<論 文>

水理 模型實驗을 通한 汚染物質의 稀釋擴散散에 關한 硏究

<A Study on the Dilution-Dispersion of Pollutant by Hydraulic Model>

朴 定 應
Jung-Eng Park

Abstract

This study examines the dilution-dispersion phenomen in the main stream when a polluted branch stream flows into it. A hydraulic model was used for it. As the discharge of the main stream and the branch one were changing, the qualitative dispersion, the stream regimen, the velocity of the flow and the hydraulic properties were observed.

It was found that the faster the velocity was and the greater the flow discharge ratio was, the more dilution-dispersion phenomenon occurred.

And as the velocity of the flow was increasing, so was the longitudinal dispersion velocity. But the transverse dispersion velocity was relatively reduced. Therefore, it is concluded that the dispersion by the distribution of velocity is increased.

要 旨

本 硏究는 水理模型實驗을 通하여 支流로부터 流入된 汚染源이 合流後에 如何히 稀釋擴散하는 가에 對하여 糾明하였다. 本流와 支流의 流量을 變化시키면서 定性的인 擴散傾向, 流況, 流速, 水理的인 特性을 觀察하였다. 稀釋擴散의 結果는 汚染源으로부터의 距離 및 汚染의 進行時間에도 많은 影響을 받으나 무엇보다도 그 地點의 流體의 流速이 빠를수록 그리고 流量比가 클수록 汚染物質의 稀釋擴散의 效果는 크게 나타났다. 또한, 流速이 커질수록 從方向의 擴散速度는 相對的으로 增加하고 橫方向의 擴散速度는 減少된다. 이는 속도분포에 의한 擴散이 커지기 때문인 것으로 사료된다.

1. 緖 論

河川의 水質汚染은 生產工場의 增大로 因하여 排出되는 大量의 工場廢水, 人口의 都市集中에 의한 都市下水의 增大, 多量의 農藥使用으로 因한 汚染等 그 汚染의 程度가 날로 深刻해지고 있는 實情이다.[2,3] 그러나 河川은 一般的으로 多少의 汚染物質이 流入한다해도 自體淨化能力을 가지고 있어서 河川이 그 淨化能力의 範圍內에 있다면 汚染現象은 自然的으로 除去될 것이나, 淨化能力을 超過할 때는 汚染問題가 誘發되어 水中의 溶存酸素 均衡이 무너짐으로써 水棲生物의 分布面이나 產業用水의 經濟的 利用에도 나쁜 影響을 미치게 될 것이다.

最近에는 廢水가 河川에 放流되었을 때 그 汚染源이 어느 程度 稀釋擴散될 것인가에 대한 關心이 증가되고 있다.[2,6] 大部分의 汚染物質이 河川水의 自然的인 移動에 의해서 다른 장소로 流送되거나 물에 溶解되어 混和된다. 上流로부터 流入되는 汚染物質은 體積移動(bulk motion)과 亂流移動(turblent motion)에 의해서 稀釋擴散되어진다.[5,6,7] 이렇게 流入된 汚染物質은 단순한 量的 側面에서의 稀釋 이외에도 河川勾配, 水面勾配, 水深, 水面幅, 橫斷形狀 등의 各種 水理條件과

* 京畿工業開放大學 敎授

장래의 河床變動 등을 고려하여 複合的인 解析이 필요하다.[1,2,8]

따라서 本考에서는 擴散理論을 토대로 支流로부터 流入된 汚染源이 合流後에 如何히 稀釋擴散하는가에 對한 基礎的인 硏究로써 本流와 支流의 流量을 變化시키면서 定性的인 擴散傾向, 流況, 流速, 水理的인 特性을 把握하여 稀釋擴散의 豫測에 대한 接近方法을 例示하는데 있다.

2. 稀釋擴散의 理論

河川에서 有機物質의 一次元的 定常狀態의 모델을 數式으로 表示하는 경우 濃度項은 다음과 같은 3가지 變數로 나타낼 수 있다.[6,7] 즉, 擴散(分子擴散과 渦流에 의한 混合)體積移動 그리고 化學的 反應 이러한 關係를 式으로 表示하면 아래와 같다.

$$d[E_x A\ Cdc/dx]/dx - Q\ dc/dx - kAC = 0 \cdots\cdots (1)$$

x : 距離

c : 濃度

A : 水路斷面積

E_x : 擴散係數(x 方向)

k : 減少係數

Ippen (1966)[6]은 河川에서 물의 移動을 주로 體積移動(bulk motion : 潮流, 潭水流)과 亂流移動으로 크게 區分하고 있다. 溶存物質이 河川에 放流되었을때 그 物質은 물의 體積移動에 의해서 放流地點으로부터 流送되고 亂流移動에 의해서 흐름의 縱·橫方向으로 擴散된다. 體積移動에 依한 物質의 傳達을 3次元으로 表示하면 아래와 같다.

縱方向 質量線速 (mass Fux) $= (UC - E_x \partial c \div \partial x)$

直角方向 質量線速 (mass flux) $= (VC - E_x \partial c/\partial y)$

橫方向 質量線速 (mass flux) $= (WC - E_y \partial c/\partial z)$ $\cdots\cdots (2)$

U, V, W : x, y, z 方向의 速度

E_i : i 方向의 擴散係數 ($i = x, y, z$)

그러므로 上記 式으로부터 非定常狀態(unsteady state)의 物質收支 관계를 利用하면 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}\left(UC - E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(VC - E_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(WC - E_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) + S \cdots\cdots (3)$$

(단, S = 외부로부터 附加되는 汚染物質量)

式(3)을 풀기위해서는 境界條件이 필요하나, 實際適用面에서는 아래와 같은 問題點을 內包하게 된다.

첫째, 技術的인 適用面에 있어서 상세한 濃度分布에 대한 關心의 缺如.

둘째, 亂流擴散係數에 대한 資料의 不充分.

셋째, 資料解析의 難易性

이러한 어려움 때문에 Okubo[6] (1964)는 河川에서의 擴散에 대한 解析은 一次元 모델(垂直, 水平) 解析이 適合하다고 하여 式(3)을 아래와 같이 變形解析했다.

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(A\bar{c}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}\left(A\bar{u}\bar{c}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(Ak_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}\right) + S$$

$\bar{c}(x,t)$: 斷面積 $A(x,t)$에 대한 濃度

$\bar{u}(x,t)$: 斷面積 $A(x,t)$에 대한 體積平均移動速度

k_x : 亂流擴散係數

3. 實驗方法

3-1. 模型의 諸元

本 實驗에 使用된 模型의 配置圖 및 諸元은 그림 1, 表 1과 같으며 河床은 모르터面으로 固定床이다.

Table 1. Experimental scale of model

Classification	width (m)	bed slop	remarks
main strean	2.5	1/600	branch stream inflow for main stream as 45 degree
branch stream	1.5	1/400	
main stream in conflux point	3.0	1/600	

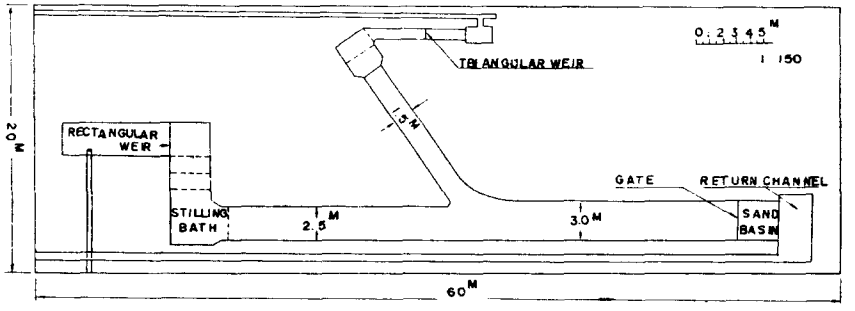


Fig. 1 Experimental Model Test Layouts.

3-2. 實驗對象 流量

支流와 本流의 流量比를 5가지(流量比 : 5.33, 4, 3.2, 2.4, 1.6) 경우로 나누어가면서 汚染源의 稀釋擴散을 觀察하였다(표 2 참고).

Table 2. Experimental discharge

Case	discharge (l/sec)		discharge ratio (Q_1/Q_2)
	main stream (Q_1)	branch stream (Q_2)	
Ⅰ	80	15	5.33
Ⅱ	60	15	4
Ⅲ	80	25	3.2
Ⅳ	60	25	2.4
Ⅴ	40	25	1.9

3-3. 測 定

3-3-1. 水面勾配

어떤 特定한 河川을 模型實驗한 것이 아니기 때문에 水面勾配는 本流의 河床勾配가 1/600이 되도록 水門을 調節하여 定하였다.

3-3-2. 流速測定

測定間隔은 本流, 支流 모두 1m 간격으로 하여 프로펠러형 流速計를 使用하여 横方向으로 각각 5~6個點씩 鉛直方向에서 水深의 0.6지점에서 流速을 測定하였다.

3-3-3. 流況觀察

合流點以下에서의 흐름의 現狀과 濃度의 稀釋擴散傾向을 觀察하기 爲하여 $KMnO_4$를 支流의 最上流端에서 投下하여 觀察하였다.

3-3-4. 濃度測定

汚染의 對象으로는 測定하기 쉬운 소금물을 만들어 支流의 最上流端에서 全幅에 걸쳐 일시에 投下하여, 支流의 流量과 완전 혼합되어 일정농도가 되도록 하였다. 소금물이 섞인 후 支流의 流量이 本流의 流量과 합쳐져서 合流部 下流로 流下되었을때, 비이커로 水深 3分의 1이되는 點에서 試料를 採取하여 濃度를 分析하였다.

4. 實驗結果 및 考察

本流와 支流 모두 1m 간격으로 하여 流速을 測定한 結果와 支流에 골고루 混入된 基準數値가 5인 소금濃度의 擴散傾向을 把握하기 爲하여 合流點과 合流點으로부터 下流 3m, 6m 地點을 3個點씩 測定한 結果는 그림 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 4-1, 4-2, 5-1, 5-2, 6-1, 6-2과 같이 나타났다.

한편, 上記 實驗結果値를 稀釋擴散의 傾向을 解析하기 위하여 표 3과 그림 7, 8, 9와 같이 要約 整理하였다.

結果的으로 流量比가 클수록 本流 및 支流의 合流點에서의 流速分布의 變化가 크게 나타났다. 이는 그림 7, 8, 9에 나타난 것처럼 流速分布(流量比)의 變化

Table 3. Result of measured concentration

	Conflux point			3m after Conflux point			6m after Conflux-point			C_3	dilution ratio in conflux point (%)
	left	center	right	left	center	right	left	center	right		
Case Ⅰ $Q_1=80l$/sec $Q_2=15l$/sec	2.8	0.5	0.4	1.4	0.4	0.5	1.3	0.4	0.4	1.1	44
Case Ⅱ $Q_1=60l$/sec $Q_2=15l$/sec	3.0	0.6	0.5	1.7	0.5	0.5	1.2	0.5	0.6	1.44	40
Case Ⅲ $Q_1=80l$/sec $Q_2=25l$/sec	3.0	0.4	0.5	2.4	1.0	1.0	1.6	0.6	0.6	1.5	40
Case Ⅳ $Q_1=60l$/sec $Q_2=25l$/sec	3.6	0.7	0.5	1.9	0.5	0.5	2.0	0.6	0.5	1.7	28
Case Ⅴ $Q_1=40l$/sec $Q_2=25l$/sec	3.9	0.6	0.6	3.8	0.6	0.7	2.8	0.6	0.5	2.2	22

Notices) 1. Above values are equivalent to standard value 5

2. Equation of the conflux point concentration

$$C_3=\frac{Q_1C_1+Q_2C_2}{Q_1+Q_2}$$

Q_1 : main stream discharge
C_1 : main stream concentration
Q_2 : branch stream discharge
C_2 : branch stream concentration
C_3 : conflux point concentration

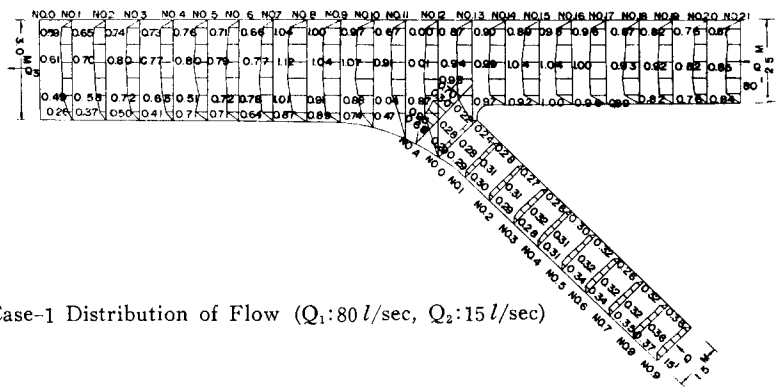


Fig.2-1. Case-1 Distribution of Flow (Q_1:80 l/sec, Q_2:15 l/sec)

Fig.2-2. Case-1 Distribution of Concentration (Q_1:80 l/sec, Q_2:15 l/sec)

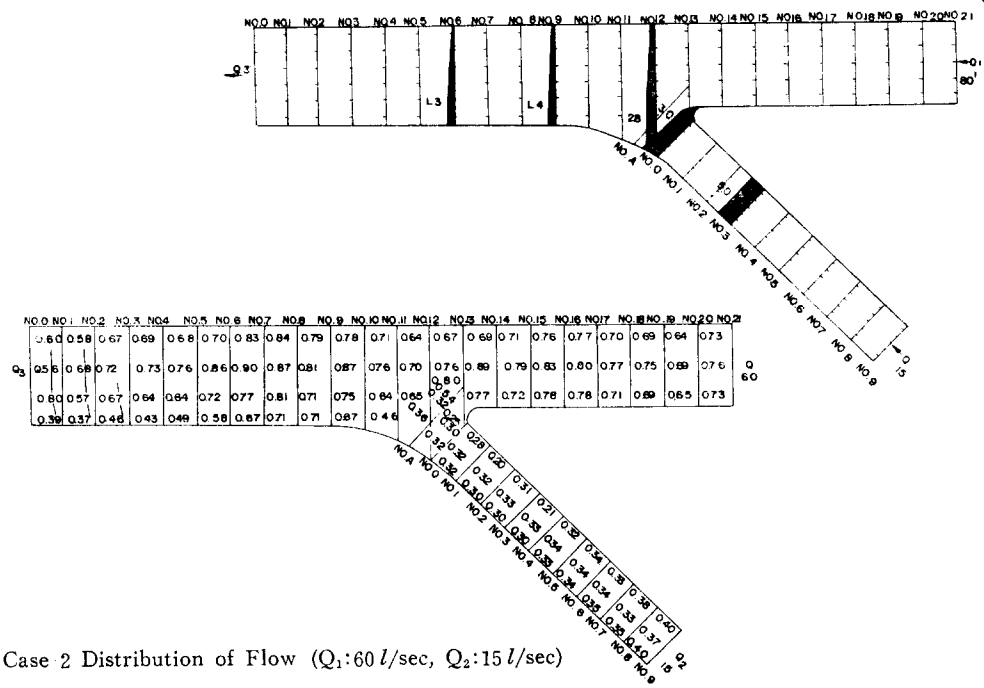
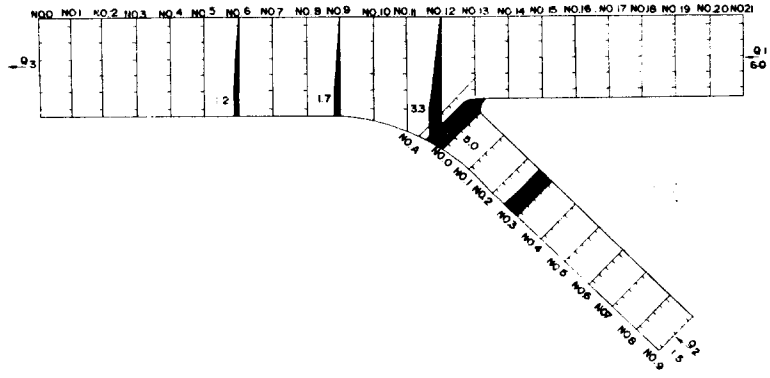


Fig.3-1. Case-2 Distribution of Flow (Q_1:60 l/sec, Q_2:15 l/sec)

Fig.3-2. Case-2 Distribution of Concentration (Q_1:60 l/sec, Q_2:15 l/sec)



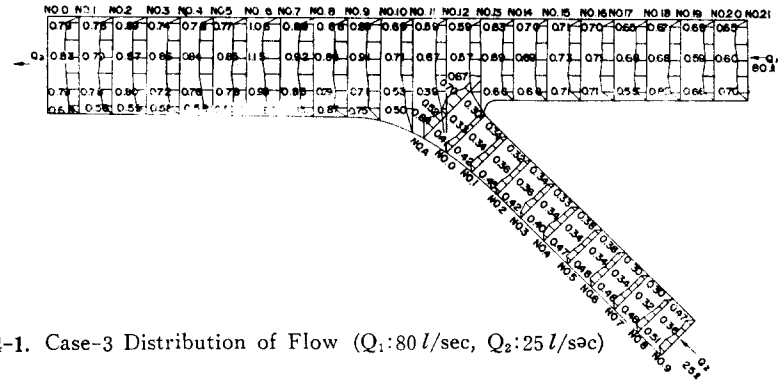


Fig.4-1. Case-3 Distribution of Flow (Q_1:80 l/sec, Q_2:25 l/sec)

Fig.4-2. Case-3 Distribution of Concentration (Q_1:80 l/sec, Q_2:25 l/sec)

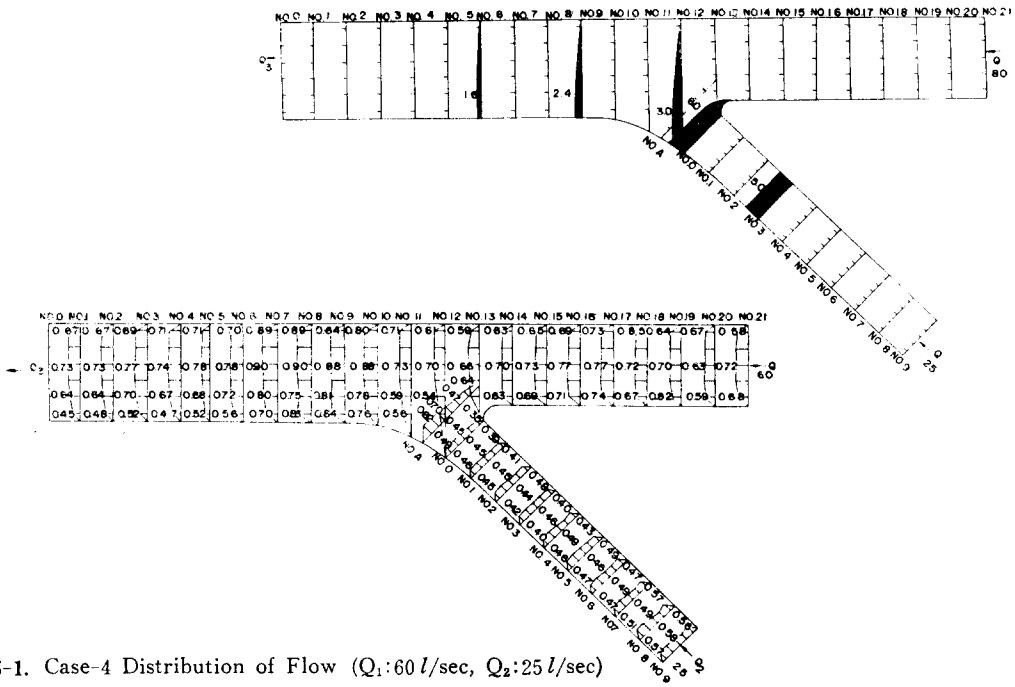
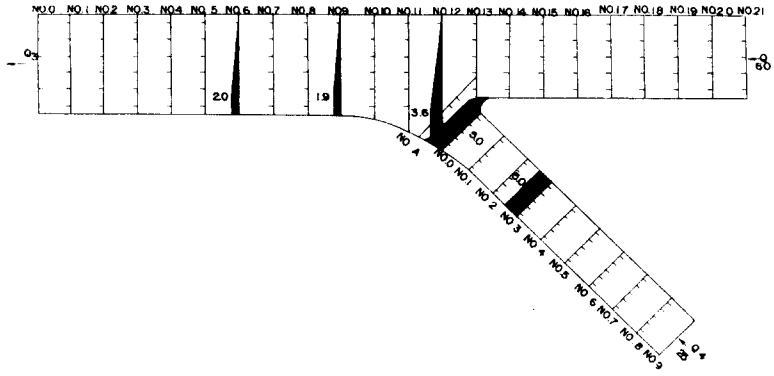


Fig.5-1. Case-4 Distribution of Flow (Q_1:60 l/sec, Q_2:25 l/sec)

Fig.5-2. Case-4 Distribution of Concentration (Q_1:60 l/sec, Q_2:25 l/sec)



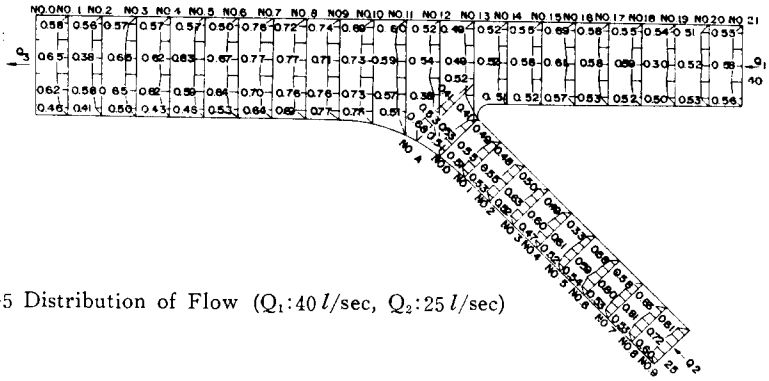


Fig.6-1. Case-5 Distribution of Flow (Q_1:40 l/sec, Q_2:25 l/sec)

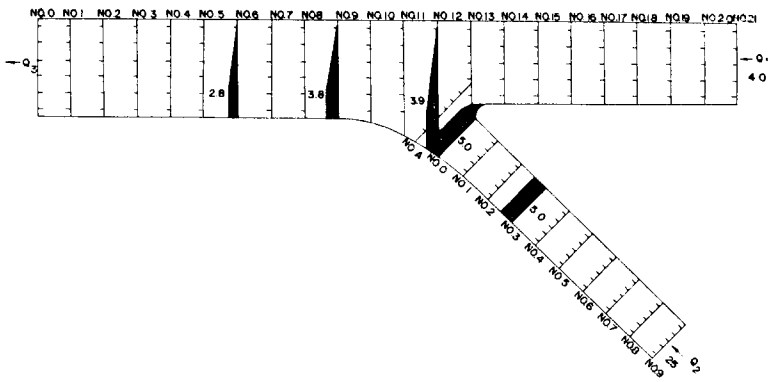


Fig.6-2. Case-5 Distribution of Conceutration (Q_1:40 l/sec, Q_2:25 l/sec)

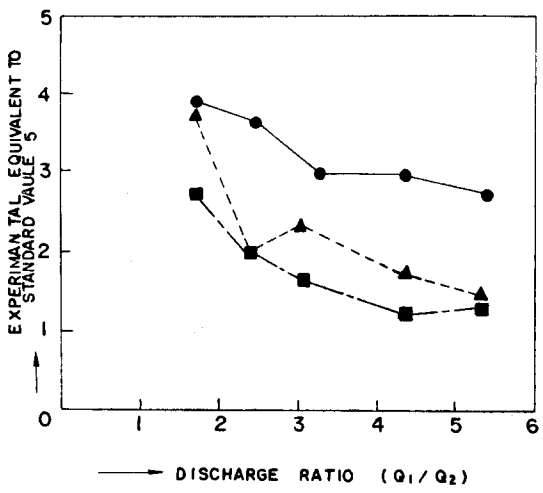


Fig.7. Relationship between experimantal equivalent tostandard values and discharge ratio in the left of main stream after conflux point.

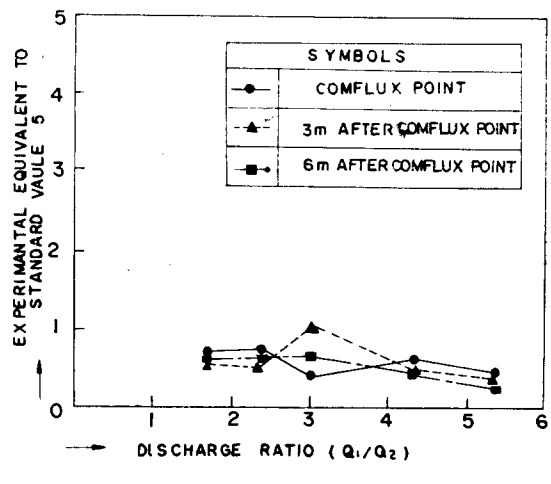


Fig.8. Relationship between experimantal equivalent to standard values and discharge ratio in the center of main stream after conflux point.

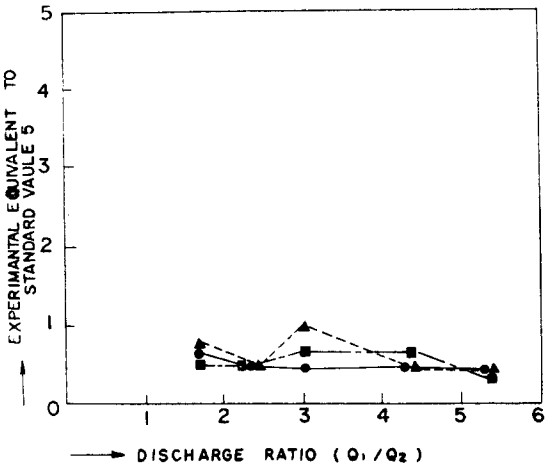


Fig. 9. Relationship between experimantal equivalent to standard values and discharge ratio in the right of main stream after conflux point.

가 클수록 稀釋擴散이 빨리 進行됨을 알 수 있다. 표 3에 依하면 實測된 농도는 算術平均에 의한 농도와 상당히 큰 差異가 있음을 알 수 있으며, 이는 汚染物質의 擴散이 合流點 이후에 縱橫方向으로 서서히 일어남을 보여준다. 그림 7은 대략적으로 流量比가 증가할수록 縱方向 擴散이 증가하는 경향을 보인다. 그림 8, 9에 依하면 水路의 중앙점과 흐름방향의 오른편에서 縱方向擴散에도 불구하고 各斷面에서 거의 같은 濃度를 보이는 것은 縱方向 擴散에 依해 감소되는 量만큼 橫方向 擴散에 依해 汚染物質 전달이 된다고 말할 수 있다. 合流點에서의 稀釋擴散의 濃度는 Ippen (1966)[6] 의 설명에서와 같이 量的 혼합 이외에 亂流移動에 依하여 흐름의 縱橫方向으로 퍼져나가는 것을 立證한다고 볼 수 있다.

5. 結　論

水理模型實驗을 通하여 支流로부터 流入된 汚染源이 合流後에 如何히 布釋擴散하는가에 對하여 定量的으로 嚴密한 結果를 얻기는 어려웠으나 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 縱·橫方向의 擴散은 流量比가 증가할 수록 증가된다고 생각된다.

2) 稀釋擴散의 效果는 汚染源으로부터의 距離 및 汚染의 進行時間에도 많은 影響을 받으나 무엇보다도 流速에 支配的인 影響을 받는다.

3) 流速이 커질수록 縱方向의 擴散速度는 相對的으로 增加하고 橫方向 擴散速度는 減少된다. 이는 속도분포에 依한 擴散이 커지기 때문인 것으로 생각된다.

本 硏究에서는 水理的 모델에 의한 擴散調査에 그쳤으나 擴散現象을 정확하게 이해하기 위하여는 數學的 모델에 의한 理論的 調査와 병행하여야 되리라 생각된다.

本 硏究發表는 1979年 10月부터 1983年 12月까지 國立建設硏究所(現 건설시험소) 水工科의 事業結果로서 協助를 아끼지 않으신 여러분께 감사드리며 特히 盧在華係長任의 勞苦에 심심한 사의를 표합니다.

<參 考 文 獻>

1. 朴定應, 量水學, 學硏社, 1983.
2. 建設部國立建設硏究所, 河川維持用水의 管理에 關한 硏究, 建設硏究所資料, No. 408, 1980.
3. 金煥起, 電算解析에 依한 河川汚染의 總量規制 方案에 關한 硏究, (全北大政策課題硏究), 1981.
4. 柳明辰, "海中放流管으로부터의 下水擴散," 大韓環境工學會誌, Vol. 1, No. 1, 1979.
5. Kittrell, F.W., and Kochtitzky, O.W., "Stream Pollution-Natural Purification Characteristics of a Shallow Turbulent Stream," *Sewage Works*, Vol. 1, 9 No. 6, pp. 1032, 1947.
6. James, J., *Mathematical Models in Water Pollution Control*, John Wiley & Sons, New York, 1978.
7. Fischer, H.B., "The Mechanics of Disperson in Natural Streams," *J. Hydraulics Div. ASCE* Vol. 93, HY6, pp. 187~216, 1967.
8. Holley, E.R., Harleman, D.R.F., and Fischer, H. B., "Dispersion in Homogeneous Estuary Flow," *J. Hydraulics Div ASCE*, Vol. 96, HY8, pp. 1691~1709, 1966.
9. Fischer, H.B., "Dispersion Predictions in Natural Streams," *J. Sanitary Eng. Div. ASCE*, Vol. 93, SA5, pp. 927~943, 1968.
10. Orlob, G.T., "Eddy Diffusion in Homogeneous Turbulence," *J. Hydraulics Div·ASCE*, Vol. 89, HY9, pp. 75~101, 1959.