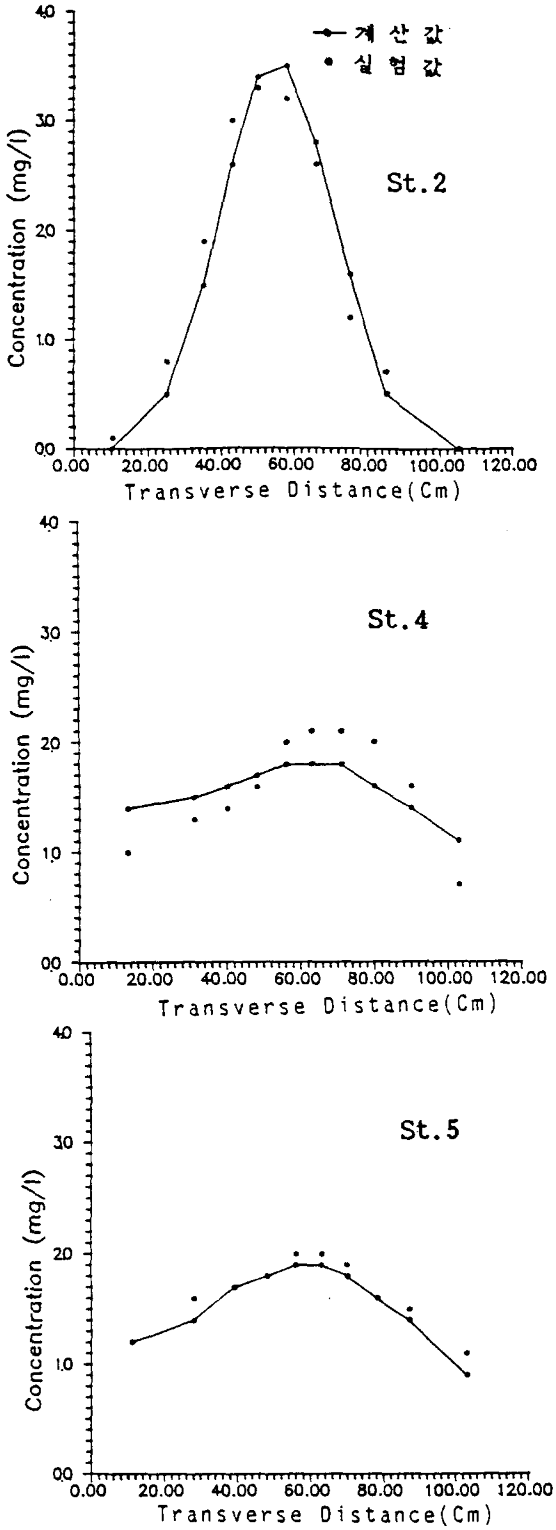

그림 9. 횡단거리에 따른 농도분포

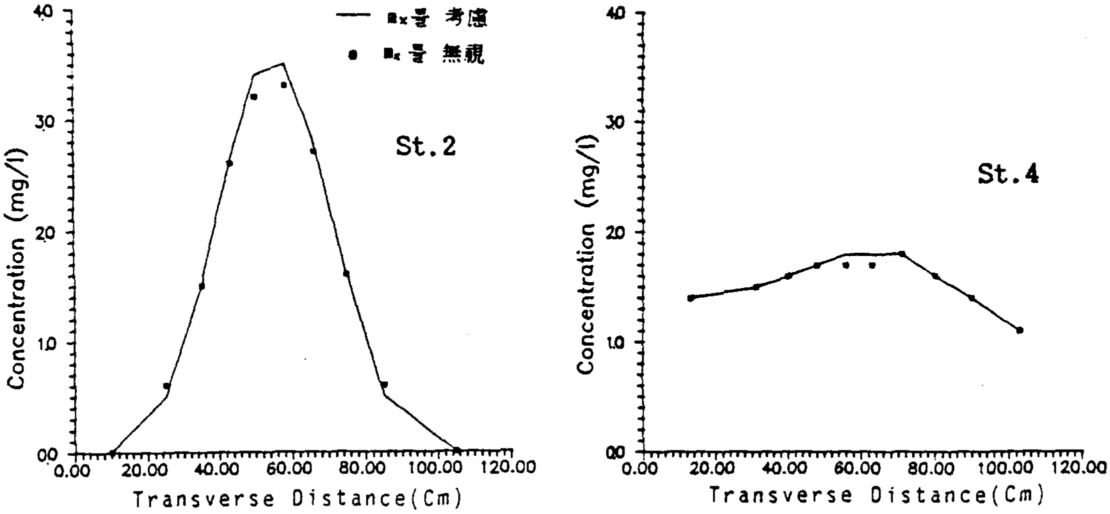

그림 10. 거리 보정계수(m_x)의 고려 유무에 따른 농도분포계산 결과 비교

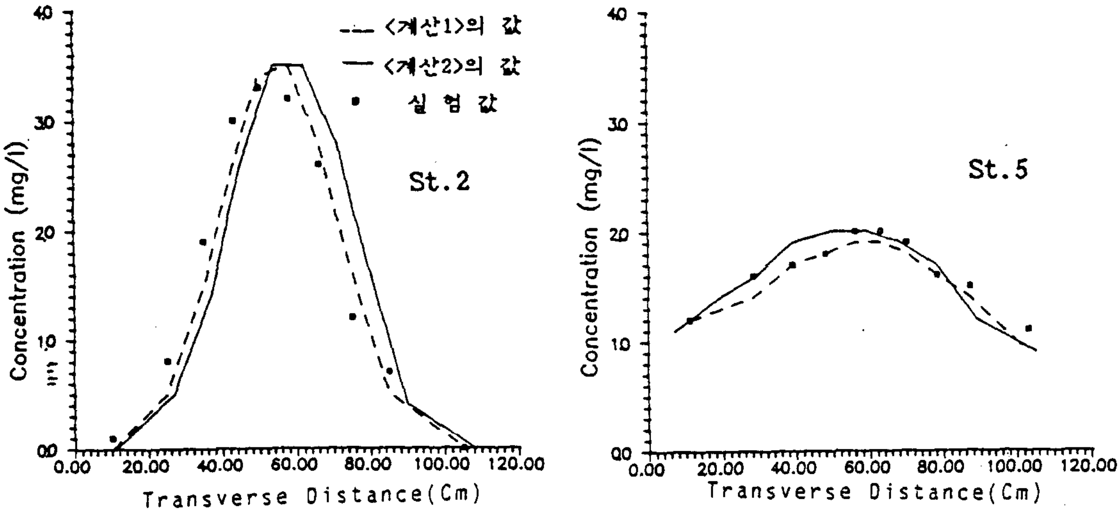

그림 11. (계산1), (계산2)의 결과와 실험결과와의 비교

計算値와 實驗値가 비교적 잘 一致하고 있음을 알 수 있다. 直線矩型水路보다 α_y값이 비교적 높은 것은 不規則한 斷面을 가짐으로 인한 2次流의 영향으로 생각되며 曲線部分은 α_y값이 1.7일때 잘 一致하고 있음을 알 수 있는 바 이는 曲線部分에서 2次流가 더욱 發達됨에 인한것으로 推定된다. 그림.10은 距離補正係數 m_x를 考慮하여 計算한 結果와 m_x를 無視하고 즉 1로 보고 計算한 結果를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 結果는 差異를 거의 보이지 않고 있다. 이를 볼때 斷面이 急激한 曲線을 이루지 않는 曲線區間에서는 距離補正係數 m_x를 考慮하지 않아도 結果는 誤差를 거의 보이지 않을 것이다.

앞의 結果들은 水深및 流速을 直接測定한것을 擴散豫測을 위한 數値模型에 適用시킨 結果들이며 이들은 比較的 實測値와 잘 一致하고 있음을

알 수 있다.

다음으로 本 研究에서 提案한 方法에 의해 計算한 水深및 流速을 適用시킨 結果들이며 이들을 그림.11에 나타내었다. 위 그림에서 (계산1)의 값은 直接測定한 流速과 水深을 適用시켜 計算한 값이고 (계산2)의 값은 本研究의 計算을 통하여 얻은 流速과 水深을 適用시켜 얻은 값이다. 그림에서 나타난 것처럼 急激한 曲線을 이루는 一部區間을 除外하고는 두方法의 結果와 實測濃度는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

이로 볼때 緩慢한 曲線을 이루는 一般河川에서는 本研究에서 提案한 計算方法을 利用하므로서 汚染物質의 擴散現狀을 豫測하는데 時間的, 費用面에 상당한 節約을 기하면서 滿足할 만한 結果를 얻을 수 있을 것이다.

6. 結 論

本研究에서는 不規則한 斷面을 가지고 曲線을 이루는 一般河川에서 汚染物質의 橫擴散現狀을 豫測하는 方法으로서 自然座標系를 利用하고 累積流量概念을 導入하였고 이를 利用하여 以前의 研究에서 종종 無視하였던 流速의 橫速度項을 考慮할 수 있는 定常狀態 2次元 橫擴散方程式을 提案하였다.

이에 따른 全過程을 計算에 의해 簡單히 구할 수 있는 方法을 開發하여 이의 計算結果와 實驗結果를 比較檢討함으로서 다음 몇가지 事項을 알 수 있었다.

1) 現在 우리나라와 같이 急激한 曲率을 갖지 않는 河川에서는 本研究의 式에 包含되어 있는 距離補定係數(m_x)를 考慮하지 않아도 滿足할 만한 結果를 얻을 수 있겠다. 그러므로 m_x를 알기 위한 여러가지 번거러운 作業을 피할 수 있다.

2) 斷面이 아주 不規則하고 거친 粗度를 갖고 曲線區間을 갖는 河川일수록 2次流의 發達로 인해 橫擴散係數값이 상당히 커짐을 알 수 있었다.

3) 우리들이 계속 利用하고 있는 一般河川이나 특히 取水口가 있는 河川에서의 擴散係數값이 여러 조사를 통하여 미리 정해져 있다면 本研究에서 提案한 方法을 利用하므로서 汚染物質의 擴散過程을 豫測하는데 費用面에서 아주 經濟的이고 時間的인 節約을 상당히 기하면서 정확하게 豫測할 수 있을 것으로 기대된다.

2) 斷面이 아주 不規則하고 거친 粗度를 갖고 曲線區間을 갖는 河川일수록 2次流의 發達로 인해 橫擴散係數값이 상당히 커짐을 알 수 있었다.

3) 우리들이 계속 利用하고 있는 一般河川이나 특히 取水口가 있는 河川에서의 擴散係數값이 여러 조사를 통하여 미리 정해져 있다면 本研究에서 提案한 方法을 利用하므로서 汚染物質의 擴散過程을 豫測하는데 費用面에서 아주 經濟的이고 時間的인 節約을 상당히 기하면서 정확하게 豫測할 수 있을 것으로 기대된다.

參考文獻

1. Chang,Y.C.(1971) *Lateral mixing in meandering channels*, Ph.D. dissertation, Univ. of Iowa, Iowa City.
2. Daily,J.W. and Harleman,D.R.F.(1973) *Fluid Dynamics*, Addison–Ivesley Publication Inc. Mass. U.S.A. pp.424–431.
3. Fisher,H.B.(1967) *The Mechanics of Dispersion in natural streams*, Proc. of A.S.C.E. Jr. of Hydraulics Division Vol.93(HY6) pp.187–216.
4. Fischer,H.B.,(1969) *The effect of bends on dispersion in streams*, Water Resource Res., 5(2), 496–506.
5. Fischer,H.B.,et al.(1979) *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York, pp109–112.
6. Forrest M.Holly,Jr.,(1975) *Two–Dimensional Mass Dispersion in River*, Hydrol Paper, No.8.
7. Hinze,J.O.,(1959) *Turbulence, chap.5*, McGrawHill,

New York, pp275–375.

8. Lau,Y.L. and Krishnappan,B.G.(1977) *Transverse Dispersion in Rectangular channels,* Proc. of A.S.C.E. Jr. of Hydraulics Division Vol.103(HY.10) pp1173–1189.
9. McQuivey,R.S. and Keefer,T.N.(1974) *Simple method for prodicting Dispersion in streams,* Proc. of A.S.C.E. Jr. of E.E. Division Vol.100(EE.4) pp.997–1011.
10. Sayre,W.W. and T.P.Yeh(1973) *Transverse mixing characteristics of the Missouri River downstream from the Cooper Nuclear Station,* HHR Rep.145, Iowa Inst. of Hydraul. Res., Univ. of Iowa, Iowa City.
11. Stone,H.L. and Brian,P.L.T.(1963) *Numerical Solution of Convective Transport problems,* American Institute of Chemical Engineering Journal, Vol.9, pp681–688.
12. Yotsukura,N. and E.D.Cobb,(1972) *Transverse diffusion of solutes in natural streams,* U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 582–c.
13. Yotsukura,N.and Sayre,W.W.(1976) *Transverse Mixing in Natural Channel,* Water Resources Research, Vol.12, No.4, Aug., pp.695–704.
14. 釜山市,(1989) 東川整備 基本計劃變更 및 水理模型實驗研究.
15. 李適宇,(1987) 八木俊策, 末石富太郎., 定川の 水質擴散およびその水道水源に對する 影響、水理講演集.