

*Hyoung Tack Huh*



河口의 潮汐플러싱現象 및 汚染物質  
分布狀況의 推定

1977. 2

韓國船舶海洋研究所



# 提 出 文

韓國船舶海洋研究所 所長 貴下

이 報告書를 “河口의 潮汐플러팅現象 및 汚染物質分布狀況의 推定”에 關한 研究의 最終報告書로 提出합니다.

1977年2月

研究部署：海洋第2研究室

研究責任者：宋 源 吾

研究員：崔秉昊，柳明辰

李根鎔，蔡璋源

鄭景太.



# 要 約 文

## 1. 研究題目

河口的 潮汐플러싱現象 및 汚染物質分布狀況의 推定에 關한 研究

## 2. 研究目的

本 研究의 目的은

- 1) 河口 및 沿岸의 物理的, 化學的 特性을 說明하며
- 2) 汚染物質이 河口 및 沿岸에 放流될 때 이의 分布狀況을 一般的으로 推定하는 方法을 提示하는 데 있다.

## 3. 研究內容 및 範圍

- 1) 汚染物質의 分布를 推定하기 爲한 여러 方法이 提示되고 適用되었다.
- 2) 컴퓨터를 利用한 水質 모델 및 海中放流管 모델이 提示되었으며 錦江과 寧日灣에 이 모델들을 適用하였다.
- 3) 모델의 檢證은 利用資料의 信憑度때문에 이루어지지 않았다.

## 4. 研究結果

綜合的인 多目的 水質管理計劃을 樹立하기 爲해서는 水質 모델을 利用한 調査가 初期段階에 이루어져야 한다.

## 5. 活用性 및 建議事項

河口와 沿岸을 適切히 活用하기 爲해서는 物理, 化学, 生物學的 相互過程에 對한 理解가 要求되고 있으며 所重한 河口 資源을 賢明하게 管理하기 爲한 河口 및 沿岸計劃者들의 人爲的 變換에 對한 認識도 漸增되어 있다. 이러한 狀況에서 本 調查研究와 같은 水質모델을 利用한 汚染問題는 河口資源 및 水質管理를 爲한 計劃段階에 있어서 必須的인 事項으로 考慮된다.

## SUMMARY

### 1. Title of Study

A study on tidal flushing and predictive methods for pollutant distribution in estuaries and coastal waters.

### 2. Objectives of Study

The Objectives of this study were

- (1) to provide understanding and description of the physical and chemical processes of estuaries and coastal waters.
- (2) to provide predictive methods for first order estimates of dilution and tidal flushing of waste discharges released into estuaries and coastal waters.

### 3. Contents and Scope of Study

- (1) Various predictive methods for the study of pollutant distribution were provided and applied to several estuaries and coastal waters.
- (2) Steady-state water quality model and sewer outfall model were introduced and applied to Keum River Estuary and Youngil Bay.
- (3) Model verifications were not made due to the lack of reliable data.

### 4. Results of Study

To investigate and set up the integrated water quality management program, investigations through numerical water quality model should be incorporated into the first stage of planning.

## 5. Utilization and Recommendations

Effective estuary and coast utilization requires an understanding of the dynamics of the interacting physical, chemical, biological processes.

Coastal planners must become more cognizant of the sensitivity of estuaries and coastal waters to natural and man-made changes in order to wisely manage this very valuable resource. Information gained from this study and possible future research on estuarine pollution is a necessary input for such planning.



## CONTENTS

- Chapter 1. Introduction
- Chapter 2. Review of pollution distribution predictive methods
- Chapter 3. Estuaries
  - 1) Introduction
  - 2) Estuaries in Korea
- Chapter 4. Various predictive methods and their application to estuaries in Korea
  - 1) Introduction
  - 2) Classical tidal prism method
  - 3) Modified tidal prism method
  - 4) Fraction of freshwater method
  - 5) Modified segmentation method
  - 6) Flushing times in overmixed estuary
  - 7) Stommel's model
  - 8) Steady-state water quality model
  - 9) Discussions and conclusions
- References
- Chapter 5. Diffusion of sewage from sea outfall
  - 1) Introduction

- 2) Modelling of sea outfall
  1. Current movements
  2. Initial dilution
  3. Sewage distribution in the initial field
  4. Surface spreading
  5. Diffusion
  6. Coliform die-off
- 3) Application of outfall model to Youngil Bay
- 4) Discussions and conclusions

#### References

- Chapter 6. Recommendations
- Appendix A Stommel's model
- Appendix B Steady-state water quality model
- Appendix C Sea outfall model

# 目 次

第 1 章 緒 論 .....	1
第 2 章 潮汐플러싱 모델 및 水質 모델에 關한 過去의 研究 .....	4
第 3 章 河 口 .....	8
第 1 節 概 要 .....	8
第 2 節 韓 國의 河 口 .....	9
第 4 章 汚染物質 分布의 推定法과 우리나라 河口에의 適用 .....	17
第 1 節 概 要 .....	17
第 2 節 潮汐프리즘方法 .....	17
第 3 節 修正潮汐프리즘方法 .....	23
第 4 節 淡水比率法 .....	37
第 5 節 修正分節方法 .....	42
第 6 節 上層混合된 河口에서의 플러싱時間 .....	46
第 7 節 Stommel 의 모델 .....	51
第 8 節 水質 모델 .....	66
第 9 節 討 論 및 結 論 .....	75
參 考 文 獻 .....	77
第 5 章 海中放流管으로부터의 下水의 擴散 .....	81
第 1 節 概 要 .....	81
第 2 節 海中放流管의 모델 .....	83
1. 海水의 움직임 .....	83

2. 初期稀釈 .....	85
3. 初期下水域에서의 下水分布 .....	87
4. 表面에서의 퍼짐 .....	89
5. 拡散 .....	90
6. 大腸菌數의 減少 .....	92
第3節 海中放流管 모델의 寧日灣에의 適用 .....	93
第4節 討議 및 結論 .....	111
參 考 文 獻 .....	115
第6章 提 言 .....	117
附錄 A Stommel 의 모델 .....	119
附錄 B Steady state 水質 모델 .....	127
附錄 C 海中放流管 모델 .....	139

## 表 目 次

表 3 - 1	우리나라의 河口 및 流域別 年平均降水量 및 總降水量	10
表 3 - 2	Simmons 의 方法에 依한 河口의 区分	13
表 4 - 1	加露林灣의 潮汐 프리즘	20
表 4 - 2	錦江河口 및 河川의 潮量	30
表 4 - 3	大潮時 錦江河口의 플러싱 時間	33
表 4 - 4	中潮時 錦江河口의 플러싱 時間	34
表 4 - 5	小潮時 錦江河口의 플러싱 時間	35
表 4 - 6	鎭海灣의 潮汐 플러싱 時間	36
表 4 - 7	河口의 塩分資料	41
表 4 - 8	淡水比率法에 依한 濕度分布	42
表 4 - 9	Stommel 모델의 計算結果	55
表 4 - 10	Steady state 水質 모델의 計算結果	62
表 4 - 11	FIRST RESPONSE MATRIX 의 利用	68
表 4 - 12	SECOND RESPONSE MATRIX 의 利用	68
表 4 - 13	TWO SYSTEM RESPONSES MATRIX 의 利用	69
表 5 - 1	放流時刻 24時間後의 各 下水域의 位置, 半徑, 大腸菌濃度	106
表 5 - 2	海岸 4個地點에서 의 最大大腸菌濃度	109

## 目 次

圖 3- 1	河口에서의 循環形態 .....	11
圖 4- 1	加露林灣의 潮池面積曲線 .....	21
圖 4- 2	潮汐프리즘方法 및 指數函數法에 依한 汚染量 推定 .....	22
圖 4- 3	河口的 分節 ( 修正潮汐프리즘方法 ) .....	25
圖 4- 4	鎮海灣의 分節 .....	38
圖 4- 5	鎮海灣의 潮汐플릿싱時間 .....	39
圖 4- 6	河口的 分節 ( 修正分節方法 ) .....	43
圖 4- 7	上層混合된 河口에서의 循環形態 .....	50
圖 4- 8	河口的 BOD, DO 欠乏量 및 DO 分布 .....	60
圖 4- 9	擴散係數의 變化에 따른 BOD의 分布 .....	70
圖 4-10	河川流入水量的 變化에 따른 BOD의 分布 .....	71
圖 4-11	減衰係數의 變化에 따른 BOD의 分布 .....	72
圖 4-12	河川流入水量的 變化에 따른 最終的 DO의 分布 .....	73
圖 4-13	減衰係數의 變化에 따른 最終的 DO의 分布 .....	74
圖 5- 1	水平으로 放出된 噴流 .....	83
圖 5- 2	放流管모델의 寧日灣에의 適用 .....	96
圖 5- 3	計算된 下水域의 進前狀況 ( T = 3 時間 ) .....	98
圖 5- 4	計算된 下水域의 進前狀況 ( T = 6 時間 ) .....	99
圖 5- 5	計算된 下水域의 進前狀況 ( T = 9 時間 ) .....	100

圖 5- 6	計算된	下水域의	進前狀況 ( T = 12 時間 )	101
圖 5- 7	計算된	下水域의	進前狀況 ( T = 15 時間 )	102
圖 5- 8	計算된	下水域의	進前狀況 ( T = 18 時間 )	103
圖 5- 9	計算된	下水域의	進前狀況 ( T = 21 時間 )	104
圖 5-10	計算된	下水域의	進前狀況 ( T = 24 時間 )	105
圖 5-11	計算된	大腸菌濃度		107





## 第 1 章 緒 論

本 報 告 書는 一般의 河 口 및 沿 岸의 汚 染 現 象에 關 聯된 問 題 點을 叙 述하고 河 口의 潮 汐 混 濁에 依 한 汚 染 物 質의 擴 散 및 沿 岸에 設 置된 海 中 放 流 管에서 的 汚 水의 擴 散을 推 定하는 方 法을 提 示하고 現 場 資 料가 利 用 可 能 한 河 口 및 沿 岸을 選 定하여 이를 適 用하였다.

여 러 面에서 考 察할 時 沿 岸 및 河 口에서 일 어 나 는 物 理 的 的 化 學 的인 過 程에 對 한 研 究는 大 洋에 對 한 研 究보 다 도 未 洽 하다.

沿 岸 및 河 口에서 는 물의 物 理 的, 化 學 的인 變 化와 循 環이 流 入 河 川水, 潮 汐 및 氣 象 變 化에 따 라 急 激히 變 化하고 河 口의 物 理 的, 化 學 的, 生 物 學 的 性 格은 季 節 的인 要 素에 依 하여 左 右 된 다. 또 한 人 爲 的 行 爲가 河 口 環 境을 變 化 시 키 고 年 中 變 化 및 長 期 的인 變 化 樣 相에 큰 影 響을 준 다. 河 口로 流 入 되는 淡 水는 工 業 用 水로 必 須 的 이며 河 口의 外 海 水는 人 口가 工 業 團 地에서 廢 棄 物을 받 아 들 인 다. 工 業이 發 達 하고 人 口가 增 加 함에 따 라 沿 岸 및 河 口 地 域은 利 害가 相 衝 되는 發 展을 하 게 된 다.

例를 들 면 工 業 化에 隨 伴 하여 人 口가 增 加 함에 따 라 海 岸은 休 息 地로 緊 要 하 게 되 며 海 產 物의 需 要가 늘 어 나 게 된 다.

이 와 같 이 重 要 한 河 口를 保 護 하 기 爲 해 서 는 環 境의 變 化가 미 치 는 影 響을 予 測 하 여 對 備 하 기 爲 한 適 切 한 研 究가 이 루 어 져 야 한 다. 河 口 研 究에 關 心을 가 진 分 野는 水 產, 水 產 物

加工, 海運業, 沿岸工業 및 都市用水, 廢水處理技術分野와 河川水質을 保護하기 爲한 水質化學分野가 있다. 河口的 資源이 枯渴되어 가고 반면에 그 利用度는 높아짐에 따라 關聯機關은 水資源管理에 더 깊은 研究努力을 傾注하여야 할 것이다.

水質管理의 어려움은 前述한 바와 같이 河口水의 水地理學的, 化學的, 生物學的 樣相이 매우 複雜한 반면 이 方面의 研究가 未洽하고 또한 한 目的의 河口水利用이 다른 目的의 利用을 制限乃至 排斥하기 때문이다.

이와 같이 어려운 水質管理의 指針으로 使用하기 爲한 潮汐플릿싱 모델, 水質 모델들이 開發되어 왔으며 이들은 現狀態의 診斷과 未來狀況의 推定을 爲한 두가지 用途를 모두 發揮할 때 그 利用度는 效果的일 것이다.

우리나라에서는 沿岸 및 河口的 環境保護를 爲한 綜合的인 評價 및 研究方向이 提示된 바가 없다. 本 報告書는 이러한 綜合評價를 爲한 것도 아니고 特定河口に 對한 研究 및 對策은 아니지만 河口 및 沿岸水質管理의 重要性을 認識시키고 앞으로 広域에 걸친 綜合的인 調査의 必要性을 強調하기 爲한 것이다.

本 報告書에 紹介되는 潮汐플릿싱 모델 및 汚染物質分布 모델들은 選定된 몇 河口に 對해 假想的인 條件下에서 汚染物質의 分布狀況을 一次的으로 推定하는데 利用되었다.

따라서 広域的인 河口調査와 現場觀測에 依해 水質모델을 開發하고 汚染으로 인한 被害를 可能な 限 줄이기 위해 이에 關聯된 綜合的인 研究와 여러 方法에 對한 檢討 및 檢証이 이루어져야 함을 周知시키는데 그 目的이 있다.

## 第 2 章 潮汐플릿싱모델 및 水質 모델에 關한 過去의 研究

河口는 自然資源으로서 매우 重要한 것이며 우리나라의 河口는 앞으로의 計劃과 發展樣相에 따라 變化될 것이다. 河口體系에 流入되는 廢棄物의 分布에 對한 評價는 水質管理에 關聯되는 複雜한 問題의 하나이다.

潮汐河口는 工場廢水의 放流, 洪水統制, 航行水路의 改善, 埋立과 같은 人爲的의 行爲에 依하여 끊임없이 變化되므로 이러한 變化에 依한 影響을 미리 推定하는 것이 必要하다. 이러한 河口問題의 科學的 接近의 첫 段階는 特定地點에서 擴散되는 廢棄物의 濃度를 推定하는 것이다. 이렇게 推定된 廢棄物의 濃度로써 河口環境에 미치는 影響을 考慮할 수 있다.

工場廢水を 流出시키기 爲한 理想的인 放流位置를 選定하고 또한 流入된 汚染物質을 擴散시키는 潮汐의 플릿싱能力을 評價하기 爲해서 河口內의 塩水와 河川流入淡水의 移動狀況 및 相互作用을 理解하는 것이 必須的이다. 問題의 樣相은 淡水의 水質에 影響을 주는 物理的, 化學的, 生物學的 樣相과 既知, 未知의 바다의 物理的, 化學的, 生物學的 樣相에 起因하여 더욱 複雜해진다.

資源開發計劃者가 當面하는 水質管理問題는 여러 形態의 數學的 모델을 利用하여 效果的인 河口資源開發計劃의 樹立을 爲

한 社會經濟的인 環境과 調和시키는 일이다. 河口의 混合率은 Ketchum(1950)에 依해 定義된 “플릿싱時間” 概念 卽 한 潮汐週期에 流入된 河川水가 河口를 벗어나는데 所要되는 平均 時間을 河口內에 蓄積된 河川水量과 그동안 河川에서 流入되는 水量과의 比率로 定義한 概念에 依해 概略的으로 推定된다.

河口地域의 플릿싱率을 評價하기 爲해서 여러가지 方法들이 提示되어 왔다. 港灣技術者들이 오랫동안 利用해 온 “潮汐프리즘方法”에 依해 概略的인 플릿싱率을 求할 수 있는데 이 方法은 河口內의 水量이 滿潮와 干潮사이의 各 潮汐週期를 통해 完全히 交換되며 汚染物質이 漲潮時에 다시 되돌아오지 않는 것을 假定하고 있다. 그러나 Ketchum(1950)은 各 潮汐週期를 통해 河口水가 完全混合을 이룬다고 假定한 것이 非合理的이므로 河口를 몇個의 節片(Segment)으로 나누어서 河口의 塩分度를 推定하기 爲해 이 潮汐프리즘方法을 修正하였다. 卽 河川流入水가 적을때 混合이 일어날 수 있는 河川縱軸의 距離는 潮汐에 依한 物粒子의 總移動距離라고 假定하는 것이 더욱 合理的이다.

Aron과 Stommel(1951)은 河口內의 混合을 潮汐運動距離와 潮流強度의 積에 比例하는 亂流擴散係數(Coefficient of eddy diffusivity)에 依해 特性지워진다는 混合距離方法(Mixing length theory)을 提示하였다. 또한 塩分の 擴散方程式을 適當한 境界條件下에서 풀어 無次元으로 表示한 플릿싱

數 ( flushing number ) 에 依해 河口를 特性 지우려 하였으나 滿足 할만한 結果를 얻지 못하였다. 이는 假定段階의 地形的인 制約點과 假定된 플러싱數와 亂流擴散係數의 形態에 起因하는 것으로 說明되었다 ( Dyer, 1973 ).

따라서 이 方法은 어떤 河口에 對해서는 滿足스럽지만 어떤 河口에 對해서는 不適合한 것으로 나타났다. Stommel ( 1953 ) 은 潮差, 流入河川水 및 河口地形 等の 媒介變數에 依한 混合距離方法이 不適合한 것으로 結論짓고 河川水의 分布를 利用 亂流擴散係數를 算定하는 方法을 提示하여 英國의 Severn 河口에 適用하였다.

Stommel 의 垂直混合된 潮汐河口의 混合理論은 河口內 縱方向混合에 對한 假定이 없어 有利하며 縱方向 亂流擴散係數는 鹽水와 淡水의 觀測된 分布에 依해 算定된다. 많은 調査研究가 이루어 짐에 따라 컴퓨터에 依한 數值解析모델의 結果에 더욱 依存하는 複雜한 方法들이 開發되어 왔다.

本 報告書는 汚染物質分布에 對한 一次的인 推定을 爲한 方法 및 모델들이 紹介, 適用되었으며 複雜한 모델은 追後의 調査로 미루었다. 이러한 모델들을 利用할 때 制約要素는 여러 媒介變數의 函數들로 表現되는 擴散係數 및 適合한 摩擦係數에 對한 研究가 未洽한 點이다. 여러 數值解析모델에 對한 廣範圍한 討論이 Tracor 의 報告書 ( 1970 ) 에 収録되어 있다.

简单的潮汐프리즘方法에서 부터 컴퓨터를 利用하는 比較的 简单的 水質모델 및 下水放流管 모델이 後述된다.

### 第 3 章 河 口

#### 第 1 節 概 要

傳統的으로 河口란 用語는 外海에서 들어온 塩水가 陸地로 부터 流入되는 淡水와 混合現象을 일으키는 河川의 下端에 適用되어 왔다. 더 正確히 말하면 河口란 外海와 直接 連結된 半閉鎖形의 沿岸地形 形態로서 海水와 內陸으로부터 流出되는 淡水의 混合現象이 顯著히 보이는 곳이다. ( Pritchard, 1950 ).

河口的 塩水稀釈現象은 特定한 循環形態를 惹起하는 密度分布를 이룬다. 河口的 循環形態를 決定하는 主要素는 潮流와 河川에 依한 淡水流入이며 河口的 地形要素 및 偏向力 ( Coriolis force ) 이 附加적인 役割을 한다. 淡水는 大部分 外海로 부터 들어오는 塩水層 위에 密度가 낮은 層을 이루어 外海로 흘러나가고 垂直으로 成層을 이루려는 傾向이 있는 反面 潮流는 運動에너지를 일으켜 塩水와 淡水가 部分的 또는 全体的인 垂直斷面을 통하여 混合이 일어나게 하는 傾向을 갖는다. 이 垂直混合의 程度는 流入水와 潮流의 相對적인 強度에 따라 달라진다. 潮汐에너지의 一部는 混合을 일으키는 亂流運動에너지로 轉換되고 一部는 垂直混合에 依하여 位置에너지를 增加시킨다. 偏向力 ( Coriolis force ) 의 影響은 幅이



좁은 河口에서는 無視할 程度이지만 넓은 河口에서는 어떤 特  
性の 極的變化를 일으킨다.

## 第 2 節 韓 國 的 河 口

우리나라 主要河口들이 表 3 - 1 에 收錄되어 있다.

河口의 潮汐을 비롯 및 汚染物質分布에 對한 調査를 實施하  
기 前에 河口水의 混合 및 移動에 影響을 미치는 主要素에 依  
한 河口의 区分이 이루어져야 한다. 河口는 Pritchard  
( 1950 ) 에 依해 提示된 循環形態 및 塩分分布에 依한 方法으로  
区分되어 왔다. 이렇게 区分된 河口體系는 潮流 및 塩分分布  
가 變化함에 따라 年中을 通해 한 形態에서 다른 形態로 바  
뀌어진다. 우리나라의 河口는 下記와 같이 分類된 3 가지 形態  
中 한가지에 속한다. ( 圖 3 - 1 參照 )

A 型 : 2 層形 ( two-layered ), 成層形 ( stratified )

B 型 : 弱混合形 ( partially mixed )

C 型 : 垂直混合形 ( vertically mixed ) 即

強混合形 ( well mixed )

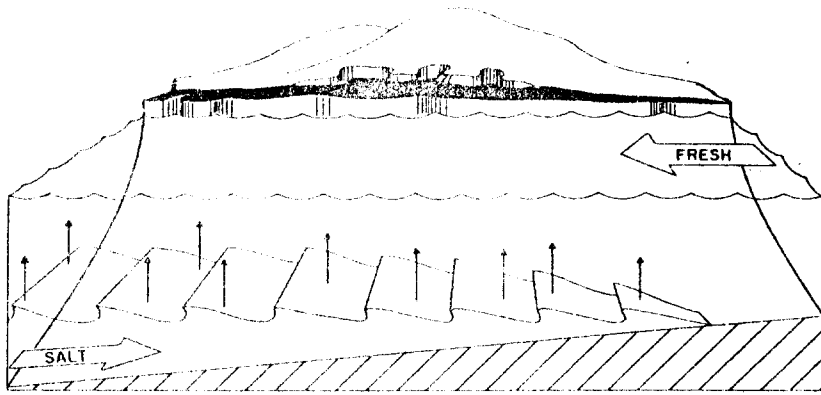
表 3 - 1

우리나라의 河口 및 流域別 年平均

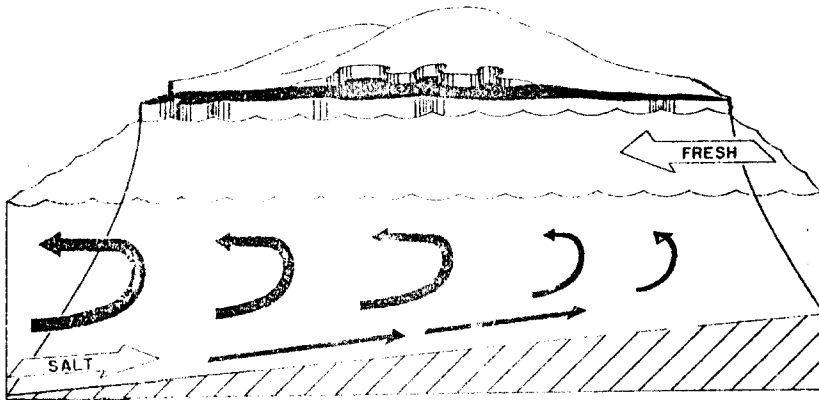
降水量 및 総降水量

流 域	流域面積 (km <sup>2</sup> )	年平均降水量 (mm)	降水総容量 (10 <sup>8</sup> ton)
漢 江	26,219	1,200	304
洛 東 江	23,656	1,106	255
錦 江	9,886	1,230	120
蟾 津 江	4,896	1,344	66
榮 山 江	2,798	1,285	36
安 城 川	1,722	1,284	20
插 橋 川	1,619	1,279	20
万 頃 江	1,602	1,230	20
兄 山 江	1,167	1,020	12
東 津 江	1,034	1,220	13
南韓全面積	98,477	1,159	1,140

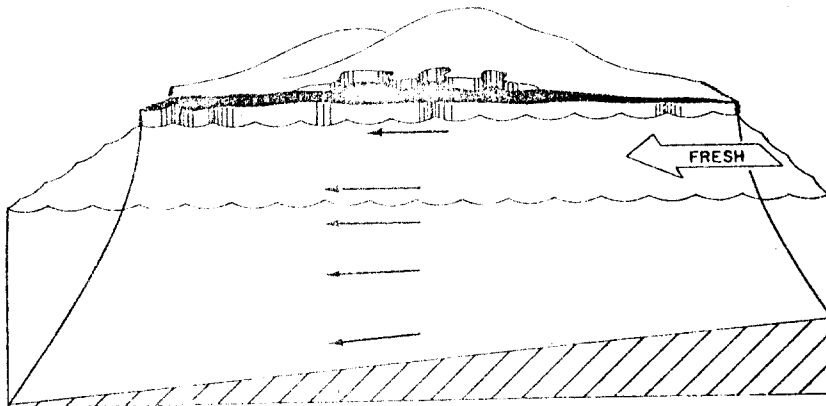
註) 根拠: 韓国河川調査書 (1974.12), 建設部, 産業基地開発公社.



Circulation in a type A estuary.



Circulation in a type B estuary.



Circulation in a type D estuary.

圖 3-1. 河口에서의 循環形態  
(Circulation in type A, B, C estuaries)

亦是 河口를 区分하기 爲해 Burt와 McAllister(1959)는 平均鹽度가 17ppt 程度인 觀測點에서의 表面과 低層의 鹽度 差를 媒介變數로 利用하였다. Pritchard의 区分方法과 鹽度差에 依한 区分法을 함께 나타내면 아래와 같다.

河口의 区分	鹽度差
A ( 2層形 即 成層形 )	20ppt 以上
B ( 弱混合形 )	4-19ppt
D ( 強混合形 )	3ppt 以下
※ Pritchard의 C型河口 ( Fjord型 )는 우리나라에서 찾아볼 수 없다.	

混合形態를 決定하는 또 다른 方法은 Simmons(1966)에 依한 流水比率方法이다. Simmons는 河口的 流水比率 ( 潮汐週 期當 河川流入水 對 潮汐프리즘比率 )이 1.0보다 클 때 A형, 0.25以上일 때는 B형이며 0.1보다 작을 때는 D형인 것을 調査하였다. 우리나라의 몇몇 河口들이 Simmons의 鹽度差 区分方法에 依해 調査되었는데 四季節을 通하여 表 3 - 2에 提示된 바와 같이 表層과 底層間의 鹽度差가 別로 없는 D형 河口인 것이 指摘되었다. 廢水處理의 觀點에서 볼 때 河川流 入水가 적은 期間은 汚染物質의 稀釈이 적게 일어나고 河口를 벗어나는 時間이 오래 걸리므로 가장 危險한 時期이다.

表 3 - 2 Simmons 의 方法에 依한 河口의 区分

河 口	日 字	塩 分(0/00)	塩 度 差	備 考	
釜 山 港	1972. 2.25	表層	34.15	0.03	Station 6 의 資料
		底層	34.12		
	1972. 5.24	表層	33.72	0	
		底層	33.72		
	1972. 8. 5	表層	29.33	3.31	
		底層	32.64		
	1972.11.17	表層	32.47	0.84	
		底層	33.31		
	73.2.21-3.5	表層	32.64	1.02	
		底層	33.66		
	73.4.17	表層	33.58	0.09	
		底層	33.67		
	73.6.15-16	表層	32.91	0.06	
		底層	32.97		
	73.8.12-22	表層	30.21	1.01	
		底層	31.22		
	73.10.17-30	表層	32.25	0.18	
		底層	32.43		
74. 2	表層	34.35	0.02		
	底層	34.33			
74. 8	表層	31.89	0.65		
	底層	32.54			

河 口	日 字	塩 分 (0/00)	塩 度 差	備 考	
馬 山 灣	72. 2.21	表層	32.98	0	St. 4 의 資料
		底層	32.98		
	72. 5.10	表層	27.20	3.08	
		底層	30.28		
	72. 8. 4	表層	27.94	2.28	
		底層	30.22		
	72.11. 8	表層	32.72	0.09	
		底層	32.81		
	73. 2.11	表層	32.53	0.02	
		底層	32.55		
	73. 4.11	表層	32.74	0.25	
		底層	32.99		
	73. 6.16	表層	32.18	0.44	
		底層	32.62		
	73. 8.10	表層	29.34	3.22	
		底層	32.56		
	73.10.17-18	表層	31.63	0.01	
		底層	31.64		
74. 2	表層	32.45	0.07		
	底層	32.38			
74. 8	表層	29.67	0.60		
	底層	30.27			

河 口	日 字	塩 分(0/00)	塩 度 差	備 考
錦 江	72. 3.22	表層 12.85	2.83	St. 1의 資料
		底層 15.68		
	72. 5.10	表層 10.91	0.20	
		底層 11.11		
	72. 8.30	表層 3.66	0.20	
		底層 3.86		
	72.11.28	表層 11.65	5.96	
		底層 17.61		
	73. 3. 6	表層 19.89	1.98	
		底層 21.87		
	73. 4.23	表層 19.61	0.72	
		底層 20.61		
	73. 6.12	表層 21.09	0.37	
		底層 20.72		
	73. 9.22	表層 10.23	0.45	
		底層 10.68		
	73.11. 3	表層 14.65	1.12	
		底層 15.73		
	74. 2	表層 23.77	0.03	
		底層 23.80		
74. 8	表層 23.26	0.54		
	底層 23.80			

註) 根拠 1. 韓国沿岸水質汚染調査 事業報告 第 30 号

国立水産振興院 1975.12.

2. 水質汚濁事業報告 ( 1972~1973 ) 第 23 号

国立水産振興院 1974.11.

大体的으로 氣温이 높을때는 BOD의 比率은 높아지고 海中生物에 必要한 溶存酸素는 減少된다. 이러한 河川流入水가 적은 期間뿐이 아니고 다른 期間에도 廢水問題가 惹起되지만 可能的 惡條件을 予想하는데는 河川流入水가 적은 強混合期間이 合理的인 期間이다.

嚴密히 말하면 鹽度가 均質한 断面을 가지는 河口는 存在하지 않지만 概略的인 推定을 爲해 河川流入水가 적을 境遇에 垂直的으로 強混合을 이루는 것으로 假定하는 것이 合理的이다.



## 第 4 章 汚染物質分布의 推定法과 우리나라 河口에의 適用

### 第 1 節 概 要

河川水가 河口를 벗어나는데 必要한 時間을 推定하므로써 河川水와 함께 流入된 汚染物質이 除去되는데 所要되는 時間을 推定하는 여러 方法들이 提示되어 왔다. 河口와 河川의 廢水 流出口로 부터 流入된 汚染物質의 平均濃度分布를 推定하기 爲해 1次元數值모델을 利用하여 왔다. 1次元모델은 流速分布, 鹽度 및 汚染物質濃도에 對하여 水平的, 垂直的으로 平均値를 利用해야 하는 制約이 있다. 따라서 여러 境遇에 있어 計劃段階의 概略的인 推定을 爲해 자주 利用되고 있지만 橫方向 및 垂直方向의 變化가 甚할 때는 1次元解析으로는 滿足한 結果를 얻기 힘들다.

### 第 2 節 潮汐프리즘方法 ( Classical Tidal Prism Method )

一般的으로 潮汐週期를 通하여 河口에 流入되는 汚染物質은 곧 河口를 떠나는 것이 아니고 여러 潮汐에 걸쳐 빠져 나간다.

萬一 繼統的으로 汚染物質이 流入되면 河口에 남아있는 殘留 汚染物質의 量은 한 潮汐週期를 通해 流入되는 量의 數倍에 達할 것이다. 플릿싱時間은 河口에 對한 全体潮汐프리즘을 利用하여 迅速하게 推定할 수 있다. 各 潮汐週期마다 河口內의 鹽水

와 淡水는 完全混合을 이루고 落潮에 한번 빠져나간 河口水는 다음 漲潮時에 다시 되돌아오지 않는다고 假定한다.

$$\text{定義된 潮汐프리즘: } P = V_H - V_L \quad (1)$$

여기서  $V_H, V_L$ 은 高潮 및 低潮時의 潮量이다.

$x = 1 - \frac{P}{V_H}$ 라 할 때 이는 潮汐週期의 끝에 남는 潮量과 高潮時 潮量과의 比率이다.

萬一 溶解可能한 物質이  $q$ 만큼 河口에 流入되었을 때 河口에 남는 量은 一潮汐週期後에는  $qx$ , 2潮汐週期後에는  $qx^2$ ,  $m$  潮汐週期後에는  $Pq = qx^m$ 으로 나타내진다. 逆으로 初期量  $q$ 를  $P$ (分数)만큼 減少시키기 爲해 所要되는 潮汐週期는  $m = \frac{\ln P}{\ln x}$ 이다. 또한 汚染物質의 流入이 潮汐週期當  $q$ 로서 一定할 때 流入物質이 最終적으로 平衡을 이루는 量( $Q$ )는

$$Q = \lim_{n \rightarrow \infty} q \left( \frac{x(1-x^n)}{1-x} \right) = q \frac{x}{1-x} \quad (2)$$

여기서  $0 \leq x < 1$

潮汐프리즘方法은 算定方法이 簡單하지만 다른 方法에 依한 結果보다 작은 플릿싱時間을 갖는다. 이 方法의 플릿싱率의 過度한 推定은 河口水의 不完全한 混合에 起因한다. 前述한 假定과는 달리 河口上端(head of estuary)의 流入水가 1回落潮동안 河口入口에 達하며 落潮後에 빠져 나간 물이다

음 漲潮時에 다시 되돌아오기 때문이다. 따라서 이 方法은 迅速한 推定方法으로서 작은 플릿싱時間을 算出하여 너무 樂觀的인 結果를 提供하지만 灣內에 流入하는 河川水量이 적어서 外海水와 灣內水의 鹽度差를 크게 하지 못하는 河口와 每 低潮時에 河床이 드러나는 淺은 河口에서는 여전히 좋은 推定이 可能하다.

Waldichuk(1964)에 依한 exponential flushing method는 다음과 같다.

$$C = C_0 e^{-rt} \quad (3)$$

C : 時間 t에서의 濃度

C<sub>0</sub> : 初期濃度

r : 交換率 (exchange ratio)

이 方法은 潮汐프리즘方法과 比較하여 根本적으로 別 差異가 없는 것으로 생각된다. 潮汐프리즘方法을 加露林灣에 適用시킨 例는 다음과 같다.

加露林灣의 潮位變化와 潮池面積과의 關係 (潮力發電基礎 調査에 關한 研究, 1974)가 圖 4-1에 提示되어 있는데 이로부터 概略的인 潮汐프리즘이 表 4-1과 같이 求해졌다.

表 4 - 1

加露林灣의 潮汐프리즘

	潮 差	潮汐프리즘 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	低潮時潮量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
大 潮	658 cm	497.88	153.0
中 潮	470 cm	319.60	195.6
小 潮	282 cm	155.10	287.88

플릿시간은

$$T = \frac{V_L + P}{V_L} \quad (4)$$

의 式으로 求해졌는데 大潮時 4.25 潮汐週期, 中潮時 2.63 潮汐週期, 小潮時 1.54 潮汐週期이었다. 表 4 - 1에 提示된 바와 같이 大潮時의 潮汐프리즘은 約 497,880,000 m<sup>3</sup>, 高潮潮量은 650,880,000 m<sup>3</sup>로 推定되었는데 이 때 1 潮汐週期後 加露林灣을 빠져나가는 混合水는 灣內 全潮量의 76.5%이며 殘留量은 23.5%이다. 따라서 1 潮汐週期동안 河口에 投入된 汚染物質이 時間이 經過함에 따라 減少하는 現象은 圖 4 - 2의 K = 0.765 線으로부터 推定할 수 있다. 이 圖表에서 初期汚染物質이 10%로 減少될 때까지의 時間은 約 1.6 潮汐週期로 推定된다. 萬一 汚染物質이 每 潮汐週期마다 河口에 流入될 때 相當한 潮汐週期가 經過한 後의 河口內의 殘留汚染物의 負荷는

$$L = \frac{x}{1 - x} \quad (5)$$

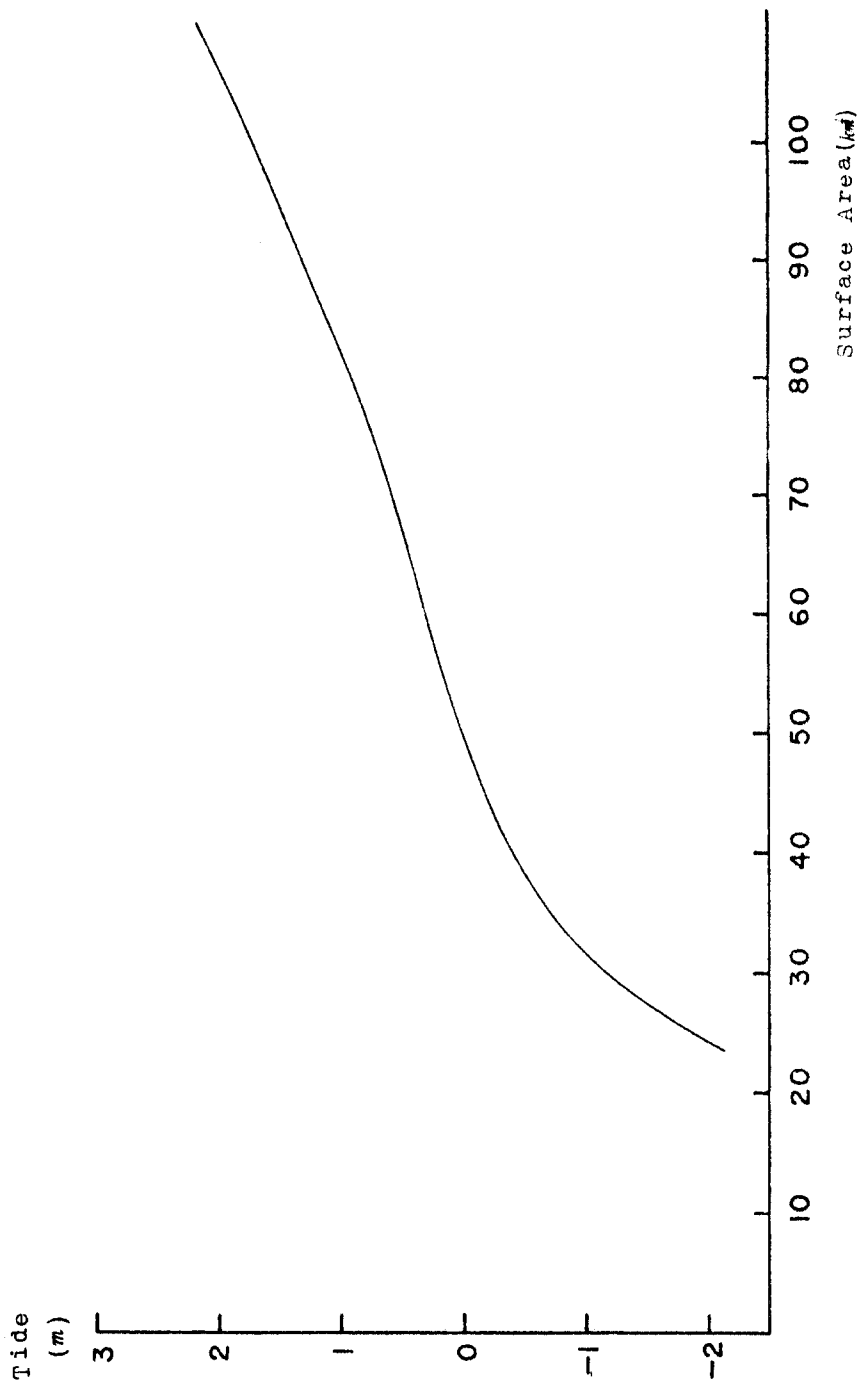


圖 4 - 1 . 加露林灣의 潮池面積曲線  
 (Tide elevation-surface area curve in Garolim Bay)

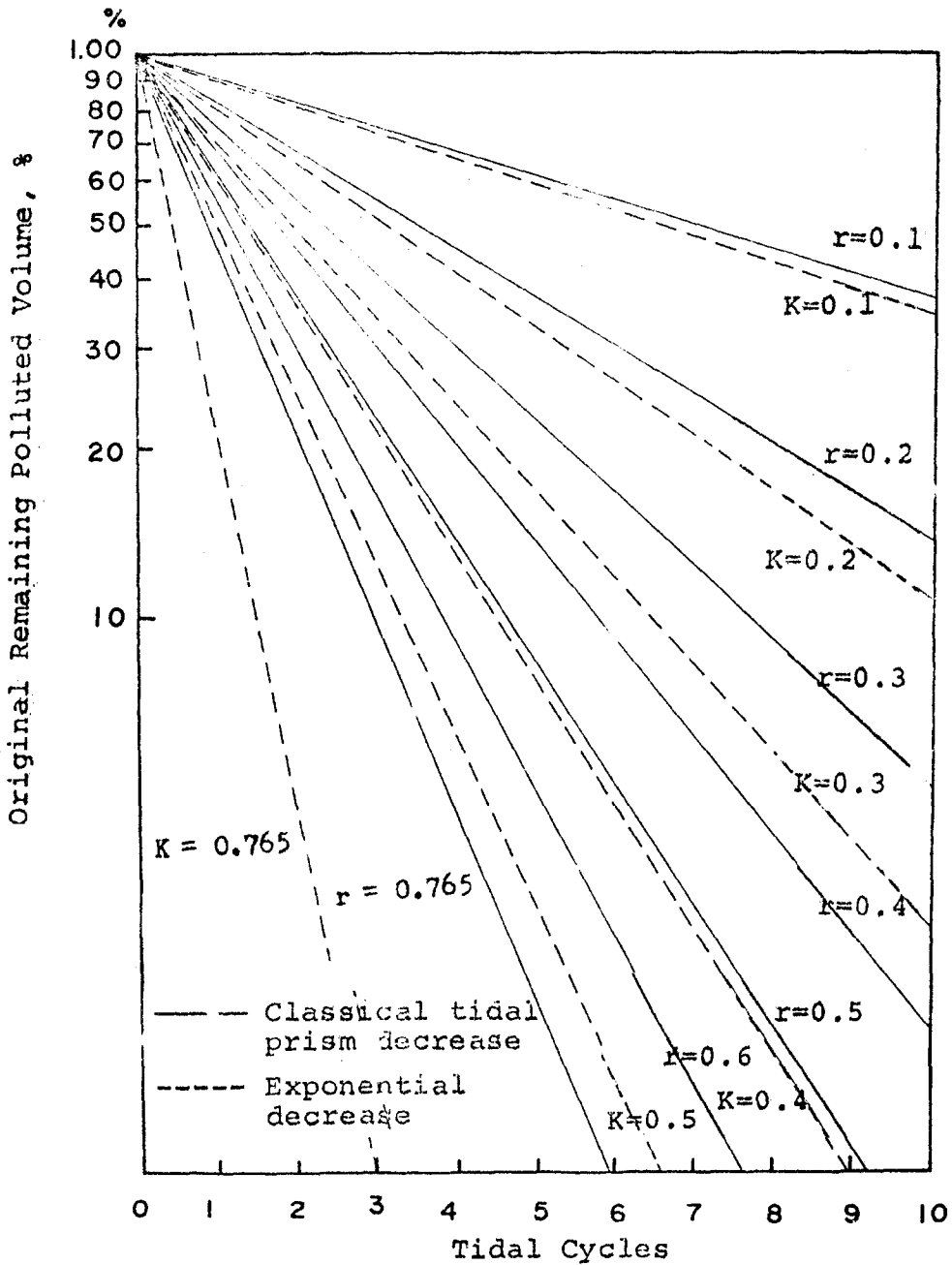


图 4 - 2 . 潮汐프리즈름方法 및 指数函数法에 의한 汚染量推定

Exponential and tidal prism decrease of a single pollution load.

로서 推定된다. 이때  $x$ 는 1 潮汐週期後의 殘留汚染物質의 量 (fraction, 0.235) 이고  $L$ 은 潮汐週期當 流入된 負荷의 乘數이다.

### 第 3 節 修正潮汐프리즘方法 ) ( Modified Tidal Prism Method )

河口로 傳播되는 外海潮汐의 影響은 下記事項에 依해 判別될 수 있다.

1. 潮流에 依한 水位의 變化가 觀測되는 上流의 上限
2. 漲潮流가 河川水를 逆流케 하는 上限
3. 鹽水의 濃度を 測定할 수 있는 上限

이러한 上限들은 모든 流水條件에 따라 明確한 것이 아니며 각기 優勢한 條件에 따라 左右된다. Ketchum(1951)에 依해 提示된 修正潮汐프리즘方法은 河口를 上流에서 入口까지 적절하게  $n$ 개의 節片 ( Segment )으로 区分하는데 여기서 上流는 鹽水浸入이 끝나는 上限으로 看做될 수 있다. 鹽分資料가 없을 境遇에 河口上限은 實際적으로 潮汐프리즘,  $P_0$ 와 河川流入水量,  $R$ 이 같은 地點이며 圖 4 - 3 에 提示된 바와 같이 이 地點보다 上流는 完全히 淡水區域으로 看做된다. 上記 그림에 提示된 바와 같이 各 節片의 長이는 高潮時의 潮量이 隣接한 河口側 節片의 低潮時 潮量과 같도록 決定된다. 卽  $n$  節片에서는

$$P_n + V_n = V_{n+1} \quad (6)$$

여기서  $V_n$  은  $n$  번째 절편의 低潮時 潮量이고  $V_{n+1}$  은  $n+1$  번째 低潮時의 潮量이다.

이러한 影響은 累積的이며 即

$$V_n = V_0 + \sum_{i=0}^{n-1} P_i = V_0 + R + \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad (7)$$

주어진  $n$  번째 節片이 高潮時 完全混合된다고 假定하면 落潮時 빠져나가는 물의 量은 다음과 같은 交換率 (exchange ratio) 에 依해 表示된다.

$$r_n = \frac{P_n}{P_n + V_n} \quad (8)$$

한 潮汐週期를 通하여 任意의 節片을 通過하는 河川水 量을  $R$  即 河川水 流入率이라 하면 落潮後 交換되지 않는 流入 水 量 中의  $Rr_n$  과 前에 流入된 河川水 中 (  $1 - r_n$  )  $R$  에 該當 하는 河川水가 빠져나가게 된다. 完全混合의 假定下에서 많은 潮汐週期가 經過한 後 河口의  $n$  번째 節片에 蓄積된 河川水 量은  $Q_n$  으로 表示되며

$$Q_n = \frac{R}{r_n} \quad (9)$$

이다. Burt와 McAllister에 依한 鹽度差方法을 混合이 垂直的으로 完全한가 아닌가를 決定하는데 利用할 수 있다.

混合이 完全치 못한 境遇에는 計算値가 觀測値에 一致할 때까지 交換率을 反復的으로 調節하여 計算結果와 觀測結果를



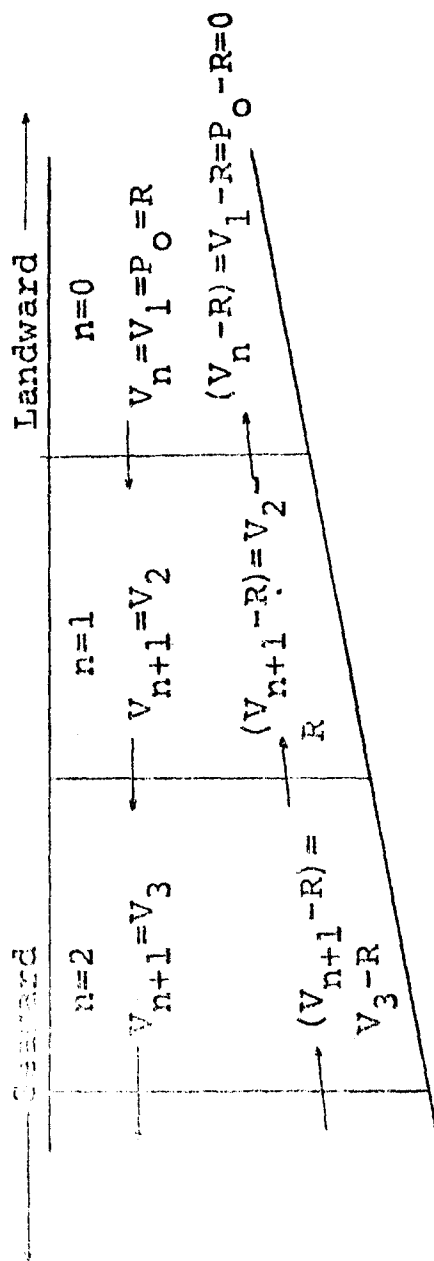


圖 4-3. 河口의 分節 (修正潮汐프리즘方法)  
(Segmentation of an estuary)

一致하도록 해야 할 것이다. 이렇게 해서 河口에 蓄積된 淡水 即 河川水の 分布가 決定된다. 即 任意的  $n$  번째 節片의 淡水量比率은

$$f_n = \frac{Q_f}{V_n + P_n} \quad (10)$$

이며 後節에 紹介되는 淡水比率法에 依하면 觀測된 塩分資料에 依해

$$r_n = \frac{S_0 - \bar{S}_n}{S_0} \quad (11)$$

으로 求해진다. 여기서  $S_0$ 는 河口入口, 外海의 平均塩度이며  $\bar{S}_n$ 은  $n$  번째 節片의 平均塩度이다. 再言하면 汚染物質은 淡水에 依해 下流로 連搬되고 塩水에 依해서는 上流로 連搬되는 것이다. 任意的 節片의 潮汐週期로 나타낸 플러팅時間 ( $F_n$ ) 은

$$F_n = \frac{Q_f}{R} \quad (12)$$

이며 河口全体를 통한 플러팅時間은

$$F = \sum_{n=0}^n F_n \quad (13)$$

即 各 断面의 플러팅時間의 合이다.

Ketchum은 이 方法을 여러 河口에 成功的으로 利用하였으나 延長이 짧은 河口에서는 成功的이 아니었다. 混合過程에 關聯된 몇가지 假定은 아직도 疑問點이 있다. 即 平均潮

汐移動距離 ( tidal excursion length ) 에 該當되는 河口의 節片內에 垂直的, 水平的成層現象이 없다는 Ketchum의 假定은 많은 河口에서 現實的이 아니다. 따라서 Ketchum의 解析은 가장 可能的 縱方向混合에 對하여 制限的 境遇로서 이는 항상 現實的인 것은 아니다. Ketchum의 解析方法에 對한 Dyer (1973)의 批評은 後節에 言及한다.

Pritchard도 潮汐波가 進行波 ( Progressive wave )인 곳에서 漲潮時 물粒子的 平均潮汐移動距離는 Ketchum의 方法에 依해 求하는 것이 現實的이 아니기 때문에 河口의 隣接節片은 달리 定해야 한다고 하였다. Ketchum의 方法은 河口에서의 有效混合距離가 漲潮時 물粒子的 平均移動距離와 같다는 假定에 基擧한 것이다. Ketchum은 A型河口에서는 河口流出水에 依한 稀釈이 上層에만 局限될 것이기 때문에 鹽分度 觀測資料가 있을 때는 修正潮汐프리즈의 概念을 垂直混合이 完全치 못한 境遇에도 擴大 適用하였다. 이런 境遇 단지 混合된 水量만을 考慮하여 算定된 交換率은

$$r_n = \frac{P_n}{P_n + V_n} \times \frac{D}{H} \quad (14)$$

여기서 D는 n 번째 節片의 平均深度

H는 混合層의 深度

이때 河口의 分節 ( Segmentation )은 混合深度의 潮量을 使用하여 實施한다. 이 方法은 混合層下의 河川水는 假想的바

닥 ( false bottom ) 으로 取扱되어 河川水가 汚染物質의 플러싱  
 率을 增加시키게 된다. ( Ketchum, 1951 )

節片은 漲潮時 潮量으로 부터 予想되는 移動距離로 부터  
 計算이 可能하고 각 節片의 長이는 漲潮時의 平均移動距離와  
 같아야 한다. 이 方法은 潮流가 断面을 均一하게 通過하지  
 않을 때 正確하지 못한 結果를 招來한다. 따라서 算定된 結  
 果를 潮流觀測結果와 比較하여 節片長이를 檢討하는 것이 必  
 缺하다. 充分한 潮流觀測結果가 있을때 平均潮汐移動距離는 다  
 음과 같이 算定된다.

$$\text{平均潮汐移動距離 } E_{\max} = U_{\max} \cdot t_f \quad (15)$$

$$U_f = U_{\max} \cdot \sin \theta \quad (16)$$

漲潮間隔  $t_f$  동안  $\theta$  는 0에서  $\pi$ 까지 變한다.

$$\begin{aligned} \text{流速断面下의 面積은 } \int_0^\pi U_{\max} \sin \theta \, d\theta &= -U_{\max}(-1-1) \\ &= 2U_{\max} \text{이다.} \end{aligned}$$

$U$ 를 平均漲潮流速이라 하면

$$U \pi = 2 U_{\max}$$

$$\text{即 } U_{\max} = \frac{\pi}{2} U \quad t_f = 6.2 \text{時間}$$

河口上端의 潮汐移動距離가 0인 節片은 鹽分資料로 부터  
 定해지고 河口側의 마지막 節片은 最大鹽水浸透延長과 一致하거  
 나 超過되도록 定해지는데 河川流入水量과 潮汐에 따라 變化  
 한다.

本 調査에서는 마지막 節片의 河口쪽 下端은 全体 節片 一部分만 利用하였다. 潮汐프리즘方法에 利用된 式

$L = \frac{x}{1-x}$  는 修正潮汐프리즘方法에도 利用될 수 있다. 即

$$L = \frac{x}{1-x} = \frac{1-r}{r} = \frac{1}{r} - 1 \quad (17)$$

Neal(1965)은 河川水量이 너무 많은 境遇의 플릿싱時間은 修正潮汐프리즘方法에 依해 求할 경우 信賴性이 없다 하였다.

Ketchum의 方法은 錦江河口 및 河川의 플릿싱時間을 求하기 爲해 適用되었는데 이 때 利用된 小潮, 中潮, 大潮時의 低潮時潮量 및 潮汐프리즘이 表 4-2에 提示되어 있다.

航空写真 等の 仔細한 資料가 있을 때 이 潮量의 計算은 더 正確하며 本 調査에서는 断面資料 및 地形圖로 부터 概略적으로 算出되었다. 河川流入水量은 Ketchum의 初期假定에 立脚하여 節片内에서 完全混合을 이루는 寡雨時의 流量  $40 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $1.785 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{潮汐週期}$ )을 利用하였을 時 計算된 大潮, 中潮, 低潮時의 플릿싱時間이 表 4-3, 4-4 및 4-5에 提示되어 있다. 充分한 潮汐週期가 經過한 後 大潮時 河口에 남는 汚染物質의 殘留量은  $\frac{1}{r} = 5.64$  이므로 式

$L = (\frac{1}{r}) - 1$  으로 부터 潮汐週期當 流入되는 汚染物質의 4.6 倍가 되는 것을 알 수 있다.

表 4 - 2

錦江河口 및 河川의 潮量

( 单位 :  $10^6 m^3$  )

河口로부터 의距離 (km)	小潮 ( 2.8 m )		中潮 ( 5.6 m )		大潮 ( 7.6 m 潮差 )	
	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘
0- 1	8.615	6.421	5.332	12.710	3.459	14.565
1- 2	8.004	5.919	5.114	11.236	3.486	13.828
2- 3	7.393	5.418	4.896	10.461	3.513	13.091
3- 4	6.782	4.916	4.679	9.686	3.539	12.354
4- 5	6.171	4.414	4.461	8.911	3.567	11.617
5- 6	6.034	4.049	4.556	8.279	3.795	10.968
6- 7	6.371	3.821	4.962	7.788	4.225	10.409
7- 8	5.207	3.593	5.369	7.297	4.654	9.850
8- 9	7.044	3.365	5.776	6.807	5.083	9.290
9-10	7.380	3.137	6.182	6.316	5.513	8.731
10-11	7.137	2.972	5.976	5.958	5.302	8.208
11-12	6.315	2.871	5.156	5.733	4.451	7.721
12-13	5.493	2.770	4.336	5.508	3.600	7.234
13-14	4.670	2.669	3.516	5.282	2.748	6.747
14-15	3.848	2.568	2.696	5.057	1.897	6.260
15-16	3.276	2.438	2.162	4.808	1.383	5.876
16-17	2.954	2.281	1.913	4.537	1.206	5.595
17-18	2.633	2.123	1.664	4.265	1.030	5.314

表 4 - 2 ( 계속 )

河口로부터 의距離 (km)	小潮 ( 2.8 m )		中潮 ( 5.6 m )		大潮 ( 7.6 m 潮差 )	
	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘
18-19	2.312	1.965	1.375	3.993	0.853	5.033
19-20	2.040	1.807	1.167	3.722	0.676	4.752
20-21	1.790	1.706	1.019	3.536	0.578	4.535
21-22	1.709	1.660	0.973	3.436	0.560	4.383
22-23	1.629	1.615	0.926	3.337	0.541	4.231
23-24	1.548	1.570	0.880	3.237	0.522	4.078
24-25	1.468	1.525	0.833	3.138	0.503	3.926
25-26	1.337	1.397	0.760	2.870	0.460	3.620
26-27	1.154	1.187	0.660	2.434	0.391	3.161
27-28	0.972	0.978	0.560	1.999	0.288	2.702
28-29	0.790	0.768	0.450	1.563	0.253	2.242
29-30	0.608	0.556	0.360	1.127	0.184	1.783
30-31	0.485	0.424	0.291	0.860	0.151	1.454
31-32	0.421	0.371	0.253	0.761	0.153	1.257
32-33	0.357	0.317	0.215	0.661	0.155	1.059
33-34	0.294	0.264	0.177	0.562	0.157	0.862
34-35	0.230	0.210	0.139	0.462	0.159	0.664
35-36	0.203	0.202	0.118	0.441	0.152	0.616
36-37	0.214	0.240	0.115	0.497	0.135	0.718

表 4 - 2 ( 계속 )

河口로부터 터의距離 (km)	小潮 ( 2.8 m )		中潮 ( 5.6 m )		大潮 ( 7.6 m 潮差 )	
	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘	低潮時潮量	潮汐프리즘
37-38	0.225	0.278	0.112	0.553	0.118	0.819
38-39	0.236	0.315	0.109	0.609	0.101	0.920
39-40	0.247	0.353	0.106	0.666	0.084	1.022
40-41	0.260	0.361	0.116	0.680	0.074	1.037
41-42	0.277	0.340	0.139	0.651	0.070	0.965
42-43	0.293	0.318	0.163	0.622	0.067	0.893
43-44	0.310	0.296	0.186	0.594	0.063	0.821
44-45	0.327	0.275	0.209	0.565	0.060	0.749
45-46	0.327	0.252	0.216	0.530	0.067	0.691
46-47	0.311	0.228	0.205	0.489	0.084	0.648
47-48	0.294	0.205	0.195	0.448	0.101	0.606
48-49	0.278	0.181	0.184	0.406	0.118	0.563
49-50	0.262	0.157	0.173	0.365	0.135	0.521
50-51	0.242	0.139	0.161	0.325	0.138	0.487
51-52	0.220	0.127	0.147	0.286	0.126	0.463
52-53	0.197	0.114	0.133	0.247	0.114	0.483
53-54	0.174	0.102	0.119	0.208	0.102	0.414
54-55	0.152	0.089	0.105	0.169	0.090	0.390
55-56	0.168	0.077	0.129	0.136	0.116	0.346
56-57	0.224	0.065	0.190	0.109	0.179	0.283
57-58	0.279	0.053	0.252	0.081	0.242	0.220
58-59	0.334	0.041	0.313	0.054	0.305	0.157
59-60	0.390	0.029	0.375	0.026	0.368	0.094



Segment Number	Distance upriver (km)	Segment Length (km)	Cumulative Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	Cumulative Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	Local Low Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	Local Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Pn) Local Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Vn+Pn) Local High Tide Vol ( $10^6 m^3$ )	(Fn) Exchange Ratio	(Fn) Flushing Time (Tidal Cycles)
0	60	5.00	1.48	1.79	1.48	1.79	1.79	3.27	0.5474	1.826
1	34.62	25.38	4.75	16.97	3.27	15.18	18.45	18.45	0.8228	1.215
2	11.98	22.64	23.2	103.59	18.45	86.62	105.07	105.07	0.8244	1.213
3 (Partial)		11.98	73.43	234.07	50.23	130.48	180.71	180.71	0.7220	1.384
										5.638

$R = 1.79 \times 10^6 m^3 / (\text{Tidal Cycle}) \quad F = 5.638 (\text{Tidal Cycles})$

表 4 - 4 中潮時 錦江河口 의 플릿싱時間

Segment Number	Distance upriver (km)	Segment Length (km)	Cumulative Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	Cumulative Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Vn) Local Low Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	(Pn) Local Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Vn+Pn) Local High Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	(In) Exchange Ratio	(Fn) Flushing Time (Tidal Cycles)
0	60	5.00	1.49	1.79	1.49	1.79	3.28	0.546	1.832
1	43.06	16.94	4.77	6.87	3.28	5.08	8.36	0.608	1.645
2	21.12	21.94	13.13	37.68	8.36	30.81	39.17	0.787	1.271
3	8.64	12.48	52.30	99.25	39.17	61.57	100.74	0.611	1.637
4 (Partial)	0	8.64	95.37	179.97	43.07	80.72	123.79	0.652	1.534

$R = 1.79 \times 10^6 m^3 / \text{Tidal Cycle}$      $F = 7.919 (\text{Tidal Cycles})$

表 4 - 5 小潮時 錦江河口の 沖積時間

Segment Number	Distance upriver (km)	Segment Length (km)	Cumulative Low Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	Cumulative Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Vn) Local Low Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	(Fn) Local Tidal Prism ( $10^6 m^3$ )	(Vn+Fn) Local High Tide Vol. ( $10^6 m^3$ )	(Fn) Exchange Ratio	(Fn) Flushing Time (Tidal Cycles)
0	60	5.00	1.55	1.79	1.55	1.79	3.34	0.536	1.866
1	46.59	16.94	4.89	3.26	3.34	1.47	4.81	0.306	3.272
2	30.10	16.49	9.70	8.17	4.81	4.91	9.72	0.505	1.980
3	21.88	8.22	19.42	18.00	9.72	9.83	19.55	0.503	1.989
4	14.21	7.67	38.97	41.11	19.55	23.11	42.66	0.542	1.846
5	7.30	6.91	81.63	61.94	42.66	20.83	63.49	0.328	3.048
6 (Partial)		7.30	132.56	97.98	50.93	36.04	86.97	0.414	2.413
									16.414

$R = 1.79 \times 10^6 m^3 / \text{Tidal Cycles}$       $F = 16,414 (\text{Tidal Cycles})$

Houdart(1974)는 Ketchum의 방법을 鎮海灣에 適用하여 平均潮汐移動距離 및 플러팅싱율을 算定하였는데 大潮時의 平均潮流速度에 依한 觀測된 平均潮汐移動距離 ( mean tidal excursion length )와 잘 一致하는 것으로 調査되었다. 이 방법을 適用키 爲해 行岩灣에서 加德島南側까지 圖 4 - 4에 提示된 바와 같이 나누어 졌으며 算定된 交換率 ( exchange ratio ) 및 플러팅싱時間 ( flushing time , 即 mean age of pollutant )은 表 4 - 6 및 圖 4 - 5에 提示되어 있다.

表 4 - 6 鎮海灣의 潮汐플러팅싱時間

Segment Number	Mean water depth	Eexchange ratio	Mean age (tidal cycles)	Half life (tidal cycles)
1	10	0.09	11	7.4
2	13	0.07	14	9.5
3	18	0.05	19	13.5
4	15	0.06	16	11.2
5	15	0.06	16	11.2

#### 第 4 節 淡水比率法 ( Fraction of freshwater method )

塩分分布資料가 있을때 河口의 各 節片의 蓄積된 淡水의 平均比率  $f_n$  을 求할 수 있다. 方程式

$$f_n = \frac{S_0 - \bar{S}_n}{S_0} \quad (18)$$

에서 얻은 資料를 各 節片의 플러싱時間과 河口全体의 플러싱時間을 算定하는데 利用할 수 있다. 여기서  $S_0$  는 隣接外海의 塩度이며  $\bar{S}_n$  은 考慮되는 節片의 平均塩度이다.  $S_0$  의 選擇은 매우 重要하기 때문에 河川水의 影響을 받지 않는 隣接 河口 外側의 塩度이어야 한다. 이 方法에서는 河川淡水에 依해 稀釈되지 않는 限 河口는 選定된 塩度  $S_0$  를 維持한다는 것이 基本的으로 假定된다. 플러싱時間  $F = \frac{Q_f}{R}$  이다. 이때  $Q_f$  는 河口에 蓄積된 淡水量이고  $R$  은 潮汐週期當 河川流入水量이다.

이 淡水比率法은 河口全体 또는 1 km 程度의 節片에 適用될 수 있다.

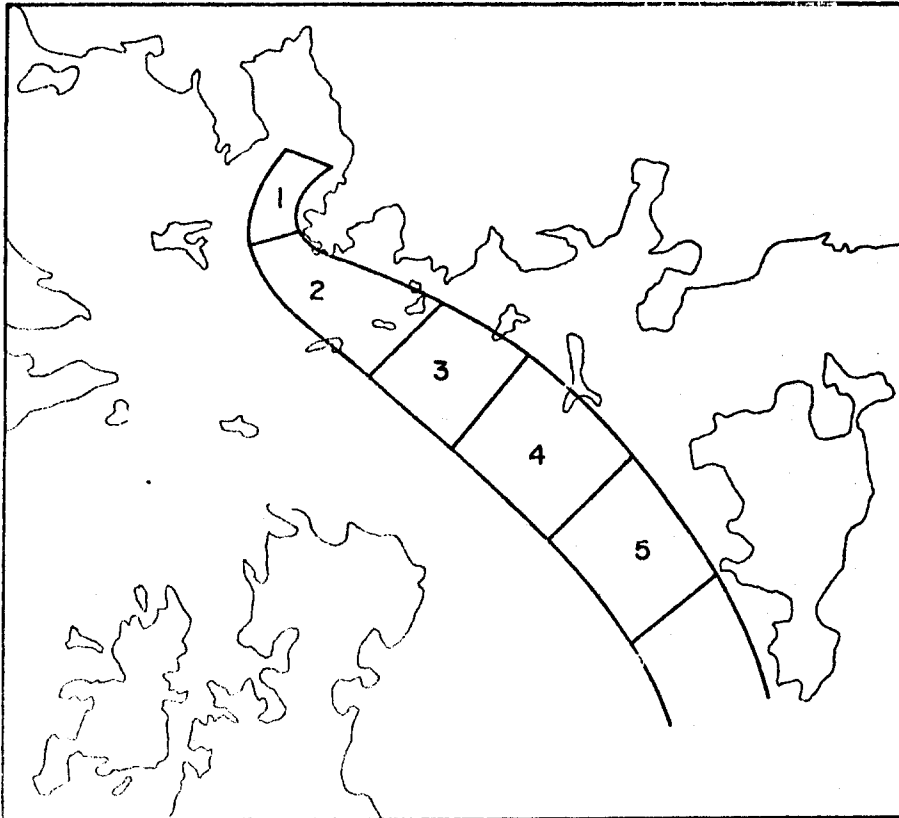


圖4-4. 鎮海灣區分圖  
(Segmentation of Chinhae Bay)

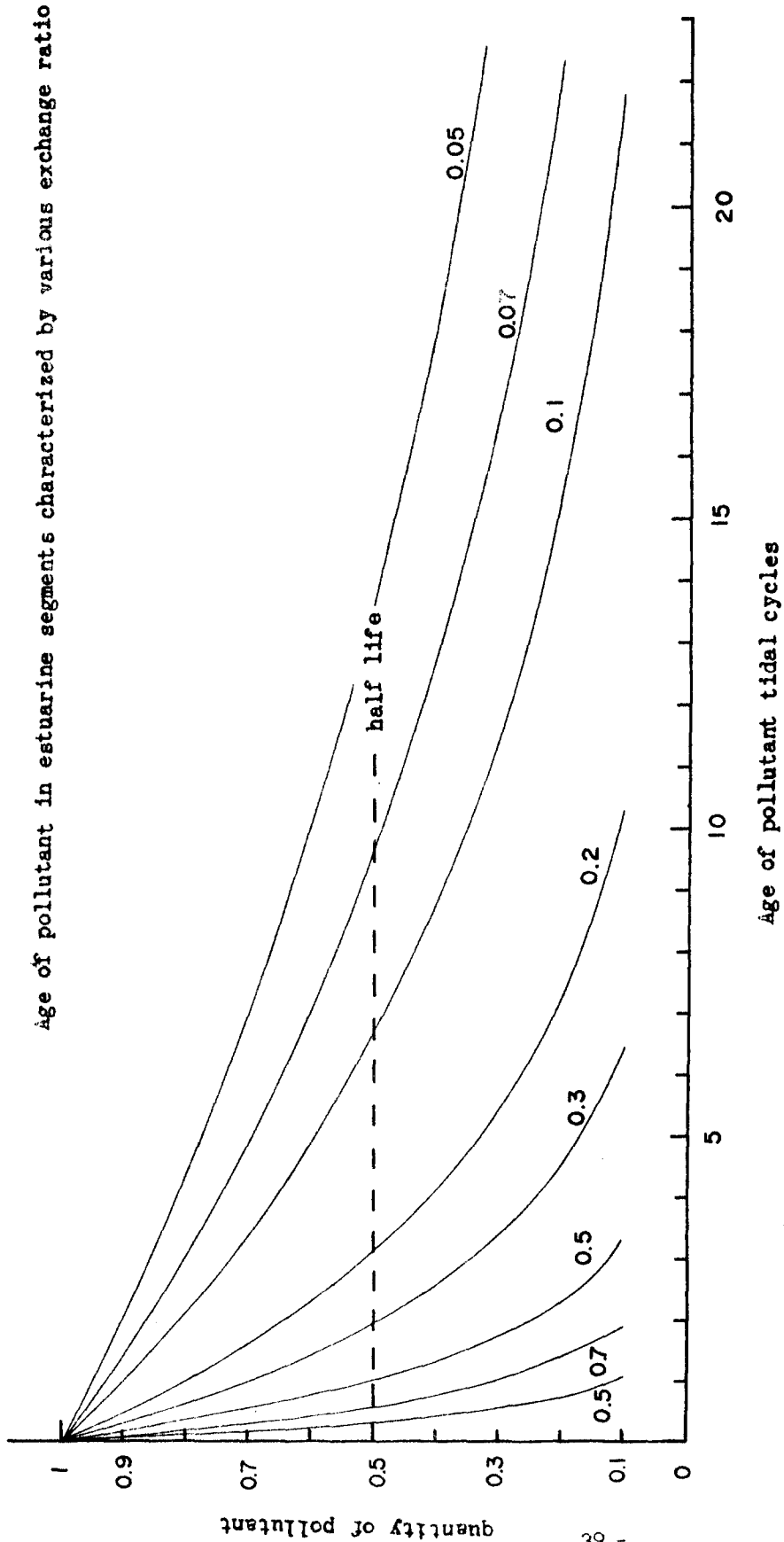


圖 4 - 5. 鎮海灣의 潮汐플러싱 時間  
(flushing times (age of pollutant) in Chinhae Bay)

Ketchum은 이 淡水比率法을 河口体系에 流入되는 汚染物質의 分布를 推定하기 爲하여 利用하였다. 分解되지 않는 持統性 ( conservative, non-decaying )인 汚染物質인 境遇, 廢水口를 包含하는 節片에서 汚染物質의 平均濃度는

$$C_0 = \frac{q}{R} f_0 \quad (19)$$

여기서  $q$ 는 汚染物質의 流入比率

$R$ 은 河川流入水

$f_0$ 는 廢水口를 包含하는 節片의 淡水比率 廢水口의 下流側 節片에서의 濃度는 河口斷面을 通過하는 汚染物質이 廢水口에서 流出되는 比率과 같다고 假定하여

$$C_n = C_0 \frac{f_n}{f_0} = \frac{P}{R} f_n \quad (20)$$

여기서  $n$ 은 下流側  $n$  서의 淡水比率廢水口의 上流側節片에서의 濃度는

$$C_{-n} = C_0 \frac{S_n}{S_0} = \frac{1-f_n}{1-f_0} C_0 \quad (21)$$

여기서  $S_0$ 는 廢水口를 包含한 節片의 鹽度

$S_n$ 은 上流側  $n$ 번째 節片의 鹽度

淡水比率法을 適用하여 汚染物質의 濃度分布를 推定하는 上記方法은 附錄 A에 提示된 프로그램에 Stommel 모델의 結果와 比較하기 爲해 同時에 算定되도록 하였다. 이 方法을 自然河川에 適用할 때 表 4 - 7과 같은 鹽分資料와 汚染物質이 節片



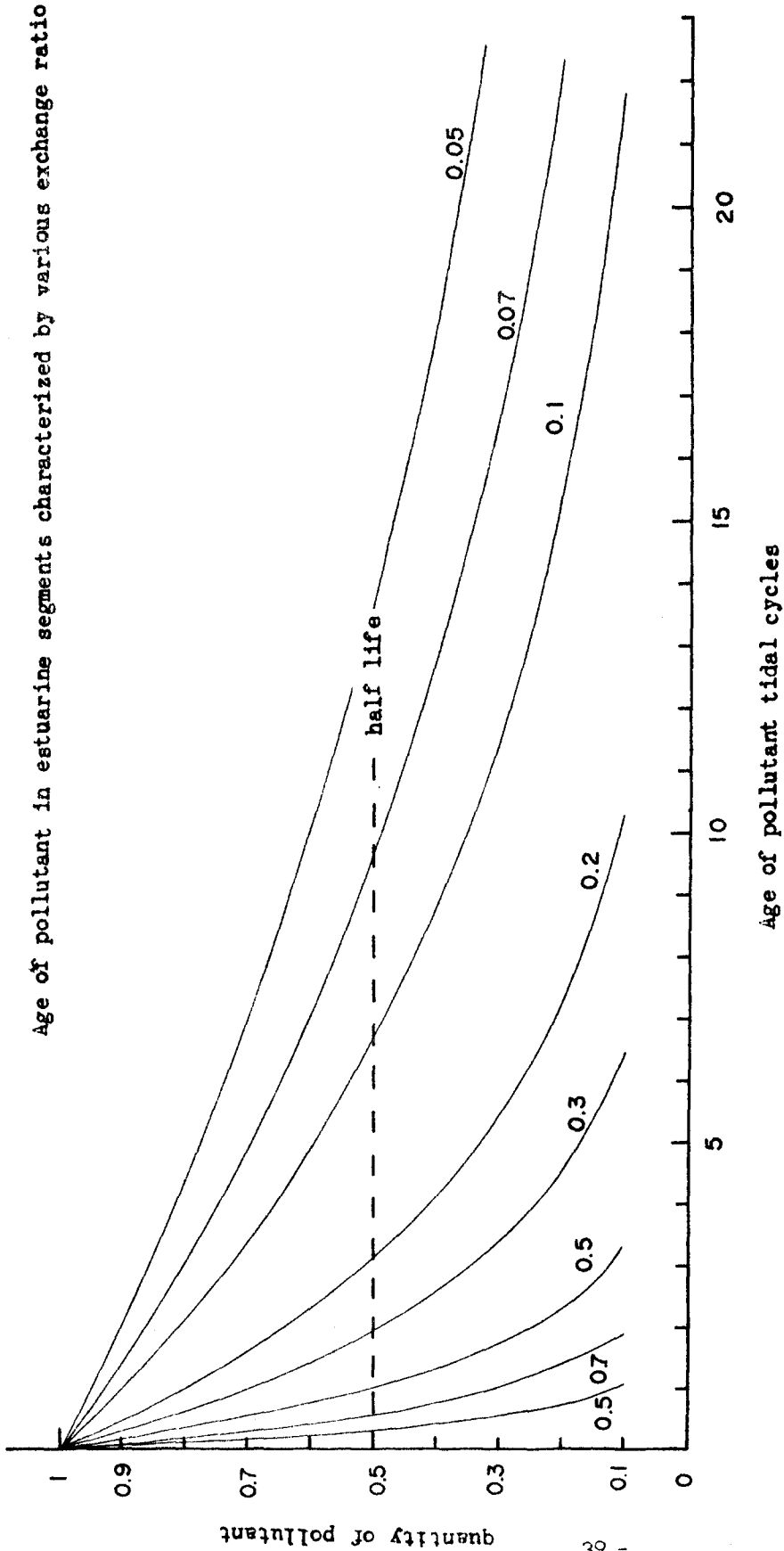


圖 4-5. 鎮海灣의 潮汐플러싱 時間  
(flushing times (age of pollutant) in Chinhae Bay)

Ketchum 은 이 淡水比率法을 河口体系에 流入되는 汚染物質의 分布를 推定하기 爲하여 利用하였다. 分解되지 않는 持統性 ( conservative, non-decaying ) 인 汚染物質인 境遇, 廢水口를 包含하는 節片에서 汚染物質의 平均濃度는

$$C_0 = \frac{q}{R} f_0 \quad (19)$$

여기서  $q$  는 汚染物質의 流入比率

$R$  은 河川流入水

$f_0$  는 廢水口를 包含하는 節片의 淡水比率 廢水口의 下流側 節片에서의 濃度는 河口断面을 通過하는 汚染物質이 廢水口에서 流出되는 比率과 같다고 假定하여

$$C_n = C_0 \frac{f_n}{f_0} = \frac{P}{R} f_n \quad (20)$$

여기서  $n$  은 下流側  $n$  서의 淡水比率 廢水口의 上流側 節片에서의 濃度는

$$C_{-n} = C_0 \frac{S_n}{S_0} = \frac{1-f_n}{1-f_0} C_0 \quad (21)$$

여기서  $S_0$  는 廢水口를 包含한 절편의 鹽度

$S_n$  은 上流側  $n$  번째 절편의 鹽度

淡水比率法을 適用하여 汚染物質의 濃度分布를 推定하는 上記方法은 附錄 A에 提示된 프로그램에 Stommel 모델의 結果와 比較하기 爲해 同時에 算定되도록 하였다. 이 方法을 自然 河川에 適用할 때 表 4 - 7 과 같은 鹽分資料와 汚染物質이 節片

表 4 - 8

淡水比率法에 의한 濃度分布

( 流量 : cfs  
 ( 濃度 : lb/ft<sup>3</sup> )

節片番号	$Q_f = 100$	$Q_f = 200$	$Q_f = 400$
1	0	0	0
2	$0.24 \times 10^{-1}$	$0.12 \times 10^{-1}$	$0.6 \times 10^{-2}$
3	$0.50 \times 10^{-1}$	$0.25 \times 10^{-1}$	$0.13 \times 10^{-1}$
4	$0.71 \times 10^{-1}$	$0.36 \times 10^{-1}$	$0.18 \times 10^{-1}$
5	$0.31 \times 10^{-1}$	$0.15 \times 10^{-1}$	$0.77 \times 10^{-2}$
6	$0.15 \times 10^{-1}$	$0.74 \times 10^{-2}$	$0.37 \times 10^{-2}$
7	$0.49 \times 10^{-2}$	$0.25 \times 10^{-2}$	$0.13 \times 10^{-2}$
8	0	0	0

第 5 節 修正分節方法 (Modified Segmentation Method)

Ketchum의 修正潮汐프릿슴方法은 Dyer와 Taylor(1973)에 의해 修正되었는데 本 報告書에서는 便宜上 修正分節方法 (Modified Segmentation Method)이라 稱한다. Ketchum의 方法에서 모델의 最上端인 節片 0는 滿潮時에 流速變化가 없는 것으로 定義된다. 0節片의 流量을 Ketchum이 R로서 假定한 것과 달리  $\frac{R}{2}$ 로서 考慮하였다. 이는 Ketchum이 河口의 上端을 閉鎖型 即 Weir型으로 考慮하고 Dyer와 Taylor

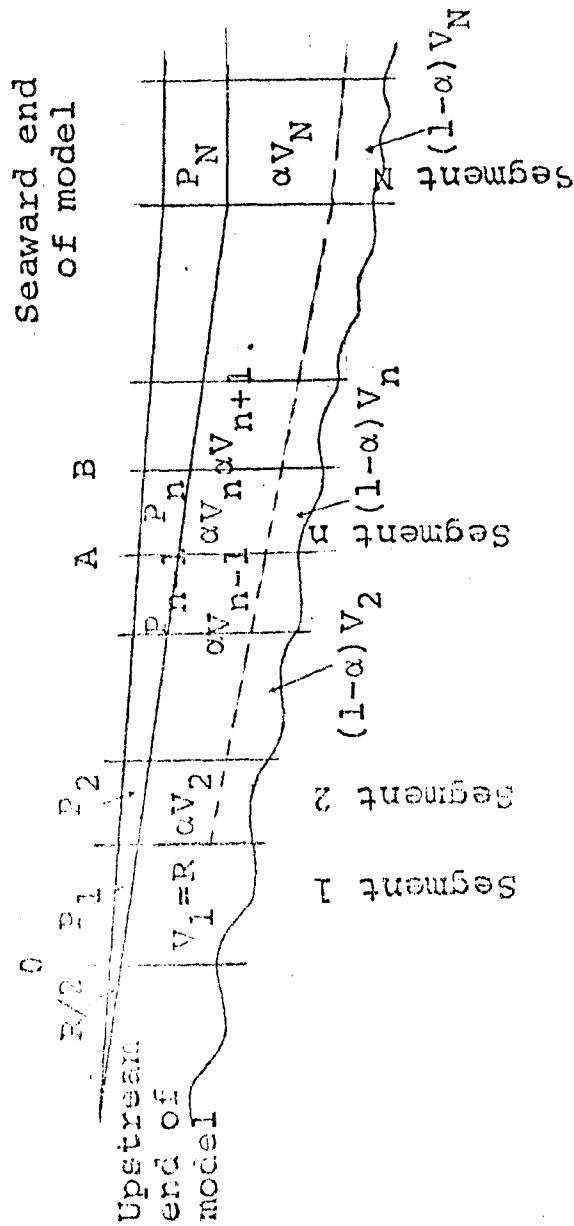


图 4-6. 河口の分節 (修正分節方法)  
(Modified Segmentation of an estuary)

는 開放型으로 假定하였다고 생각할 수 있다. 圖 4 - 6 에 提  
示된 바와 같이

$$V_1 = R \quad (22)$$

$$\alpha V_2 = P_1 \quad (23)$$

.....  
.....

$$\alpha V_{n+1} = \alpha V_n + P_n \quad (n = 2, \dots, n-1) \quad (24)$$

여기서  $\alpha (0 < \alpha < 1)$  는 混合過程에 關聯되는 媒介變數로서  
潮汐移動距離에 對한 觀察로 부터 決定될 수 있고 各 節片에  
따라 變한다.  $V_n$  은  $n$  번째 節片의 低潮時 潮量이며 이와같이  
漲潮時 潮量,  $\alpha V_{n+1}$  이 高潮時的  $\alpha V_n$  과  $P_n$  ( $n = 1$  일 境遇에  
는  $P_1$ ) 을 占有하여 上流側으로 移動하는 것으로 생각하도록  
節片들을 定義한다. 이 過程에서 低潮에서 漸次 高潮가 되었을  
때는 節片  $n$  에 남아있는 潮量中  $(1 - \alpha) V_n$  ( $n = 1$  이면  
 $V_1$ ) 이 混合된다.

$V_1$  을  $R$  로 取했을 때 落潮時 이 潮量은 河川에 依해  
供給되며 低潮時 完全히 河川水로만 이루어진다. 漲潮時에  
 $\alpha V_{n+1}$  潮量이 断面 B 를 上側으로 通過하며 落潮時에는  $\alpha V_{n+1} +$   
 $R$  이 下流側으로 通過한다. 各 節片에 對한 河川水의 滿潮時  
低潮時的 濃度 및 基準濃度 即  $C_n^H, C_n^L$  및  $C_0$  가 定義된다.

低潮와 高潮를 考慮하여 潮汐週期當  $RC_0$  에 該當하는 河  
川水의 外海쪽의 流出 (Net Outflow) 이 假定된다.  $n$  번째

節片에서의 高潮時 必要한 平衡條件은 潮量이  $V_{n+1}$  이라는 것을 생각할 때 下記式으로 나타내 진다.

$$R C_{n-1}^H + V_{n+1} C_n^H - V_{n+1} C_{n+1}^L = R C_0 \quad (25)$$

高潮時  $n$  번째 節片의  $\alpha V_{n+1}$  ( $= \alpha V_n + P_n$ ) 에 該當하는 潮量은 潮量  $(1 - \alpha) V_n$  과 完全히 混合될 것이다. 따라서

$$(V_n + P_n) C_n^H = \alpha V_{n+1} C_{n+1}^L + (1 - \alpha) V_n C_n^L$$

$$n \geq 2 \quad (26)$$

또는

$$(V_1 + P_1) C_1^H = V_1 C_1^L + \alpha V_2 C_2^L \quad (27)$$

落潮時  $C_{n+1}^H$  의 濃度を 갖는 潮量  $\alpha V_n + R$  은  $n - 1$  번째 節片으로부터  $n$  번째 節片으로 移動하여 落潮時 남아있는 濃度  $C_n^H$  인 潮量  $(1 - \alpha) V_n - R$  과 混合된다. 이때 落潮時 断面 A 에 必要한 追加潮量은 남아있는  $(1 - \alpha) V_{n-1}$  의 層에서 吸收된다. 따라서 低潮時의 混合은 다음과 같이 表現된다.

$$V_n C_n^L = (\alpha V_n + R) C_{n-1}^H + \{ (1 - \alpha) V_n - R \} C_n^H$$

$$n > 2 \quad (28)$$

그러므로  $V_1 = R$  일때  $C_1^L = C_0$  이다.

各 濃度사이의 相互交換關係는 任意의 断面을 通하여 每 潮汐週期마다  $R C_0$  에 該當하는 河川水의 外海쪽 純流出 (Net Outflow) 이 있어야 한다는 必要에 依해 주어진다. 따라서

$$RC_0 = (R + \alpha V_{n+1}) C_n^H - \alpha V_{n+1} C_{n+1}^H \quad n > 1 \quad (29)$$

$C_n^L$  과  $C_n^H$  의 關係를 式 (27)(29) 에서 求하면

$$C_n^L - C_n^H = \frac{R}{(1 - \alpha) V_n} (C_0 - C_n^H) \quad n > 2 \quad (30)$$

마지막 節片의 外海側 下端에서  $C_{n+1}^H = 0$  라 하면

$C_n^H, C_n^L, C_{n-1}^H, C_{n-1}^L, \dots, C_2^L, C_1^H$  은 上記 두 式 (29)(30) 으로 부터 求해진다. 이 假定에 依하여 高潮時 節片  $n$  에 侵入하여 上流를 通過하는 塩水는 落潮時 完全除去된다고 假定되므로서  $C_n^L = C_0$  이며 結果적으로  $C_{n-1}^H = C_0, C_{n-1}^L = C_0, \dots$  등이 된다. 이 修正分節方法은 適合한 資料가 없어 우리나라 自然 河川에 應用되지 않았지만 初期段階의 汚染度推定에 有用할 것으로 생각한다.

## 第 6 節 上層混合된 河口 ( Over-Mixed Estuary )

### 에서의 플러팅 時間

上層混合된 河口의 플러팅 時間 推定 方法은 Gibson (1959) 에 依하여 提示되었다. 上層混合河口는 圖 4 - 7 에 提示된 바와 같이 上層은 混合水가 外海쪽으로 흐르고 下層에서는 塩水가 上流로 移動한다. 이 方法의 첫 段階는 河口의 塩分度躍層의 成層分布 ( Thermohaline Stratification ) 를 調查하는 것이다. 이 過程은 河口에 流入된 汚染物質이 迅速하게 低層水에

混合되고 漸次 上流側으로 移動하여 表層水와 混合되어 外海로 빠져 나간다는 基本的인 假定에서 이루어진다. 이 上層水와 下層水는 躍層과 거의 一致하는 運動이 일어나지 않는 境界面 ( surface of no motion ) 에 依하여 分離된다. 이 二層의 境界가 設定되면 各 層의 平均流量과 純 移動量 ( Net Movement ) 을 算定한다. 이때 B層의 純移動量 (  $Q_B$  ) 은 外海로부터 每 潮汐週期마다 새로이 流入되는 潮汐프리즈에 該當하는 潮量 ( B ) 이다. 따라서 河川底層에 設置된 廢水口로 부터 流入되는 汚染物質은 上流로 수마일씩이나 移動해서 上層水와 完全한 混合을 일으키고 마침내는 河口全体에 分布하게 된다.

그러므로 上層水의 純流出量은  $Q_A = Q_B + R$  로 表示되는데 여기서 R은 河川流入水の 觀測值이다. 資料가 不充分할 때

$$Q_A = a ( U_E t_E - U_F t_F ) \quad (31)$$

에 依하여 算定하는데 이때 a는 上層水 ( A ) 의 断面積이며  $U_E, U_F$  는 各各 落潮, 漲潮時의 平均流速이며  $t_E, t_F$  는 各各 落潮와 漲潮가 持續되는 時間이다. 이 때 各 層의 交換率은

$$r_A = \frac{Q_A}{A} \quad (32)$$

$$r_B = \frac{Q_B}{B} \quad (33)$$

이다. 이 交換率에서  $A r_A$  는 한 潮汐週期동안에 外海로 빠져 나가는 潮量이며  $B r_B$  는 断面 A를 通해 上層으로 移動하는 量이다. 또한 平均交換率은  $r = \frac{r_A + r_B}{2}$  로 表示되며



$r_A, r_B$ 의 實際的인 값은  $1/10$ 과  $1/50$  사이에 있게 된다.

$t$  번째 潮汐週期를 經過한 後 潮汐河口에 殘留하는 汚染物質의 量  $C_t$ 는 다음과 같다.

$$C_t = A(1 - r_A)^t + \frac{t \cdot r}{1 - r} \cdot B(1 - r)^t \quad (34)$$

이 方法에 依하면 每 潮汐週期마다 高潮時에 完全混合이 이루어져 河口의 汚染物質이 潮汐에 依해 漸進的으로 빠져 나가는 것을 假定하고 있다. 實際로는 潮汐週期の 函數로서의 플릿싱을 直接 圖表로 그리는 것이 能率的이므로 上記式을 簡略하면 두 層은 各各 다음 關係들로 別途 取扱된다.

$$y_1 = (0.35)^m A \quad m = 1, 2, \dots \quad (35)$$

$$y_2 = (0.35)^m \frac{B}{1 - r} \quad n = 1, 2, \dots, \quad (36)$$

이  $y_1, y_2$ 를 同一座標系에  $r$ 의 逆數를 橫軸의 單位로 하여 그리면  $y_1$ 과  $y_2$ 의 合이 願하는 潮汐週期後에 断面A에 남는 汚染物質의 量이다. Bowden(1963)에 依해 提示된 다른 方法은 Gibson의 方法과 거의 同一하나 上下層의 鹽分資料와 淡水流入量을 利用하고 있다. 即 潮量과 鹽分の 量이 連續的인 條件에서 다음 式이 얻어진다.

$$Q_A - Q_B = R \quad (37)$$

$$Q_A S_A = Q_B S_B \quad (38)$$

따라서

$$Q_A = \frac{S_B \cdot R}{S_B - S_A} \quad (39)$$

또

$$Q_B = \frac{S_A \cdot R}{S_B - S_A} \quad (40)$$

여기서  $S_A$ 는 上層의 平均 鹽度이고  $S_B$ 는 下層의 平均 鹽度이다.  $V$ 가 河口의 總 潮量이라 하면 플렛싱時間은

$$T = \frac{V}{Q_A} = \frac{V(S_B - S_A)}{S_B \cdot R} \quad (41)$$

이러한 上層 混合의 概念이 適切하게 適用될 수 있는 河口 形態는 垂直的으로 成層을 이루고 每 潮汐週期마다 上層은 外海로 純流出成分을 가지고 下層은 上流側으로 純流入成分을 갖는 것이 뚜렷한 곳이다. 그러나 成層形 河口가 모두 上層 混合을 이루는 것이 아니다. 一般的으로 1.5 m 程度를 上廻하고 河口 深度가 約 10 m 未滿인 곳에서 河口 流入水가 매우 클때 上層 混合이 일어난다고 假定하는 것이 合理的이다. 本 調査에서 上層 混合이 調査된 適切한 河口가 없었으므로 이 方法을 適用하지 않았다.

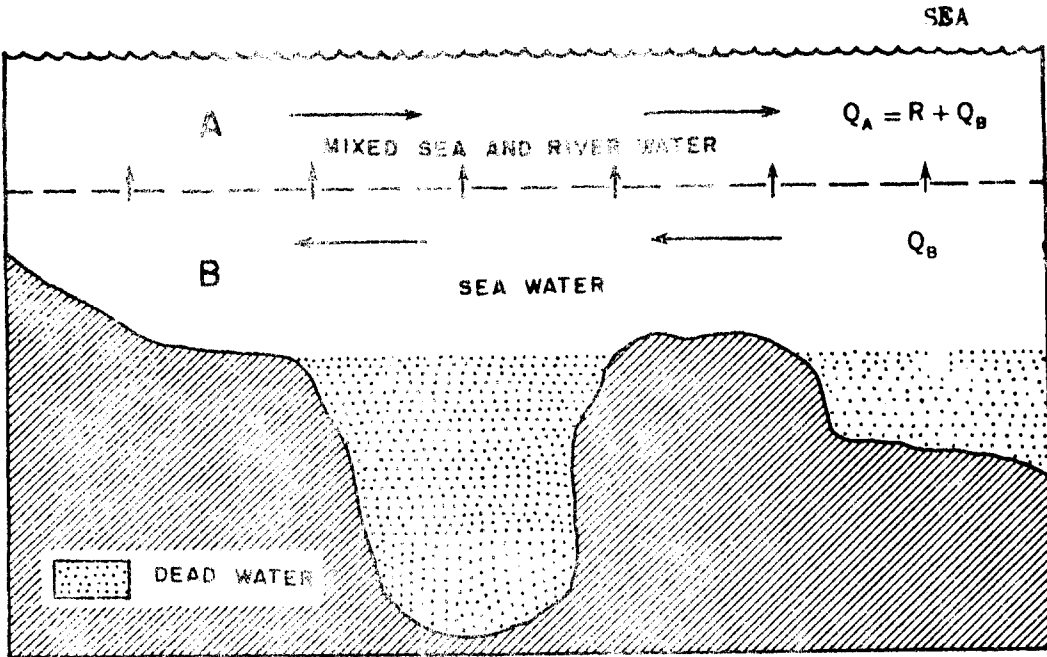


圖 4-7 上層의 층된 河口에서의 循環形態  
 (circulation pattern of an overmixed estuary)

## 第 7 節 Stommel 의 모델

強混合된 河口에서 汚染物質分布의 推定方法으로 흔히 利用  
用되는 것은 1次元 質量保存方程式이다. 強混合된 1次元潮汐  
河口에서 汚染物質의 分布를 다룬 모델은 Stommel 에 依해 提  
示되었다.

$$F(x) = RC - AD \frac{dC}{dx} \quad (42)$$

여기서  $F(x)$  는 断面을 通過하는 汚染物質의 外海側純  
移 移動量

$D$  는 亂流 擴散係數 (Turbulent eddy diffusivity)  
이다.

即, 汚染物質이 分解되지 않는 持續性 (Conservative)  
이던 下流側으로의 純移動量은 Steady State 狀態에서 一定하며  
上流側에의 純移動量은 0이다. 分解되는 (non-Conservative)  
汚染物質의 式은

$$\frac{d}{dx} \left( RC - AD \frac{dC}{dx} \right) + AC/\tau = 0 \quad (43)$$

여기서  $\tau$  는 汚染物質의 濃度  $C_0$  (廢水口에서의 濃度)가  
 $C_0/e$  로 減衰分解되는데 所要되는 時間이다.  $\tau$  는 汚染物質의  
半減期보다 약간 크다. (半減期 =  $0.693 \tau$ )

Stommel 이 提示한 式을 差分化하면

$$X_n C_{n-1} + Y_n C_n + Z_n C_{n+1} = 0 \quad (44)$$

여기서

$$X_n = -\frac{1}{2a} \left( R_{n-1} - \frac{D_{n+1} A_{n+1} - D_{n-1} A_{n-1}}{2a} \right) - \frac{A_n D_n}{a^2} \quad (45)$$

$$Y_n = \frac{2 D_n A_n}{a^2} + \frac{A_n}{\tau} \quad (46)$$

$$Z_n = \frac{1}{2a} \left( R_{n+1} - \frac{A_{n+1} D_{n+1} - A_{n-1} D_{n-1}}{2a} \right) - \frac{A_n D_n}{a^2} \quad (47)$$

河口는  $n$  개의 節片으로 区分되는데 各節片 사이의 距離는  $a$  이다. 各 節片의 乱流擴散係數  $D_n$  은 淡水比率  $f_n$  으로 부터 求해진다.

即

$$D_n = \frac{R(2a)(1-f_n)}{A_n(f_{n-1} - f_{n+1})} \quad (48)$$

여기서

$R$  = 河川流入水

$a$  = 各 節片 사이의 距離

$f_n$  = 節片  $n$  의 淡水比率

$A_n$  = 節片  $n$  의 斷面積

$f_{n-1}$  = 節片  $n-1$  의 淡水比率 (上流側)

$f_{n+1}$  = 節片  $n+1$  의 淡水比率 ( 下流側 )

$D_n$  = 亂流 擴散係數

一般的으로  $f_n$  은 1 보다 작고  $f_{n+1}$  은  $f_{n-1}$  보다 작으므로  $D_n$  은 陽數이다. 河口上端 및 河口入口外海의  $D$  값은 淡水分布로 決定되지 아니한다.  $R$  이 一定하다고 하면 移流項은  $R \frac{dC}{dX}$  가 되는데 이는 모든 河川流入水가 河口上端에서만 이루어진다는 것이다. 亂流 擴散係數  $D$  는 正確히 말하면 縱方向 擴散係數 ( Longitudinal Dispersion Coefficient ) 로서

1. 垂直流速分布의 擴散效果
2. 潮流의 擴散效果
3. 外海의 鹽水浸透로 惹起된 密度勾配에 依한 縱方向 擴散

을 나타낸다. 廢水口位置  $n = S$  인 때 式 (44) 에서

$$a ( X_n C_{n-1} + Y_n C_n + Z_n C_{n+1} ) = J \quad (49)$$

여기서  $J$  는 廢水口에서 汚染物質의 流入率이다. Stommel 의 初期假定은 放流管이 設置된 區間에서의 汚染物質 流入量의 變化率이  $J/2a$  ( $a$  는 差分式의 距離增分) 라는 것이다.

여기서 汚染物質의 變化量이  $2a$  의 區間을 두고 變化한다는 것에 疑問點이 있다. 卽 한 潮汐週期를 通하여 汚染物質이 擴散되는 河口水量은 潮汐移動距離와 放流管이 設置된 斷面의 面積을 곱한 것이 되는데 이때 放流管이 設置된 區間의

潮汐移動距離가 2 a 일 때 가장 正確한 推定을 하게 되는 것이다. 따라서 2 a 를 使用하는 代身 現場觀測된 潮汐移動距離나 Ketchum 의 方法에 依해 算定된 潮汐移動距離를 利用하는 것이 더 合理的이다.

또한 Stommel 의 假定은 放流되는 汚染物質이 河口水와 混合可能하며 같은 密度인 것으로 假定하였다. 이는 實際에 있어 放流되는 汚染物質이 河口水의 密度보다 낮은 境遇 水表面에 떠올라서 擴散되며 높은 境遇는 河床의 屈曲部에 沈積하여 플릿싱率は 顯著히 低下될 것이다. 表 4 - 9 는 附錄 A 에 提示된 Stommel 의 擴散式모델의 電算結果이며 表 4 - 7 에 提示된 塩分資料 및 錦江河口의 地形資料를 利用한 것이다.

이 境遇 塩水浸透가 上流 40 km 까지 일어났다고 假定하였는데 10 lb/sec 의 汚染物質이 5 번째 節片에 放流되었을 때 4 번째 節片의 濃度는

$$\frac{0.1565 \times 10^4 \times 10}{16400 \times 2} = 4.77 \times 10^{-1} \text{ (lb/ft}^3 \text{)}$$

( 潮汐移動距離가 2 a 인 境遇 )

같은 量의 汚染物質이 3 번째 節片에서 放流되었을 때 節片의 濃度는

$$\frac{0.9977 \times 10^3 \times 10}{16400 \times 2} = 3.04 \times 10^{-1} \text{ (lb/ft}^3 \text{)}$$

( 潮汐移動距離가 2 a 인 境遇 )

表 4-9. Stommel 모델의 計算結果

S(I)	SA(I)	A(I)	P(I)	Q(I)	R(I)	U(I)
.9500E+05	.2150E+02	0.	0.	0.	0.	0.
.6900E+05	.1550E+02	.5546E+03	-.2461E-02	.3670E-02	-.2210E-02	.2435E-02
.5500E+05	.1020E+02	.5646E+03	-.1356E-02	.2169E-02	-.1237E-02	.5624E-02
.2700E+05	.5800E+01	.9151E+03	-.1059E-02	.1837E-02	-.7666E-03	.7171E-02
.1300E+05	.2500E+01	.1371E+04	-.9122E-03	.1320E-02	-.4133E-02	.3091E-02
.1200E+05	.1200E+01	.1562E+04	-.9377E-03	.1394E-02	-.4161E-02	.1464E-02
.6500E+04	.4000E+00	.1682E+04	-.5372E-03	.1130E-03	-.2798E-03	.4945E-02
.3500E+04	0.	0.	0.	0.	0.	0.
INPUT POSITION 1TH INTERVAL (Segment 2)						
.3994E+03	.3652E+03	.3692E+03	.3469E+03	.2978E+03	.1967E+03	
INPUT POSITION 2TH INTERVAL (Segment 3)						
.3431E+03	.1041E+04	.9977E+03	.9375E+03	.8047E+03	.5317E+03	
INPUT POSITION 3TH INTERVAL (Segment 4)						
.3713E+03	.1127E+04	.1977E+04	.1957E+04	.1594E+04	.1053E+04	
INPUT POSITION 4TH INTERVAL (Segment 5)						
.2940E+03	.8920E+03	.1565E+04	.2501E+04	.2147E+04	.1418E+04	
INPUT POSITION 5TH INTERVAL (Segment 6)						
.1112E+03	.3375E+03	.5922E+03	.9462E+03	.1728E+04	.1141E+04	
INPUT POSITION 6TH INTERVAL (Segment 7)						
.6241E+02	.1693E+03	.3322E+03	.5306E+03	.9691E+03	.1870E+04	

註) 1. C(I)는 淡水比率에 의한 計算值임.

2. 첫번째와 마지막節片의 濃度는 0으로 取해진다.



로서 放流管이 3 번째 節片에 位置할 때 4 번째 節片에 位置한 境遇보다 36%의 濃度의 減少를 알 수 있다.

表의  $C(I)$ 는 淡水比率法에 依해 計算된 濃度인데  $10 \text{ lb/sec}$ 의 汚染物質이 4 번째 節片에 放流될 때  $0.717 \times 10^{-1} \text{ lb/ft}^3$ 의 濃度가 計算되었고 Stommel의 方法은

$$\frac{0.1977 \times 10^4 \times 10}{16400 \times 2} = 6.03 \times 10^{-1} \text{ lb/ft}^3$$

이었다. 이 差異는 前述된 潮汐移動距離에 對한 正確한 資料가 없고 鹽分分布의 平均値를 代表하는 區間에 對한 資料가 不正確한 것에 起因한다. 이와같이 Stommel의 모델은 여러 制約點을 가지고 있으며 이 方法에 依해서는 擴散에 對한 仔細한 過程을 理解할 수 없으나 初期段階에 있어서 工場廢水를 放流하기 爲한 概略的 位置選定에 寄與할 수 있을 것이다.

### 第 8 節 水質 모델 ( Steady State Water Quality Model )

式 (44)의 差分形은 外力函數 ( Forcing Function )가 右 邊에 있는 線形系로 바꿀 수 있는데 여기서  $\bar{c}$ 는  $X, Y, Z$ 에 吸收되며 一次元境遇의 全体系는 下記와 같이 나타내진다.

$$\left. \begin{array}{l} Y_{11}C_1 + Z_{12}C_2 + 0 + \dots + 0 = J_1 \\ X_{21}C_1 + Y_{22}C_2 + Z_{23}C_3 + 0 + \dots + 0 = J_2 \\ \text{-----} \\ \text{-----} \\ 0 + 0 + 0 + \dots + X_{n,n-1}C_{n-1} + Y_{nn}C_n = J_n \end{array} \right\} (50)$$

式 (50)의 行列式은

$$[A][C] = [J] \quad (51)$$

여기서  $[A]$ 는 Tridiagonal 行列이라 부르는  $n \times n$  行列이며  $[C]$ 는 汚染物質의 濃度를 나타내는  $n$ 次元의 Column 벡터,  $[J]$ 는 外力函数 即 汚染物質 放出量을 나타내는 Column 벡터이다.

式 (51)은 컴퓨터에 依해 쉽게 計算된다. 即

$$[C] = [A]^{-1} [J] \quad (52)$$

여기서  $[A]^{-1}$ , 逆行列은 放流管 (Outfall)이 位置한 區間에  $[J]$ 와 乘해진다. 萬一 汚染物質이 河口를 따라 數 個處에서 放出될 境遇 體系가 線形이며 重疊解가 可能하므로 總體的인 解는 個個의 解의 和로서 求할 수 있다. 溶存酸素 (Dissolved Oxygen)의 分布를 求하는 것은 分解되지 않는 持統性 (Conservative) 汚染物質의 境遇보다 減衰되며 持統性 없는 (Non-Conservative) 汚染物質의 境遇보다 더 複雜하다.

光合作用 및 底棲生物의 溶存酸素 要求量 (benthic demand)를 無視한 溶存酸素에 關한 基本式은

$$\frac{d}{dx} (RC - AD \frac{dC}{dx}) = K_2 A (C_S - C) - K_1 AL \quad (53)$$

여기서

$K_1 = 1$ 次減衰係數 (first order decay coefficient)

$K_2 =$ 再曝氣係數 (reaeration coefficient) 또는

脫酸素係數

Stommel 의 式 (43) 은 下記와 같이 變換시킬 수 있으  
며

$$\frac{d}{dx} \left( RL - AD \frac{dL}{dx} \right) + K_1 AL = F \quad (54)$$

여기서 F는 外力函数이다.

式 (53)을 x에 대해 微分하여 整理하면

$$\left( R \frac{d}{dx} - \frac{d}{dx} (AD) \frac{d}{dx} - AD \frac{d^2}{dx^2} + K_2 A \right) C = K_2 AC_S - K_1 AL \quad (55)$$

L은 式 (54)에서 부터 下記와 같이 定해진다.

$$\left( R \frac{d}{dx} - \frac{d}{dx} (AD) \frac{d}{dx} - AD \frac{d^2}{dx^2} + K_1 A \right) L = F \quad (56)$$

式 (55)의 괄호안은 外力函数이다.  $K_1 AC_S$ 와  $K_1 AL$ 을 C로서 變形시키기 爲한 transfer function이다. 類似하게 式 (56)의 外力函数, F는 河口의 任意의 區間에서 放出되는 BOD이며 괄호안의 移流, 擴散 및 反應度에 依해 變換되어 縱方向의 BOD分布를 나타낸다. 모델의 河口下端에서  $C = C_S$ 로 取해지고 上流側의 河川水가 流入되는 곳의 亂流擴散係數는 0으로 取해진다.

式 (55)를 行列式으로 바꾸면

$$[B][C] = [K_2 AC_S - K_1 AL] \text{이며} \quad (57)$$

[C]에 関해 論하면

$$[C] = [B]^{-1} [K_2 A C_S] - [B]^{-1} [K_1 A L] \quad (58)$$

式 (56) 에서  $F = 0$  일 때,  $L = 0$  이며  $C_S$  의 縱方向變化는 없는 것으로 假定되었으므로 따라서 式 (58) 은

$$[C] = [C_S] - [B]^{-1} [K_1 A L] \quad (59)$$

式 (56) 에서  $[L]$  을 求解 式 (59) 에 代入하면

$$[C] = [C_S] - [B]^{-1} [A]^{-1} [K_1 F] \quad (60)$$

이며 最終적으로 綜合된 溶存酸素의 分布式이다. 圖 4 - 8 는 式 (57)(58)(60) 의 解의 圖解的인 提示이다. 이 体系分布에 依한 水質 모델은 Thomann(1972)에 依해 提示된 以後 美國의 Delaware 河口管理에 成功的으로 適用되었다. 그러나 Steady State 水質 모델은 1 潮汐週期 또는 1 日의 平均值들을 利用하여 1 年을 통한 檢證 및 推定을 爲해 利用되었으므로 長期間의 變化에 對한 推定에는 有用히 利用될 수 있으나 한 潮汐週期內의 變化樣相에 對해서는 適用할 수 없는 難點이 있다. 따라서 Steady-State 의 假定이 모델이 適用될 河口에 適合한가는 綿密히 檢討되어야 할 것이다. Thomann (1972)에 依해 開發된 컴퓨터 모델은 약간의 修正을 가하여 鎡江河口의 汚染物質分布狀況의 推定을 爲해 利用되었는데 모델의 利用方法 및 프로그램은 附錄 B에 収録되어 있다. 모델을 檢證키 爲한 資料 및 利用資料의 精密度問題때문에 모델의 檢證은 이루어지지 않았지만 여러 境遇의 河川流入水量, BOD 放流量, 放流位置 및 擴散係數에 따른 敏感度를 調査하였다.

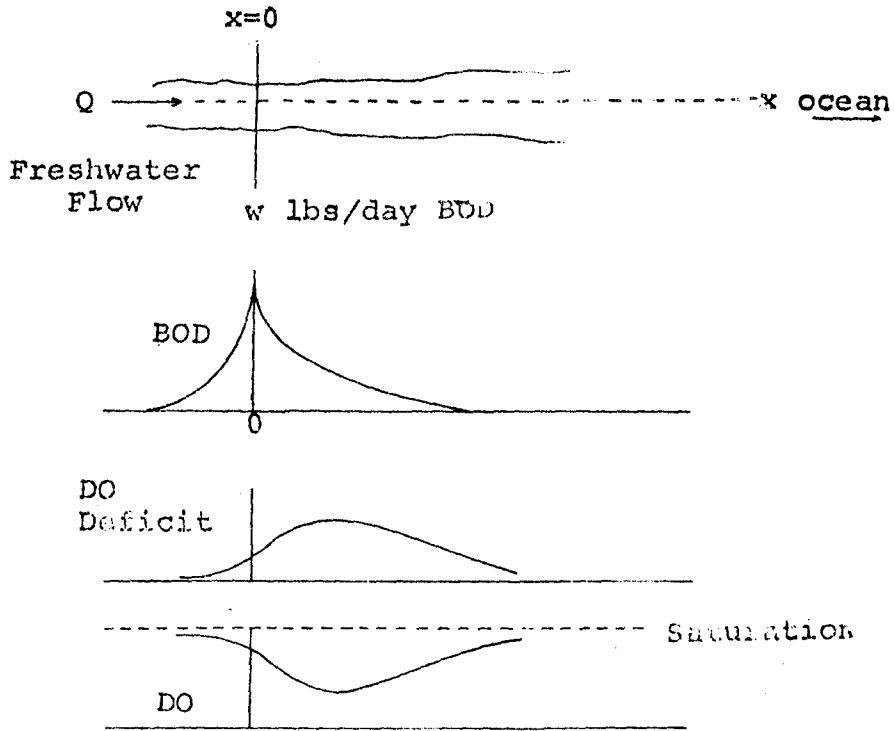


图 4 - 8 . 河口的 BOD, DO 欠缺量 및 DO 分布  
 (Estuarine BOD, DO deficit and DO profile)

( 모델區間 및 節片延長을 다르게 取할 때 모델의 反應度는 매우 敏感하므로 追後의 調査를 爲하여는 正確한 現場資料가 必須的이다. )

錦江河口의 地形資料는 錦江河口整備計劃報告書 (2) ( 建設部 1975 ) 水路局 海圖 및 地形圖로 부터 求해졌으며 모델의 入力資料로 利用되는 BOD放流量은 忠淸南道 및 全羅北道の 統計年報를 參考하여 河川을 따라 位置하고 있는 面의 人口를 各 節片區間마다 推定하여 1人當 1日 300 ℓ의 用水를 使用하는 것으로 下水의 濃度는 250 mg / ℓ로 假定하여 式 (61)을 利用하였다.

$$\text{BOD放流量} = \text{人口} \times \text{用水使用量} (\ell / \text{人} / \text{日}) \times \text{BOD濃度} \quad (61)$$

飽和 DO의 값은  $\text{Cl}^-$  이온이 10,000 mg / ℓ의 값을 가질 때 30 ℃에서 6.9 mg / ℓ, 20 ℃에서 9.1 mg / ℓ, 10 ℃에서 10.1 mg / ℓ의 값을 갖는데 本 調査에서는 飽和 DO 값은 8.3 mg / ℓ 및 6.9 mg / ℓ의 두 境遇를 取하였다. 河川流入水量이 500 cfs, 減衰係數가 0.4 / 日, 再曝氣係數가 0.1 / 日이며 擴散係數가 4 mi<sup>2</sup> / 日일때의 컴퓨터모델 計算結果가 表 4-10에 提示되어 있다. 여기서 FIRST RESPONSE MATRIX는 單位放出量 ( lb / day )의 BOD에 對한 河口 및 河川에 分布된 BOD ( mg / ℓ )의 分布를 算定한다. 各 列은 BOD의 放流區間을 表示하고 分布된 BOD의 濃度는 各 行에 表示된다.

SECOND RESPONSE MATRIX는 單位量에 對한 河川의 捷

表 4-10. Steady state 反应堆物理计算结果

SFCYON	FLCM C.F.S.	DEGRATE 1.0/DAYS	DEGRATE 1.0/DAYS	VOLUME OF*1.0E5	DIFF.RATE MI 2/DAY	AREA 1000*FT**2	L-LOADS LB./DAY	F-LOADS LE./DAY	C.G.-5-1 MC/
1	500.	.10	.40	98.	4.00	3.50	7236.	1306.	9.310
2	500.	.10	.40	108.	4.00	6.50	5505.	1170.	9.300
3	500.	.10	.40	190.	4.00	11.60	970.	100.	9.300
4	500.	.10	.40	216.	4.00	13.10	970.	100.	9.300
5	500.	.10	.40	440.	4.00	26.70	1176.	1306.	9.300
6	500.	.10	.40	371.	4.00	58.90	546.	1000.	9.300
7	500.	.10	.40	1469.	4.00	89.30	7400.	1000.	9.300
8	500.	.10	.40	1508.	4.00	95.00	11000.	1000.	9.300
2	-.119E+11	.432E+03	.143E+11	1508.	-.192E+03	.947E+02	.432E+06	.615E+01	2.1-12
2	-1. 21600254.01	4320000.00	1.	1.	-.10	119333.70	94702935.	4320000.	2.1-12
3	-.193E+11	.432E+08	.219E+11	-209E+00	-.81	15384.62	1113408733.	.432E+06	2.501
3	-2. 94732334.88	4320000.00	2.	2.	-.81	15384.62	1113408733.	.432E+06	2.501
4	-.522E+11	.432E+09	.295E+11	-.198E+01	-.1.30	10854.27	281757033.	.432E+06	3.002
4	-6. 111348733.23	4320000.00	3.	3.	-.1.30	10854.27	281757033.	.432E+06	3.002
5	-.121E+12	.432E+09	.652E+11	-.355E+01	-.3.55	10280.37	961421949.	.432E+06	12.003
5	-12. 281757632.88	4320000.00	7.	7.	-.3.55	10280.37	961421949.	.432E+06	12.003
6	-.345E+12	.432E+09	.135E+12	-.876E+01	-.8.76	13130.49	622462710.	.432E+06	15.741
6	-15. 561221848.70	4320000.00	13.	13.	-.8.76	13130.49	622462710.	.432E+06	15.741
7	-.545E+11	.432E+08	.134E+12	-.134E+02	-.13.39	15967.39	962454645.	.432E+06	15.741
7	1. 692462719.40	4320000.00	16.	16.	-.13.39	15967.39	962454645.	.432E+06	15.741
QIF. COEF. TEST 1	-1.19220								
QIF. COEF. TEST 2	-1.37752								
QIF. COEF. TEST 3	-5.52217								
QIF. COEF. TEST 4	-11.38803								
QIF. COEF. TEST 5	-14.74959								
1	.100E+00	-.400E+08	.500E+09	.400E+03	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
2	.156E+09	-.731E+09	.156E+09	.400E+03	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
3	.206E+09	-.897E+09	.156E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
4	.303E+09	-.260E+09	.216E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
5	.845E+09	-.540E+09	.440E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
6	.124E+10	-.661E+09	.974E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
7	.136E+10	-.561E+09	.147E+10	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
1	-.9320025.	123223426.43	-43030254.11	50300000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
2	-.14332935.	109563168.91	-73302934.36	100000000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
3	-.115E+10	.200E+09	.731E+08	.100E+09	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
4	-.11294E+10	-.242951468.11	-.89740732.23	-.198300000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
5	-.303357633.	479506366.11	-250157632.88	216000000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
6	-.301E+10	.480E+09	-.260E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
7	-.512721949.	101879451.59	-539521848.70	440000000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
8	-.237E+10	.182E+09	-.540E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
9	-.718762710.	153166456.50	-653562709.88	971000000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
10	-.737E+10	.163E+10	-.661E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	
11	-.73762710.	195192545.63	-663562709.80	145900000.	.40	.10	43200000.	1000.	3.000
12	-.737E+10	.195E+10	-.661E+09	.400E+00	.400E+00	.100E+00	.100E+00	.100E+00	

174

TRI DI

	1	2	3	4	5	6	7
1	379E+08	284E+04	581E+09	181E+09	524E+10	205E+13	693E+11
2	47E+08	82E+08	210E+13	17E+09	103E+09	501E+10	214E+10
3	25E+08	37E+08	497E+09	11E+09	30E+09	14E+09	54E+10
4	74E+09	11E+08	17E+09	30E+09	70E+09	34E+10	17E+09
5	32E+09	44E+09	56E+09	11E+09	16E+09	6E+09	23E+09
6	12E+09	18E+09	27E+09	4E+09	61E+09	9E+09	33E+09
7	45E+10	67E+13	11E+09	17E+09	54E+09	25E+09	62E+09
1	432E+08	10532342E+43	43600254.11	490E+09	54160000	53E+03	11600. 21E4E3+4.22E
2	11E+09	15E+09	1574031E8.90	73102934.88	10000000	40E+00	432E+08 116E+05 11924. 61000E+4.014
3	13E+09	25E+09	2250E15E6.11	3974373.23	150000000	40E+00	432E+08 .119E+05
4	33E+09	44E+09	56E+09	19E+09	41E+03	40E+00	432E+08 .154E+05
5	52E+09	66E+09	86E+09	21E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .109E+05 1085. 111348733.22E
6	73E+09	97E+09	123E+09	24E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .109E+05 10280.281757632.67E
7	94E+09	124E+09	159E+09	27E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .103E+05
1	432E+08	10532342E+43	43600254.11	490E+09	54160000	53E+03	11600. 21E4E3+4.22E
2	11E+09	15E+09	1574031E8.90	73102934.88	10000000	40E+00	432E+08 116E+05 11924. 61000E+4.014
3	13E+09	25E+09	2250E15E6.11	3974373.23	150000000	40E+00	432E+08 .119E+05
4	33E+09	44E+09	56E+09	19E+09	41E+03	40E+00	432E+08 .154E+05
5	52E+09	66E+09	86E+09	21E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .109E+05 1085. 111348733.22E
6	73E+09	97E+09	123E+09	24E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .109E+05 10280.281757632.67E
7	94E+09	124E+09	159E+09	27E+09	40E+00	40E+00	432E+08 .103E+05



INPUT  
FIRST MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7
1	.123E+09	.400E+09	0.	0.	0.	0.	0.
2	-.832E+08	.200E+09	-.731E+08	0.	0.	0.	0.
3	0.	-.116E+09	.262E+09	-.997E+08	0.	0.	0.
4	0.	0.	-.133E+09	.480E+09	-.260E+09	0.	0.
5	0.	0.	0.	.303E+09	.192E+10	-.540E+09	0.
6	0.	0.	0.	0.	-.583E+09	.163E+10	-.661E+09
7	0.	0.	0.	0.	0.	-.794E+09	.195E+10

INPUT  
SECOND MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7
1	.106E+09	-.409E+09	0.	0.	0.	0.	0.
2	-.832E+08	.167E+09	-.731E+08	0.	0.	0.	0.
3	0.	-.116E+09	.225E+09	-.897E+08	0.	0.	0.
4	0.	0.	-.133E+09	.415E+09	-.250E+09	0.	0.
5	0.	0.	0.	.303E+09	.837E+09	-.540E+09	0.
6	0.	0.	0.	0.	-.503E+09	.138E+10	-.661E+09
7	0.	0.	0.	0.	0.	-.794E+09	.171E+10

INV

	1	2	3	4	5	6	7
1	.123E-07	.425E-08	.173E-08	.547E-09	.244E-09	.123E-09	.554E-10
2	.933E-08	.112E-07	.457E-08	.149E-08	.647E-09	.333E-09	.239E-09
3	.563E-08	.717E-08	.335E-08	.263E-08	.120E-08	.627E-09	.274E-09
4	.253E-08	.341E-08	.393E-08	.286E-08	.217E-08	.115E-08	.496E-09
5	.143E-08	.175E-08	.247E-08	.253E-08	.245E-08	.138E-08	.658E-09
6	.733E-09	.100E-08	.117E-08	.147E-08	.151E-08	.141E-08	.731E-09
7	.345E-09	.467E-09	.545E-09	.565E-09	.478E-09	.485E-09	.133E-08

KEUM RIVER ESTUARY MODEL

FIRST RESPONSE MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7
1	.155E-03	.795E-04	.169E-04	.258E-05	.847E-06	.328E-06	.111E-06
2	.731E-04	.115E-03	.337E-04	.795E-05	.261E-05	.151E-05	.342E-05
3	.322E-04	.536E-04	.795E-04	.168E-04	.615E-05	.238E-05	.806E-06
4	.127E-04	.187E-04	.278E-04	.487E-04	.150E-04	.618E-05	.209E-05
5	.434E-05	.717E-05	.166E-04	.186E-04	.263E-04	.102E-04	.344E-05
6	.202E-05	.300E-05	.445E-05	.778E-05	.110E-04	.157E-04	.533E-05
7	.730E-05	.108E-05	.160E-05	.281E-05	.395E-05	.567E-05	.101E-04

KEUM RIVER ESTUARY MODEL

SECOND RESPONSE MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7
1	.215E-03	.679E-04	.272E-04	.376E-05	.391E-05	.204E-05	.693E-06
2	.141E-03	.180E-03	.721E-04	.232E-04	.133E-04	.541E-05	.236E-05
3	.901E-04	.115E-03	.134E-03	.433E-04	.151E-04	.100E-04	.436E-05
4	.429E-04	.546E-04	.537E-04	.773E-04	.347E-04	.181E-04	.793E-05
5	.224E-04	.284E-04	.332E-04	.405E-04	.456E-04	.238E-04	.134E-04
6	.125E-04	.160E-04	.137E-04	.229E-04	.237E-04	.233E-04	.126E-04
7	.587E-05	.747E-05	.371E-05	.105E-04	.123E-04	.133E-04	.165E-04

KEUM RIVER ESTUARY MODEL

TWO SYSTEM RESPONSE MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7
1	.659E-04	.406E-04	.217E-04	.823E-05	.419E-05	.223E-05	.114E-05
2	.845E-04	.857E-04	.512E-04	.203E-04	.133E-04	.542E-05	.259E-05
3	.720E-04	.814E-04	.728E-04	.323E-04	.174E-04	.102E-04	.477E-05
4	.434E-04	.478E-04	.478E-04	.388E-04	.230E-04	.150E-04	.779E-05
5	.234E-04	.284E-04	.380E-04	.292E-04	.237E-04	.182E-04	.929E-05
6	.141E-04	.174E-04	.193E-04	.201E-04	.136E-04	.173E-04	.376E-05
7	.686E-05	.952E-05	.943E-05	.104E-04	.147E-04	.145E-04	.949E-05

A\*EC

1 .748E+00  
2 .118E+01  
3 .112E+01  
4 .735E+00  
5 .432E+03  
6 .334E+10  
7 .192E+08

KEUM RIVER ESTUARY MODEL

SECTION	A1* 900 PROFILE	A2*F AND SYST. PROF.	AVE 2 SYST.DC PROF.	SATURATION DC(MG/L)	FINAL CO PROFILE
1	1.34	.32	.74	8.30	7.24
2	1.24	.63	1.18	8.20	6.89
3	.866	.82	1.12	8.30	6.77
4	.30	.30	.72	8.30	7.28
5	.16	.28	.48	8.30	7.81
6	.10	.14	.33	8.30	7.83
7	.09	.07	.19	8.36	8.63

息生物의 溶存酸素要求量, 光合性 等の DO의 Source와 Sink 및 河川流入 DO量에 對한 DO의 反應 ( $mg/l$ )을 나타내는데 各 列은 放流區間을 나타내고 各 行은 河川의 DO分布를 나타낸다. TWO SYSTEM RESPONSES MATRIX는 單位放出量의 BOD에 對한 河川의 DO分布를 나타내는데 各 列은 BOD放流量을 各 行은 DO反應을 나타낸다. FINAL DO PROFILE은 BOD와 DO系에 依한 最終的인 溶存酸素의 分布를 提示한다. 表 4 - 10의 單位放出量의 反應을 利用하여 여러 境遇에 適用하면 아래와 같다.

100,000 lb/day의 BOD가 3,4,5,6節片에 放流되었을 때 BOD의 分布는 表 4 - 11과 같이 算定되는데 放流位置가 河口入口로 移動함에 따라 濃度가 낮아지는 것을 알 수 있다.

表 4 - 12에 提示된 바와 같이 4番節片에 溶存酸素要求量이 100,000 lb / day가 될 때 이에 依한 最大溶存酸素欠乏量은 4番節片의  $7.78mg/l$ 이다.

表 4 - 13의 結果는 100,000 lb / day의 BOD가 3,4,5,6節片에 放出될 때 DO欠乏度의 反應이다. 따라서 4番節片에 100,000 lb / day의 BOD가 放出될 때 最大DO欠乏量은 4番節片에서  $3.88mg/l$ 이다.

數值解析水質 모델의 한 應用分野는 體系의 여러 媒介變數들의 變化에 따른 敏感度를 調査하는 것인데 圖 4 - 9, 4 - 10 및 4 - 11은 여러 境遇의 擴散係數 ( $2.0, 4.0, 6.0 mi^2/day$ )

表 4 - 11 FIRST RESPONSE MATRIX 의 利用

BOD Response (mg/l) in Section	Input of 100,000 lbs/day of BOD into Section			
	3	4	5	6
( 上流 ) 1	1.09	0.26	0.08	0.04
2	3.37	0.79	0.26	0.10
3	7.95	1.88	0.62	0.24
4	2.78	4.87	1.60	0.62
5	1.06	1.86	2.63	1.02
( 河口入口 ) 6	0.45	0.78	1.10	1.57
7	0.16	0.28	0.40	0.57

註 ) Segment Length = 5 km

表 4 - 12 SECOND RESPONSE MATRIX 의 利用

DO Response (mg/l) in Section	Input (benthal demand, photosynthesis, respiration) of 100,000 lbs/day of Oxygen deficit into Section			
	3	4	5	6
( 上流 ) 1	2.72	0.88	0.39	0.20
2	7.21	2.32	1.03	0.54
3	13.4	4.30	1.92	1.00
4	6.37	7.78	3.47	1.81
5	3.32	4.05	4.56	2.38
6	1.87	2.29	2.57	2.89
( 河口入口 ) 7	0.87	1.06	1.20	1.35

註 ) Segment Length = 5 km

息生物의 溶存酸素要求量, 光合性 等の DO의 Source와 Sink 및 河川流入 DO量에 對한 DO의 反應( $mg/l$ )을 나타내는데 各 列은 放流區間을 나타내고 各 行은 河川의 DO 分布를 나타낸다. TWO SYSTEM RESPONSES MATRIX는 單位放出量의 BOD에 對한 河川의 DO 分布를 나타내는데 各 列은 BOD 放流量을 各 行은 DO 反應을 나타낸다. FINAL DO PROFILE은 BOD와 DO系에 依한 最終的인 溶存酸素의 分布를 提示한다. 表 4-10의 單位放出量의 反應을 利用하여 여러 境遇에 適用하면 아래와 같다.

100,000 lb/day의 BOD가 3,4,5,6 節片에 放流되었을 때 BOD의 分布는 表 4-11과 같이 算定되는데 放流位置가 河口入口로 移動함에 따라 濃度가 낮아지는 것을 알 수 있다.

表 4-12에 提示된 바와 같이 4 番節片에 溶存酸素要求量이 100,000 lb/day가 될 때 이에 依한 最大溶存酸素欠乏量은 4 番節片의  $7.78mg/l$ 이다.

表 4-13의 結果는 100,000 lb/day의 BOD가 3,4,5,6 節片에 放出될 때 DO 欠乏度의 反應이다. 따라서 4 番節片에 100,000 lb/day의 BOD가 放出될 때 最大DO 欠乏量은 4 番節片에서  $3.88mg/l$ 이다.

數值解析水質 모델의 한 應用分野는 體系의 여러 媒介變數들의 變化에 따른 敏感度를 調查하는 것인데 圖 4-9, 4-10 및 4-11은 여러 境遇의 擴散係數( $2.0, 4.0, 6.0 mi^2/day$ )

表 4 - 11 FIRST RESPONSE MATRIX의 利用

BOD Response (mg/l) in Section	Input of 100,000 lbs/day of BOD into Section			
	3	4	5	6
(上流) 1	1.09	0.26	0.08	0.04
2	3.37	0.79	0.26	0.10
3	7.95	1.88	0.62	0.24
4	2.78	4.87	1.60	0.62
5	1.06	1.86	2.63	1.02
6	0.45	0.78	1.10	1.57
(河口入口) 7	0.16	0.28	0.40	0.57

註) Segment Length = 5 km

表 4 - 12 SECOND RESPONSE MATRIX의 利用

DO Response (mg/l) in Section	Input (benthal demand, photosynthesis, respiration) of 100,000 lbs/day of Oxygen deficit into Section			
	3	4	5	6
(上流) 1	2.72	0.88	0.39	0.20
2	7.21	2.32	1.03	0.54
3	13.4	4.30	1.92	1.00
4	6.37	7.78	3.47	1.81
5	3.32	4.05	4.56	2.38
6	1.87	2.29	2.57	2.89
(河口入口) 7	0.87	1.06	1.20	1.35

註) Segment Length = 5 km

河川流入水量 ( 300, 500, 1000cfs ) 및 減衰係數 ( 0.2, 0.4, 0.6 /日 ) 에 對해서 河口 및 河川에서의 BOD 分布를 나타내고 있다. 圖 4 - 12, 4 - 13 은 여러 境遇의 河川流入水量 ( 300, 500, 1500cfs ) 및 減衰係數 ( 0.2, 0.4, 0.6 ) 에 對한 最終的인 DO 分布를 提示하고 있다. 本 調査에 利用된 媒介變數들은 檢証된 것이 아니므로 實際現象에 對해서라기 보다는 敏感度變化를 調査키 爲한 概略的인 推定이다.

表 4 - 13 TWO SYSTEM RESPONSES MATRIX 의 利用

DO Response (mg/l) in Section	Waste Input of 100,000 lbs/day of BOD into Section			
	3	4	5	6
( 上流 ) 1	2.17	0.82	0.41	0.10
2	5.12	2.03	1.03	0.27
3	7.24	3.23	1.74	0.48
4	4.78	3.88	2.50	0.80
5	3.00	2.92	2.57	0.93
6	1.90	2.01	1.96	0.98
( 河口入口 ) 7	0.95	1.04	1.07	0.85



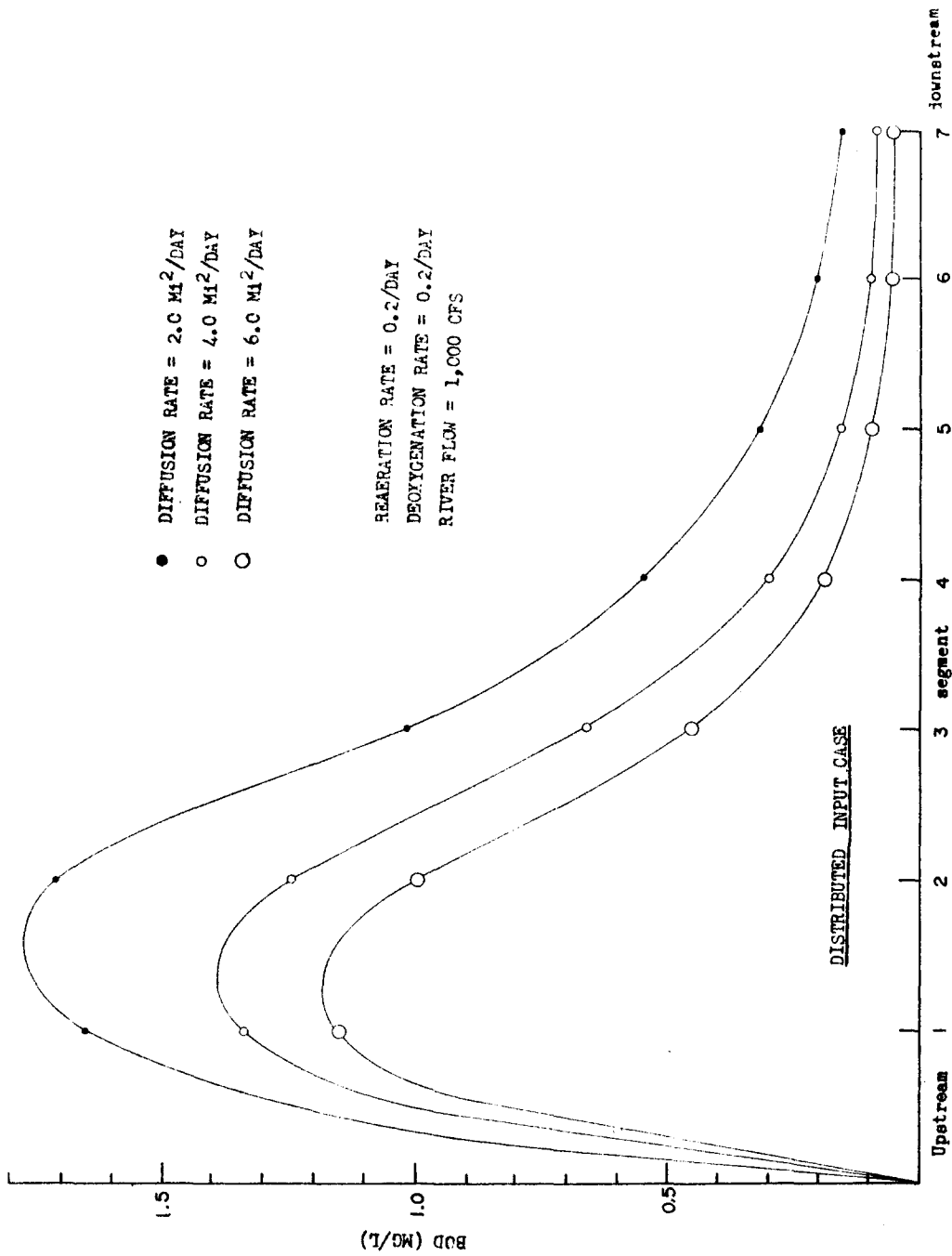


圖 4-9. 擴散係數의 變化에 따른 BOD의 分布  
 (BOD distribution for various dispersion coefficients)

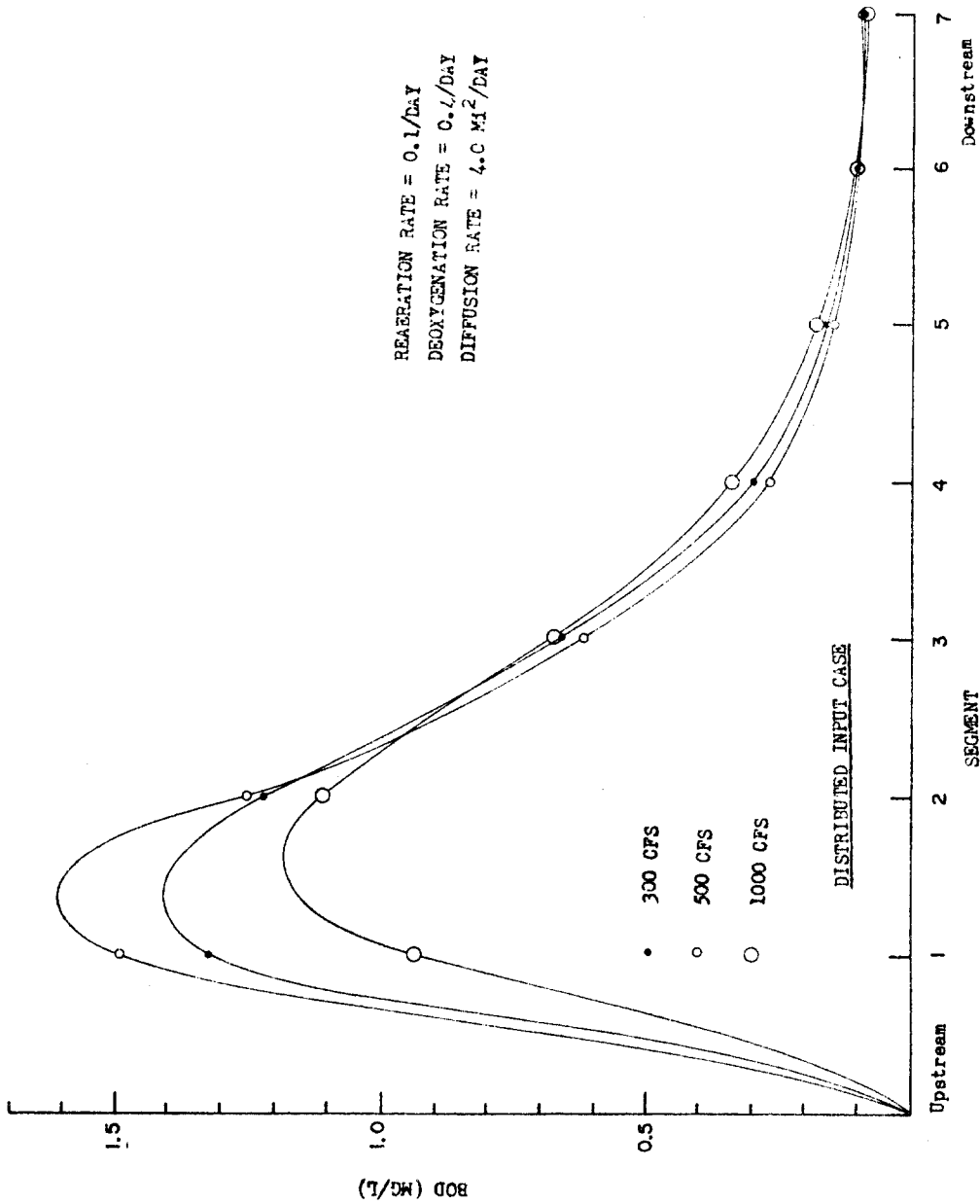


圖 4 - 10 . 河川流入水量의 變化에 따른 BOD의 分布  
 (BOD distribution for various river inflows)

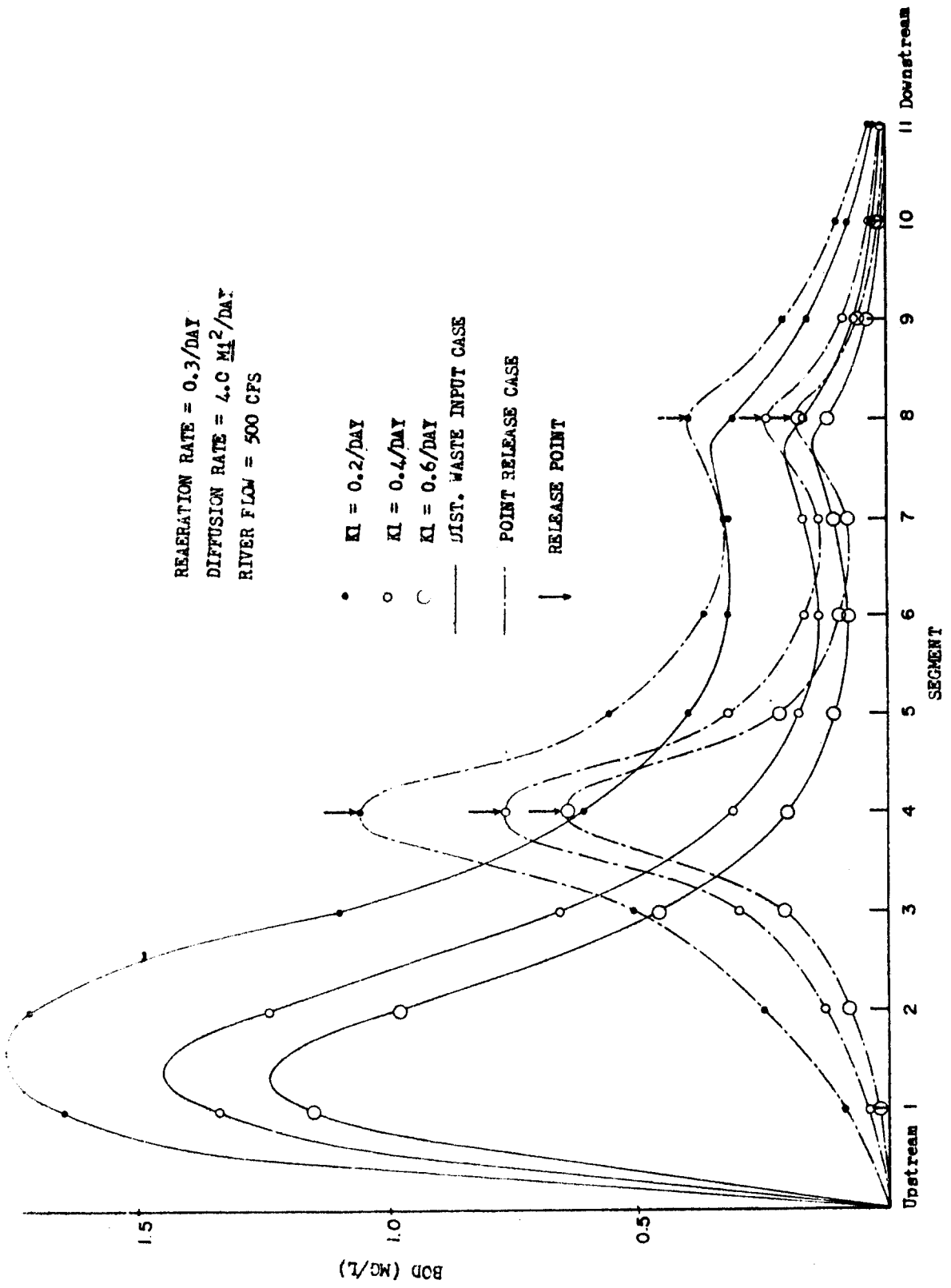


图 4-11. 減衰係数の变化에 따른 BOD의 分布  
 (BOD distribution for various deoxygenation  
 (decay) coefficients)

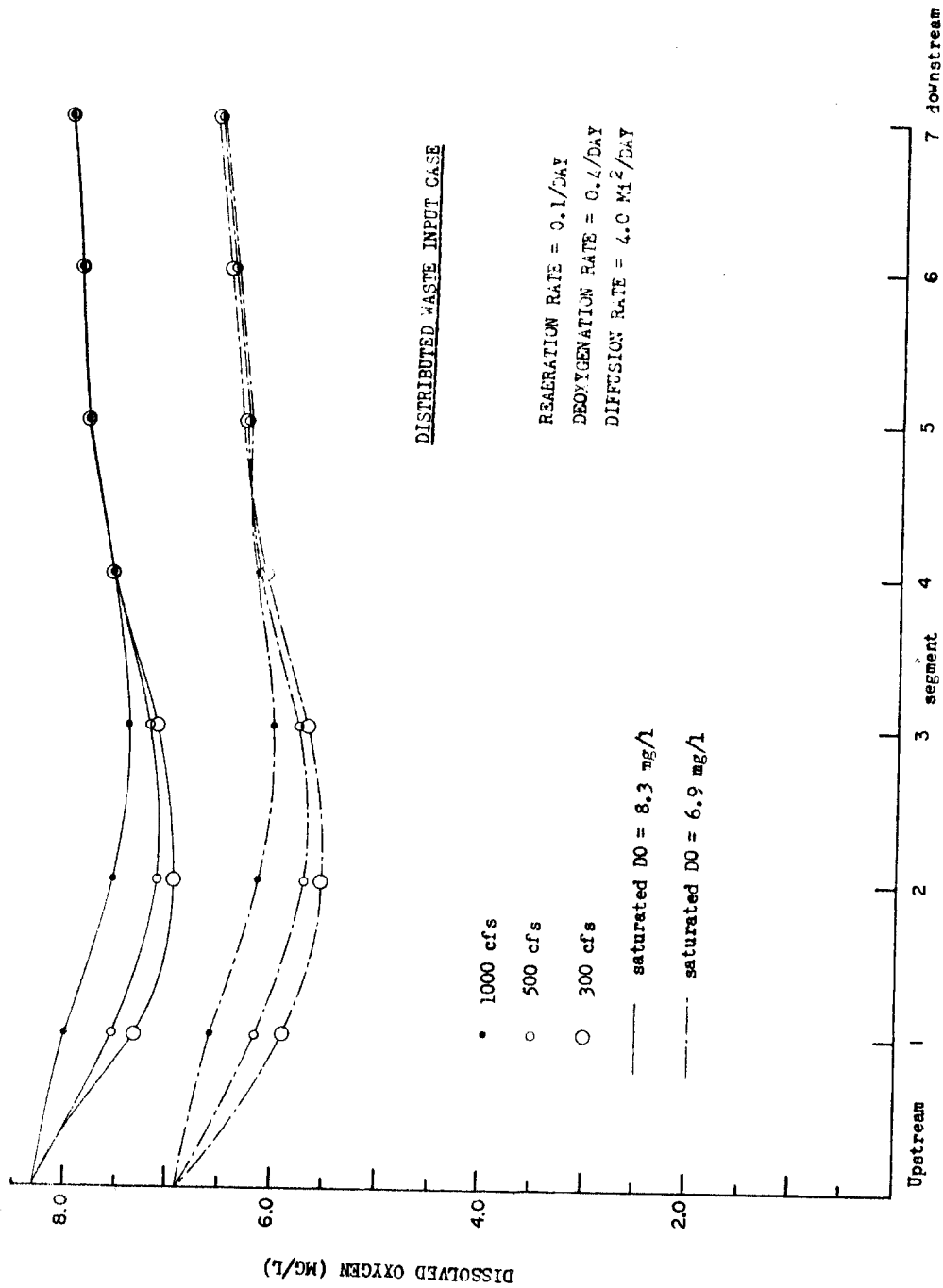


图 4-12. 河川流入水量の变化に伴う最終的 DO の分布  
 (Resultant DO distribution for various river inflows)

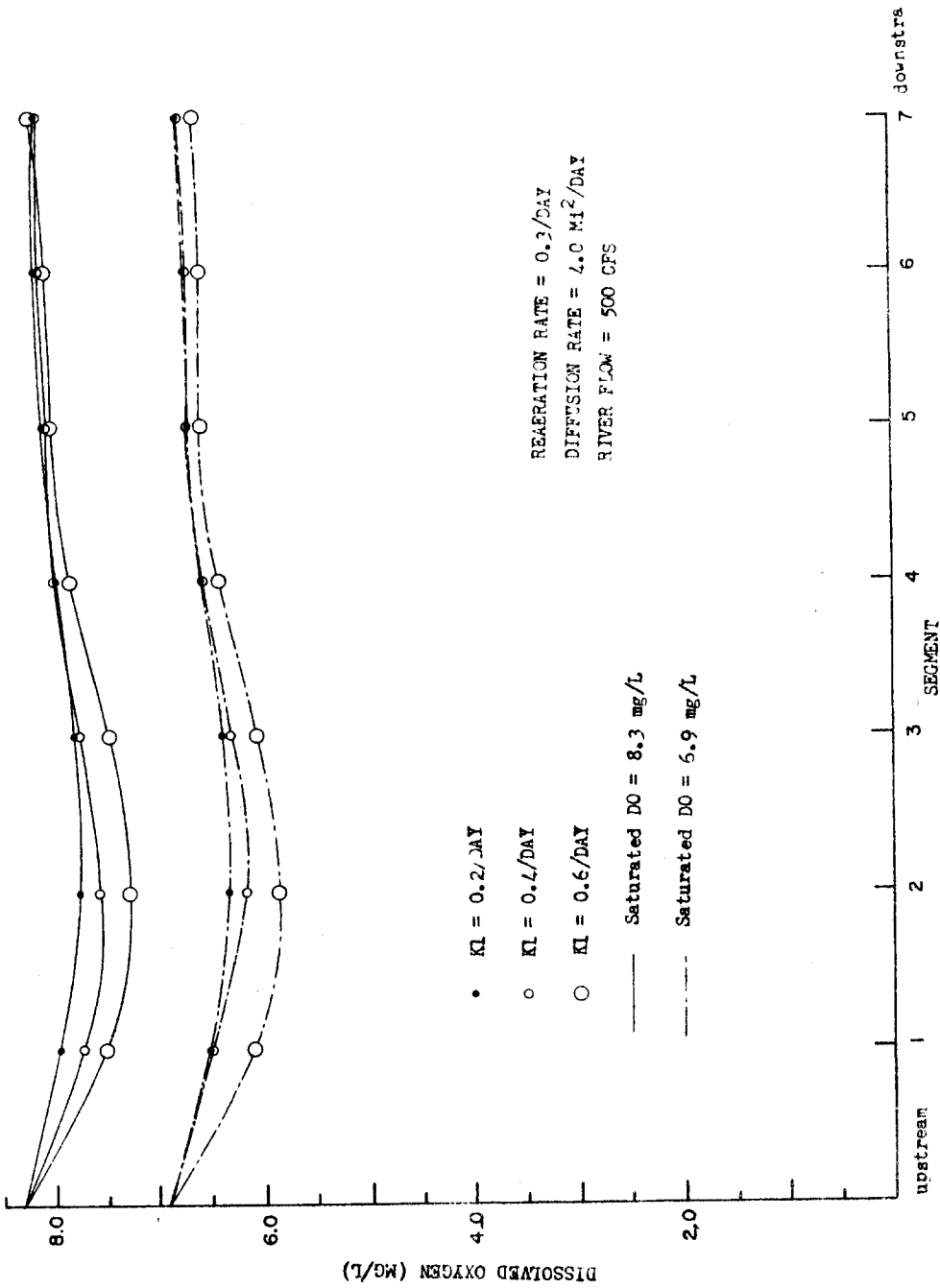


图 4-13. 衰减系数的变化에 따른 溶解的 DO의 分布  
 (Resultant DO distribution for various deoxygenation coefficients)

## 第 9 節 討 議 및 結 論

河川과 河口에서의 潮汐플러싱 및 汚染物質의 分布狀況을 推定하는 여러 方法들이 提示되었고 制限된 資料를 가지고 우리나라의 自然河口에 適用되었다.

1. 潮汐프리즘方法에 依해 計算된 플러싱時間은 修正潮汐프리즘方法에 依한 結果보다 0.2~0.4 倍 적게 計算되었다 ( 錦江의 境遇 ). 따라서 潮汐프리즘에 依한 方法은 짧은 플러싱時間을 計算하므로 汚染推定에 있어 樂觀的인 結果를 提示하므로 河川流入水가 적은 時期에 規模가 작은 河口에 適用하여야 할 것이며 修正潮汐프리즘方法은 比較的 延長이 긴 河口에 適合하다.

2. 修正潮汐프리즘方法 및 淡水比率法은 強混合된 河口에서 概略的인 汚染推定을 하는데 有用할 것이나 自然河口에 이를 適用할 때 計算結果値는 恒常 現場調査資料와 綿密히 比較 檢討되어야 한다.

3. Stommel 의 모델을 利用할 때 計算되는 汚染物質의 分布는 平均潮汐移動距離의 選擇에 따라 顯著히 다른 結果를 가지므로 平均潮汐移動距離의 選擇은 現場流速資料나 Ketchum 의 方法을 利用하는 것이 合理的이다.

4. Steady State 水質모델은 広範圍한 現場資料가 있을 때 水質管理를 爲한 汚染分布의 長期的變化樣相을 推定하는데

有益할 것이나 先行的으로 調査對象河口가 Steady-State 假定에 適合한가를 綿密히 調査하여야 한다.

5. 數值解析 水質모델의 利用時 節片延長의 選擇에 따른 모델의 敏感度가 正確히 調査되어야 하는데 이는 現場 水質資料를 利用한 換證을 迥해서만 可能하다. 따라서 正確한 資料蒐集을 為한 現場水質觀測計劃이 모델을 利用하기 為한 첫 段階의 調査이다.

## 参 考 文 献

1. Arons, A. B. and Stommel, H. A mixing length theory of tidal flushing. Transactions of the American Geographical Union. 32: 419-421. 1951.
2. Bowden, K. F. The mixing process in tidal estuary. Intern. J. Air Water Pollution. 7:343-356. 1963.
3. Bowden, K. F. Circulation and diffusion. In Estuaries. Lauff, George H., ed., Publication No. 83, American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., pp. 15-36. 1967.
4. Burt, W. V., and Queen, J. Tidal overmixing in estuaries. Science. 126(8):973-974. 1957.
5. Burt, Wayne, V. and Marriage, L.D. Computation of pollution in the Yaquina River estuary. Sewage and Industrial Wastes. 29(12):1385-1389. 1957.
6. Callaway, R. J. Simulation of upwelling and pollution in a vertically mixed estuary. U.S. Department of Interior, Federal Water Pollution Control Administration. June 1966.
7. Callaway, R. J. Application of some numerical models to Pacific Northwest estuaries. Proceedings. 1971. Tech. Conf. in Estuaries of the pac. N.w., OSU, Corvallis, Oregon, Eng. Expt. Stat. Circ. #42, pp. 29-97. 1971.
8. Carnahan, B., Luther, H. A. and Wilkes, J. O. Applied numerical methods. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1969.
9. Dyer, K. R. Estuaries: A physical introduction. John Wiley and Sons, New York. 1973.



10. Dyer, K. R., and Taylor, P. A. A simple segmented prism model of tidal mixing in well mixed estuaries. Estuarine and Coastal Marine Science. 1(4) :411-418. Academic Press, Inc. Oct. 1973.
11. Gibson, B. W. A method for estimating the flushing of estuaries and embayments. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, D. C. Technical Report 26. 1959.
12. Gordon, R., and Spaulding, M. A bibliography of numerical models for tidal rivers, estuaries, and coastal waters. Marine Technical Report 32, Department of Ocean Engineering. University of Rhode Island. 1974.
13. Hughes, P. Tidal mixing in the narrows of the Mersey estuary. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1(4) :271-283. 1958.
14. Ketchum, B. H. Hydrographic factors involved in the dispersion of pollutants introduced into tidal waters. Journal of the Boston Society of Civil Engineers. 37 :296-314. 1950.
15. Ketchum, B. H. The exchanges of fresh and salt waters in tidal estuaries. Journal of Marine Research. 10 :18-38. 1951.
16. Ketchum, B. H., and Keen, D. J. The exchanges of fresh and salt waters in the Bay of Fundy and in Passamaquoddy Bay. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 10:97-124. 1953.
17. Ketchum, B. H. Distribution of coliform bacteria and other pollutants in tidal estuaries. Sewage and Industrial Wastes. 27:1288-1296. 1955.
18. Neal, V. T. .Computation of pollution in the Columbia River estuary. Ph.D. thesis. School of Oceanography. Oregon State University. Corvallis, Ore. 1965.

19. Pritchard, D. W. Dispersion and flushing of pollutants. U.S. Corps of Engineers, Committee on tidal hydraulics, Evaluation of present state of knowledge of factors affecting tidal hydraulics and related phenomena, Report No. 1. February 1950.
20. Pritchard, D. W. Estuarine hydrography. Advanced in Geophysics. 1:243-280. 1952.
21. Pritchard, D. W. Estuarine circulation patterns. Proc. Am. Soc. Civil Eng., Vol. 81, Separate 717, pp. 1-11. 1975.
22. Simmons, H. B. Field experience in estuaries. Chap. 16 of Estuary and Coastline Hydrodynamics (A. T. Ippen, ed.). McGraw-Hill, New York, N. Y. 1966.
23. Stommel, Henry, Recent developments in the study of tidal estuaries. Reference no. 51-33. Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Mass. May 1951.
24. Stommel, Henry. Computation of pollution in a vertically mixed estuary. Sewage and Industrial Wastes. 25:1065-1071. 1953.
25. Thomann, Robert V. Systems analysis and water quality management. Environmental research and applications, Inc. New York, N.Y. 1972.
26. Tracor, Inc. Estuarine modeling: An assessment. Water Quality Office. Environmental Protection Agency. February 1971.
27. Waldichuk, M. Estimation of flushing rates from tide height and current data in an inshore marine channel of the Canadian Pacific Coast. Proceedings of the Second International Water Pollution Research Conference, Tokyo. pp. 133-166. Pergamon Press, New York. 1964.

- 28 錦江河川整備計劃(2)，1975。建設部
- 29 水質汚濁事業報告(1972-1973)第23号，1974。国立水産振興院
- 30 潮力發電基礎調査에 關한 研究，1974。韓國海洋開發研究所
- 31 韓國沿岸水質汚染調査事業報告，第30号，1975。国立水産振興院
- 32 韓國河川調査書，1974。建設部，産業基地開發公社

## 第5章 海中放流管으로부터의 下水의 擴散

### 第1節 概 要

오래 前부터 歐美의 많은 海岸都市에서는 海中放流管 (Sea Outfall) 을 通하여 下水를 바다에 廢棄해 왔다. 下水를 바다에 廢棄하는 境邊 公衆衛生上의 危險은 주로 海水浴을 하거나 汚染된 海域에서 잡힌 魚貝類를 먹음으로써 發生한다. 따라서 海岸을 利用할 때 危險度를 決定하는 가장 重要한 基準은 細菌學的 水質基準이 될 것이다. 安全하고 經濟的인 放流管을 設計하기 爲해서는 海水中에 放流된 下水의 移動과 擴散, 放流地域에서의 海水의 流動 및 海水에서의 細菌의 減少現象 등을 調査하여야 한다.

海水의 流動이 一定하지 않을때는 繼續 放流되는 下水의 變化는 짧은 間隔을 두고 瞬間적으로 下水가 放流되는 것으로 假定하여 움직임을 段階적으로 計算하여 重疊시키므로써 下水域을 予測할 수 있을 것이다. 放流된 下水는 海水와의 密度差로 因하여 擴散되면서 水面으로 浮上하게 된다. 함께 放流된 下水는 水面에 떠 올라서 한 조각을 이루고 그 안에서 2次元의 定規分布를 이루고 中心에 對하여 對稱인 것으로 생각한다. (圖 5 - 1 參照)

Cedewell 의 式으로 부터 求한 흐르지 않는 海水中에서 中心에서의 最少稀釈比를 Agg 와 Wakeford(1972) 式에 依

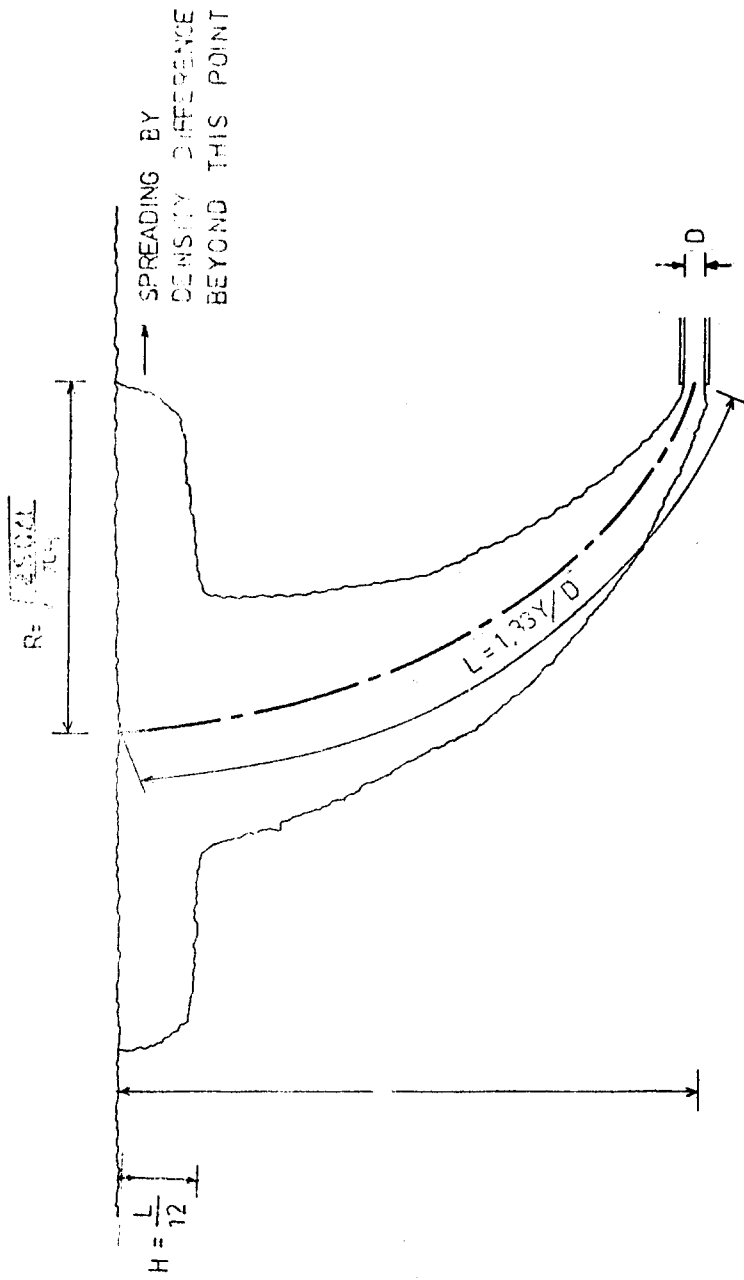


图 5-1. 水平으로 放出된 噴流 (Schematic diagram of jet discharged horizontally)

하여 放流口에서의 噴流速도와 海水의 流速比率를 考慮하여 修正하였다. 水面에 떠오른 下水는 表面에서의 퍼짐과 亂流 擴散에 依해 稀釈되는 同時에 潮流와 바람에 依한 海水의 流動에 따라 移動하게 된다. 또한 下水中에 包含된 細菌은 海水와 太陽光線의 殺菌效果로 因하여 減少되는데 連續的인 放流를 瞬間的 放流로 考慮 段階的 計算을 하므로써 밤과 낮에 따라 細菌減少率을 다르게 適用할 수 있다.

以上과 같은 論理에 立脚하여 海中放流管을 通해 下水가 流出되는 어떤 海域에서의 大腸菌濃度를 予測할 수 있는 比較的 簡單한 모델이 開發되었다. 이 모델은 實際 現場調査에 依해 檢証되지는 않았지만 海中放流管의 設計에 도움이 될 것이며 必要한 資料들을 海域에서 實際로 調査하여 計算한 結果와 既存放流管에서의 調査結果를 比較하므로써 더욱 改善되리라 期待된다.

## 第 2 節 海中放流管의 모델

### 1. 海水의 움직임

下水의 움직임을 予測하기 爲해서는 海水의 움직임을 完全히 理解해야 할 것이다. 海水의 움직임은 바람에 依한 흐름, 潮汐에 依한 흐름이 主要要素로 생각되고 強度는 이들을 直接 加算하므로써 求할 수 있다. 바람으로 因한 海水의 流動은 潮汐에 依한 흐름을 除去하므로써 求할 수 있을 것이다.

潮汐에 의한 흐름要素는 한 潮汐週期동안에 작은 時間間隔을 두고 流速을 測定하여 그동안의 向量平均을 取하므로써 除去할 수 있다. 한 潮汐週期동안의 바람資料와 潮汐要素를 除去한 海流의 測定資料들을 充分히 求한 다음 複素數의 回歸分析 ( regression analysis ) 에 依하여 그 關係式을 求할 수 있다. 바람과 그에 처한 흐름은 어떤 角度와 比率을 이룰 것이다. 따라서 一定地點의 恒流를 加算하여 Moir 와 Williams(1970)는

$$\vec{V} = K A \vec{W} + \vec{B} \quad (1)$$

으로 表示하였다. 여기서

$\vec{V}$  = 残余潮汐向量 ( residual current vector )

$\vec{W}$  = 바람 向量

K = 스칼라 常数

$$A = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad \text{rotation matrix}$$

$\alpha$  = 바람과 이로 인한 潮流와의 角 ( 一定 )

$\vec{B}$  = 恒流 向量 ( constant basic current )

윗 式을 複素數로 表示하면

$$\begin{aligned} V_x + i V_y &= K ( \cos \alpha + i \sin \alpha ) ( W_x + i W_y ) + ( B_x + \\ &i B_y ) = K e^{i \alpha} ( W_x + i W_y ) + ( B_x + i B_y ) \\ &= ( C_x + i C_y ) ( W_x + i W_y ) + ( B_x + i B_y ) \quad (2) \end{aligned}$$

따라서  $V = CW + B$  (2)

여기서  $V, C, W, B$ 는 複素數

$\Sigma (V - (CW + B)) (V - (CW - B))$ 를 最少化하므로써  $C, B$ 에 對한 偏微分方程式을 求할 수 있고 따라서  $K, X, B$ 를 求할 수 있다.

## 2. 初期稀釈

放流口에서 流出된 河水는 浮力에 依해 上乘하여 水面에 到達하게 되고 그 後부터는 물의 흐름에 따라 方向을 바꿔 움직이며 퍼져나가게 된다. 흐르지 않는 물에 對한 水表面에서의 最少稀釈比에 對해서는 많은 研究가 이루어졌으나 흐르는 물에 對해서는 發表된 資料들은 別로 없다. 그러나 大部分의 海中放流管들은 海流가 있는 地點에 設置되며 이 境遇 停止하지 않는 물에서 보다 稀釈比가 더 커질 것이 予想된다. 따라서 停止하고 있는 물에 對해서 求한 最少稀釈比를 修正할 必要가 생긴다. 停止하고 있는 물에서의 最少稀釈比는 Rawn, Bowerman 과 Brooks (1960)에 依한 海水表面에서의 測定結果 또는 Abraham (1965)에 依한 噴流軸에서의 稀釈比 推定結果로 부터 求해질 수 있는데 Fan과 Brooks (1966)에 依하면 후르드數 (Froude No.)가 작고 水深이 깊은 境遇에는 두가지 方法에 依한 값이 거의 비슷하다고 한다. 이 두가지 方法의 結果는 曲線群들로 表示되기 때문에 便宜上 하나의 曲線으로 表示되는



Cedewell의 式을 使用하였는데 이 方法은 위의 두 方法과 잘 一致된다. Cedewell은 停止하고 있는 물에서의 最少稀积比를 다음과 같이 提議하였다.

$$S_o = 0.54 F \left( \frac{Y}{DF} \right)^{\frac{7}{16}} \quad \frac{Y}{D} < 0.89 F \text{인 때} \quad (3)$$

$$S_o = 0.54 F \left( 0.38 \frac{Y}{DF} + 0.68 \right)^{\frac{5}{3}}$$

$$\frac{Y}{D} > 0.89 F \text{인 때} \quad (4)$$

여기서  $S_o$  = 表面에서의 最少稀积比

$F$  = densimetric Froude Number

$Y/D$  = 水深과 放流口 直径의 比

Densimetric Froude Number는 다음式에 依해 求하여 진다.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} D}} \quad (5)$$

여기서  $V$  = 放流口에서의 流速

$g$  = 重力加速度

$\Delta \rho$  = 油水和 河水의 密度差

$\rho$  = 河水의 密度

Agg와 Wakeford(1972)는 停滯된 물에서의 稀积比를 흐르는 물에서의 稀积比로 修正하기 爲하여 아래와 같은 式을

提案하였다.

$$\log ( S / S_0 ) = 0.938 \log ( U_a / U_j ) + 1.107 \quad (6)$$

여기서  $S/S_0$  = 흐르는 할에서 測定한 稀釈比와 停滯된 할에서의 推定된 稀釈比

$$U_a / U_j = \text{潮流와 噴潮의 流速比}$$

이 式에 依하면 潮流와 噴潮의 流速比 0.12는 潮流가 있으므로 稀釈比가 增加되기 爲한 最少比가 된다.

### 3. 初期下水域에서의 下水分布

本 調査에서는 連續的인 放流를 수많은 瞬間的인 放流의 重疊된 結果로서 表示할 수 있고 瞬間的으로 放流된 各各의 下水는 2次元定規分布를 이루고 中心에서 最少稀釈比를 가지며 中心에 對하여 對稱이라고 생각하였는데 이러한 假定은 實際와 큰 差異가 나지 않으리라 생각된다. 그러면  $\sigma_x = \sigma_y$ 이고 下水의 確率分布密度,  $f(x, y)$ 와  $x, y$  方向의 周辺分布의 確率密度  $f_1(x), f_2(y)$ 의 關係는

$$f(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(y) \quad (7)$$

가 된다.

中心에서의 下水의 確率分布密度

$$f(0, 0) = \frac{H}{SQ\Delta t} \quad (8)$$

이고 周辺分布의 確率密度는

$$f_1(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x}, \quad f_2(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \quad (9)$$

이다.

따라서 分布의 標準偏差는

$$\sigma = \sigma_x = \sigma_y = \sqrt{\frac{S Q \Delta t}{2 \pi H}} \quad (10)$$

의 關係를 갖게 된다.

여기서 S = 瞬間的으로 放流된 下水域中心에서의 稀釈比

Q = 下水流入率

$\Delta t$  = 瞬間的 放流의 時間間隔

H = 下水域의 두께

半徑 r 의 等確率曲線을 생각하여 다음과 같이 分散

$\sigma_r^2$  에 依하여 下水分布가 表現될 수 있다.

$$\sigma_r^2 = \frac{\int_0^\infty r^2 S(r) 2 \pi r dr}{\int_0^\infty 2 \pi r S(r) dr} \quad (11)$$

여기서 S(r) = 半徑 r 에서의 下水의 濃度

그리고  $\sigma_r$  은  $\sigma_r^2 = 2\sigma^2$  의 關係를 가진다.

따라서

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{S Q \Delta t}{\pi H}} \quad (12)$$

같은 時間에 放流된 下水域의 크기를 定해 보는것이 有用할 것이며 95%의 下水가 分布할  $2\sigma_r$ 을 下水域의 半徑으로 나타내는 것이 合理的인 것이다. 下水域의 두께는 海水의

流速이 增加함에 따라 減少될지 모르고 또한 흘러가면서 垂直的混合에 依하여 漸次 커질지도 모른다. 따라서 下水域의 두께 予測은 상당히 어려운 일이다.

Taylor 와 Offord ( 1974 ) 는 噴流가 拋物線을 따라 水面에 떠오르며 그 길이는 約  $1.33 Y/D$  가 될 것이라고 하고 初期下水域의 두께는  $L/12$  로 予想하였다. 垂直的混合은 크지 않기 때문에 實際的인 問題에 있어 下水域이 떠내려감에 따라 그 두께는 變하지 않고 一定하다고 보아도 될 듯하다.

#### 4. 表面에서의 퍼짐

水面까지 떠오른 下水는 아직 周圍와 密度差가 크고 따라서 buoyancy flux 에 依하여 퍼져 나가게 된다. 下水域의 두께 (  $H$  ) 는 一定하다고 假定할 수 있고 Hyden 과 Larsen ( 1974 ) 에 依하면 下水域의 境界가 前進하는 速度는 다음과 같다.

$$V = K \sqrt{\Delta \rho g H} \quad (13)$$

여기서  $K = 常數 ( 1 < K < 1.4 )$

$\Delta \rho =$  下水와 周圍海水와의 密度差

$g =$  重力加速度

이 段階는 稀釈된 下水域의 密度가 周圍海水의 密度와 別 差異가 없을 때까지 繼續되는데 初期 稀釈狀態에 따라 다르나 1~3時間 繼續될 것이다.

## 5. 拡散

瞬間的인 鉛直線円으로부터 放流된 下水는 乱流拡散에 依하여 定規分布를 이루고 中心에 對하여 對稱이라고 볼 수 있다.

下水의 確率分布密度는

$$f(x, y) = \frac{1}{\pi \sigma r^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma r^2}\right) \quad (14)$$

一般的으로

$\sigma r = at^n$ 의 式으로 表示할 수 있고

$a, n =$  定數

$t =$  時間

Okubo와 Pritchard(1960)는  $\sigma r = Wt$ 로 擴散되어가는 速度가 一定하다고 하여  $m (= Q \Delta t)$ 의 下水量이 放流되었을 때의 下水의 濃度를 아래 式과 같이 나타내었다.

$$Si(x, y, t) = \frac{m}{\omega^2 H t^2} \exp\left\{-\frac{(x-X)^2 + (y-Y)^2}{\omega^2 t^2}\right\} \quad (15)$$

여기서  $Si(x, y, t) =$  放流原點에서 부터  $x, y$  되는 點에서의

時間  $t$  때의 下水濃度

$t =$  放流後의 時間

$Q =$  下水의 流入率

$\Delta t =$  瞬間的 放流의 時間間隔

$\omega =$  擴散速度

$H =$  下水域의 두께

$X, Y =$  瞬間的으로 放流된 下水域의 中心座標  
(放流原點의  $x, y$  座標)

X, Y 는 짧은 時間間隔內에서 段階的으로 計算하여 다음과 같이 概略的으로 求해진다.

$$X = X_0 + U \cdot \Delta t \quad (16)$$

$$Y = Y_0 + V \cdot \Delta t \quad (17)$$

여기서  $X_0, Y_0 = \Delta t$  時間前에 瞬間的으로 放流된 下水域의 中心座標

$U, V = x, y$  方向의 海水의 流速

$\Delta t =$  時間間隔

放流된 下水가 泔岸에 到達하게 되면 그 以上 움직이지 않고 拡散은 繼續된다고 假定하였다. 下水域은 亂流擴散에 依하여 퍼지기 前에 放流口로부터 噴流形態로 水面에 떠 오르고 表面에서의 퍼짐 (surface spreading) 에 依하여 이미 크기를 가지므로 上記式에 修正이 必要하다. 이 問題는 時間을

$$t = \frac{R}{2\omega} \quad (18)$$

(  $R =$  亂流擴散이 支配的인 要因이 되기 前의 下水域의 半徑 ) 으로 고쳐 計算하므로써 쉽게 解決할 수 있다. 連續的 放流를 짧은 時間間隔을 가진 瞬間的 放流가 겹친 것과 같다고 假定하였으므로 連續的 放流로 因한 下水濃度는

$$S_c(x, y, t) = \sum_{i=1}^n S_i(x, y, t) \quad (19)$$

이때  $S_c(x, y, t) =$  連續的 放流에 依한 下水濃度

$n =$  假定한 瞬間的 放流의 數

이 모델은 大腸菌數를 推定하기 爲하여 使用될 것이고 따라서 大腸菌濃度  $C_c$  는

$$C_c(x, y, t) = a S_c(x, y, t) \quad (20)$$

에 依하여 求할 수 있다. 여기서  $a$  = 下水의 大腸菌濃度

## 6. 大腸菌數의 減少

自然環境中에서 時間에 따른 大腸菌數의 變化는 1次反應式으로 볼 수 있고 따라서 다음과 같이 表示된다.

$$N = N_0 \exp(-kt) \quad (21)$$

여기서  $N$  = 時間  $t$  後 生存大腸菌數

$N_0$  = 初期大腸菌數

$k$  = 大腸菌 減衰常數

慣習적으로 全体 微生物의 90%가 減少하는데 所要되는 時間을  $T_{90}$  으로 表示한다. Gameson과 Gould(1974)에 依하면 밤에 海水中에 水溫이  $2^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 內에서 增加함에 따라  $T_{90}$  이 減少하는데 그 關係는 다음과 같다.

$$\log T_{90} = 2.292 - 0.0295\theta \quad (22)$$

여기서  $T_{90}$  = 時間

$\theta$  = 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

和暢한 여름의 直射光線아래서  $T_{90}$  은 20分程度이며 따라서 減少率은 밤에 比하여 100倍程度가 된다. 減少率은 大略日光의 強度에 比例하는 것으로 알려져 있기 때문에 大腸菌數를 推定하기 爲해서는 日光의 強度가 考慮되어야 할 것이다. 이 모델에서는 밤과 낮에 各各 다른 大腸菌 減少率을 適用하는 程度로서 海岸에서의 大腸菌濃度を 計算하려 한다.

### 第3節 海中放流管모델의 迎日灣에의 適用

海中放流管모델은 迎日灣에 適用되었다. 浦項市 綜合開發計劃에 依하면 下水處理計劃은 區域에 따라서 簡便한 下水處理를 하여 兄山江 또는 汝南川에 放流하거나 處理없이 迎日灣에 放流하기로 되어 있다. 國民生活의 向上에 따라 休息처로써 河川 및 海岸은 더욱 重要性이 認識될 것이나 浦項市의 人口增加에 따른 放流下水量의 增加 및 浦項綜合製鐵의 稼動에 따라 海岸汚染은 不可避할 것이며 따라서 最大限度로 海岸汚染을 防止하도록 下水處理計劃이 樹立되어야 할 것이다. 海岸都市에서는 完全한 下水處理施設을 갖추기 보다는 보통 下水를 一次沈澱을 시켜 海中放流管을 通하여 放流된다. 本 調査에서는 實際下水處理計劃이라기 보다는 放流된 下水의 變化樣相을 調査하는 것이 主目的이다. 工業團地에서 放出되는 廢水を 除外한 都市下水를 1次沈澱後 汝南浦에 延長 3 km의 海中放流出管을 設置하여 放流하는 것으로 假定하여 海岸에서의 大腸菌濃度を 計算해 봄으로써 海岸을 利用할 때 衛生的 危險性을 考慮하는 方法을 試圖하려 한다. 모델의 適用에 利用될 數值들은 아래와 같다.

目標年度	1981年
目標人口	240,000人
1人當 汚水量	200 ℓ/日



平均下水量	0.56m <sup>3</sup> /sec
放流管直径	0.6m
放流管延長	3 km
放流管設置地点의 水深	30m
下水의 密度	0.9995 g/cm <sup>3</sup>
海水의 密度	1.02478 g/cm <sup>3</sup>
擴散速度	50m/hr
沈澱後 下水의 大腸菌濃度	2×10 <sup>7</sup> /100 ml

月間 放流下水量의 變化는 現地調査에 依하여 좀 더 合理的으로 求할 수 있겠으나 本 適用에서는 06 : 00 時에 最小가 되며 18 : 00 時에 最大가 되어 正弦函數로써 表示될 수 있다고 假定하여

$$Q = 0.56 + 0.28 \sin \frac{2\pi(t+12)}{24} \quad (23)$$

로 하였다.

여기서  $Q = \text{下水量} (m^3 / \text{sec})$

$t = \text{時間} (0 \sim 24)$

海岸의 利用에 따른 危險은 大部分 여름에 發生하는 것이므로 大腸菌의 減衰程度의 夏節을 基準으로 한다. 夜間에는 水温이 20℃일 때  $T_{90}$ 이 50 時間이 되며 大腸菌 減衰定數는 0.046 이 된다. 昼間에는  $T_{90}$ 이 3 時間이 合理的이라 생각되며 大腸菌減衰定數는 0.767 이 된다. 日出時間과 日沒時期은 季節에 따라 變化하나 本 調査에서는 各各 6時와 18時로하여

밤과 낮을 12時間으로 갈게 하여 計算하였다. 바람에 의한 흐름은 比較的 長時間 繼續되는 바람에 의하여 생길 것임으로 測候所의 風向 및 風速資料를 6時間 間隔으로 平均하여 6時間 동안은 바람條件이 一定한 것으로 보아도 좋을 것이다. 바람과 이에 의한 흐름과의 關係를 回歸分析에 의하여 求하기 爲해서는 한 潮汐週期間의 바람資料 및 浮標( drogue )를 利用한 海流의 觀測資料들이 必要하나 觀測結果가 없으므로 風向 으로부터 誘導된 海流의 角度는 時計方向으로  $42^\circ$ , 誘導된 海流의 速度/風速은 0.015로 假定하여 計算하였다. 潮流는

$$v_t = v_0 + v_2 \cos(30^\circ t - K_2) + v_4(60^\circ t - K_4)$$

$$v_t = \text{任意時의 流速} \quad (24)$$

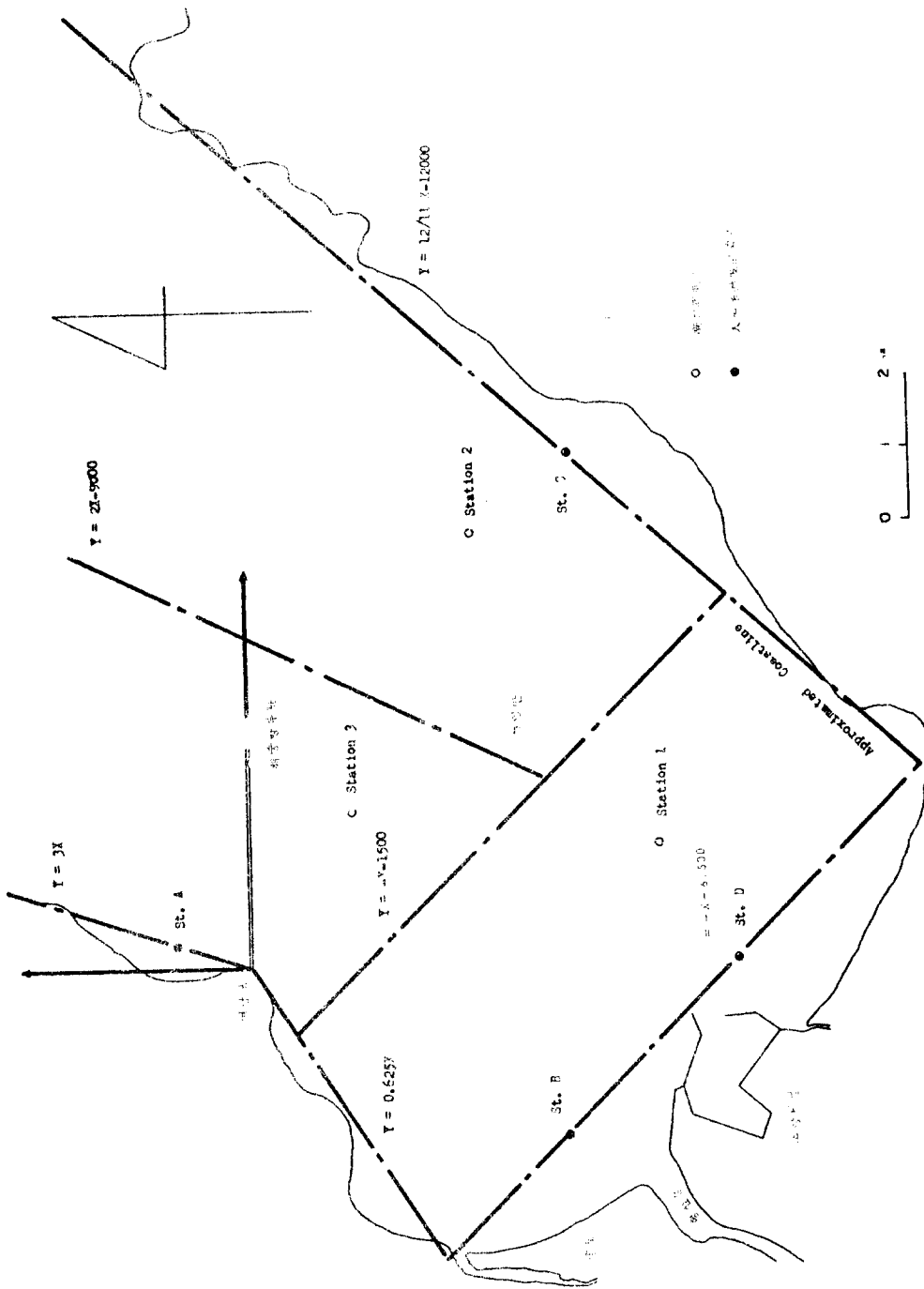
$$v_0 = \text{恒流}$$

$$v_2, v_4 = \text{半日週, } \frac{1}{4} \text{日週潮의 流速}$$

$$K_2, K_4 = \text{半日週, } \frac{1}{4} \text{日週潮의 遲角}$$

$$t : \text{太陰의 時數}$$

로 表示하고 潮流調和常數는 水路局(1974)에서 觀測하여 얻은 結果를 使用하였다. 또한 迎日灣을 3區域으로 나누고 各區域에서는 潮流가 一定하다고 假定하였다. (圖 5-2 參照) 氣象月報에 依하면 1976年 7月 18日, 19日의 바람이 平均  $10.7\text{m/sec}$ ,  $7.0\text{m/sec}$ 으로 風向은 北風이다.



例 5. 2. 蔚山灣 모델의 靑島灣에의 適用  
 (Application of outfall model to Youngil Bay)

一日間 같은 바람이 繼續되었다고 假定할 때 下水가 放流되기 始作한 다음부터 一日間의 下水域의 發達狀態는 圖 5 - 3 ~ 5 - 10 과 같다. 같은 條件에서 24 時間後의 各 下水域의 中心座標, 下水域의 半徑, 下水域 中心에서의 大腸菌濃度(100ml 에 對한)는 表 5 - 1 와 같다. 夜間에 放流된 河水는 晝間이 지 난 다음에는 海岸에서의 大腸菌濃度에 影響을 주지 않을 程度로 大腸菌이 減少된다는 것을 알 수 있다. 따라서 本 調査에서는 放流된 지 24 時間이 經過된 下水는 더 以上 考慮하 지 않았다. 5m/sec 의 北東風이 2 日間 繼續된다고 할 때 海岸 4 地點에서의 大腸菌 變化結果는 表 5 - 2 와 같고 이로부터 圖 5 - 11 을 얻었다. 本 調査에서는 連續적인 放流를 30 分 間隔의 瞬間적인 放流를 생각하였는데 이 時間間隔은 合理的인 計算結果를 얻었으며 間隔을 減少시킬 境遇 더 나은 結果를 얻으리라 期待된다. 同一한 時間에 이 地域에서 發生頻도가 높은 北風, 北東風 및 南西風이 불었다고 假定할 때 海岸 4 地 點에서의 最大大腸菌濃度は 表 5 - 2 와 같다. 結果에 依하면 北風 및 北東風이 불 때 灣內海岸의 大腸菌濃도가 높아지며 南西風이 불 때는 바람이 일으킨 海流는 灣外로 向하게 되어 河水의 海中放流로 因한 大腸菌濃度は 거의 없어진다. 本 計 算을 爲한 Program은 BASIC으로 作成되었으며 附錄 C 와 같다.

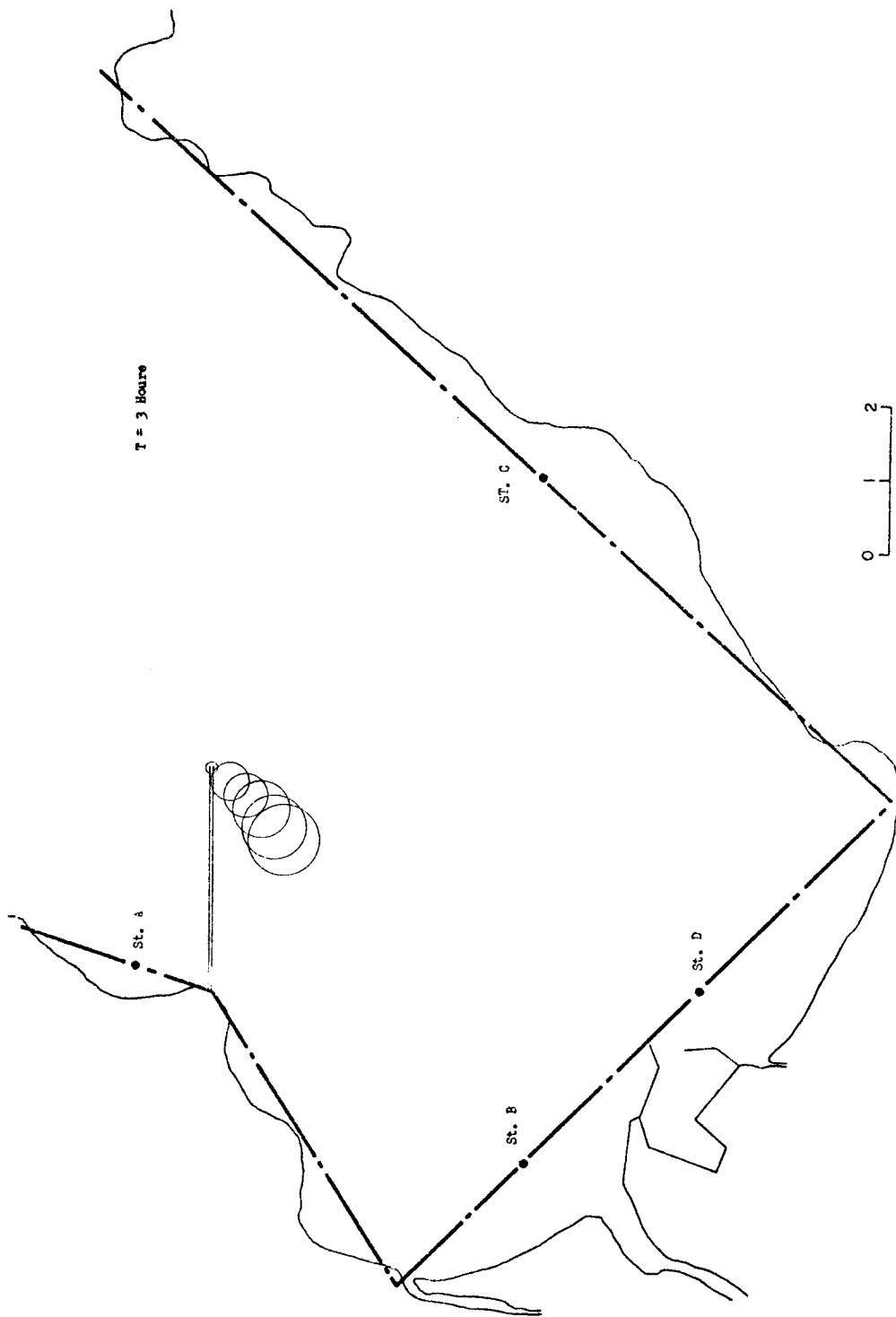


圖 5-3. 計算中 下水浸潤 進前狀況 (T = 3 時間)  
(Probable development of Sewage Field)

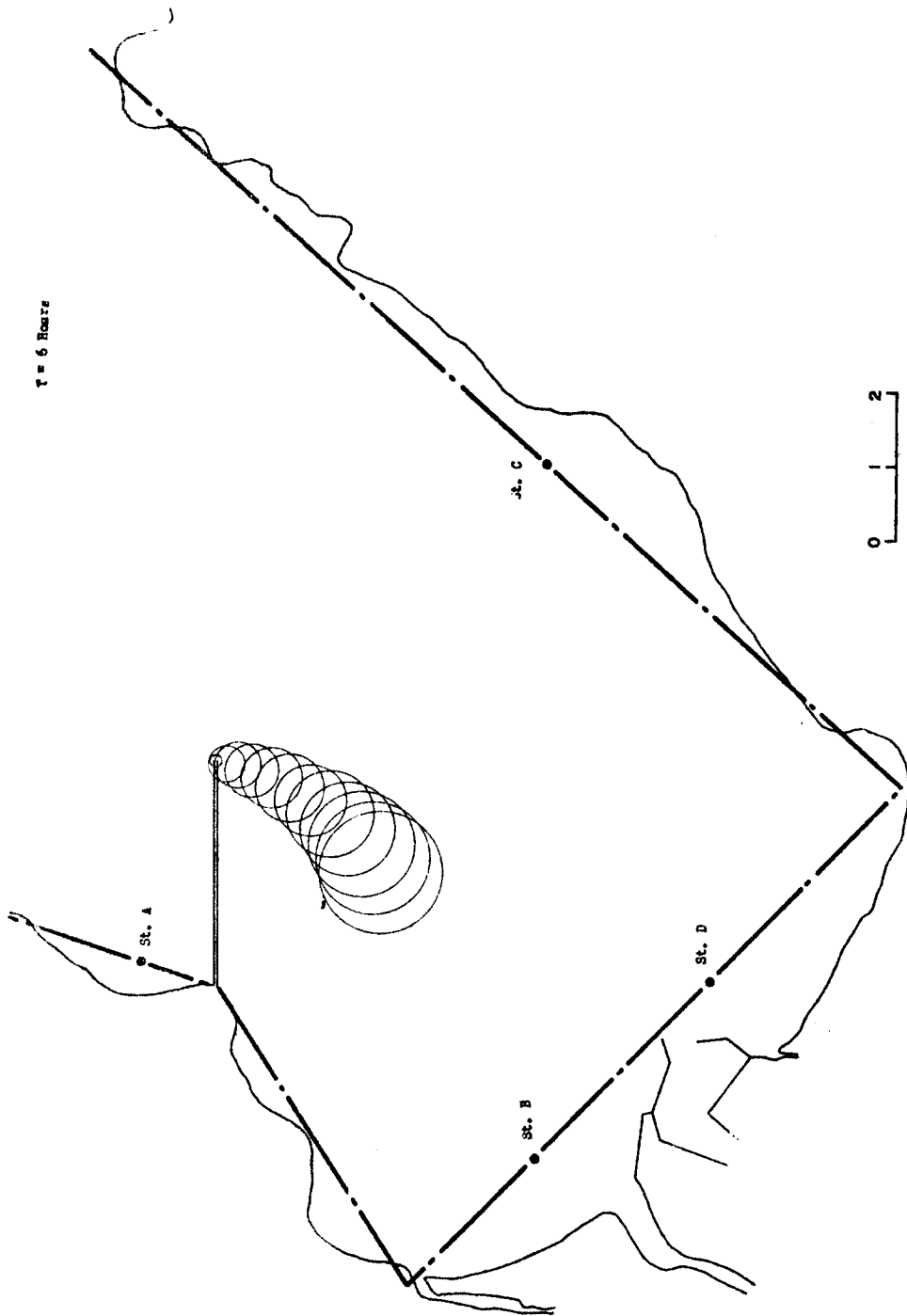
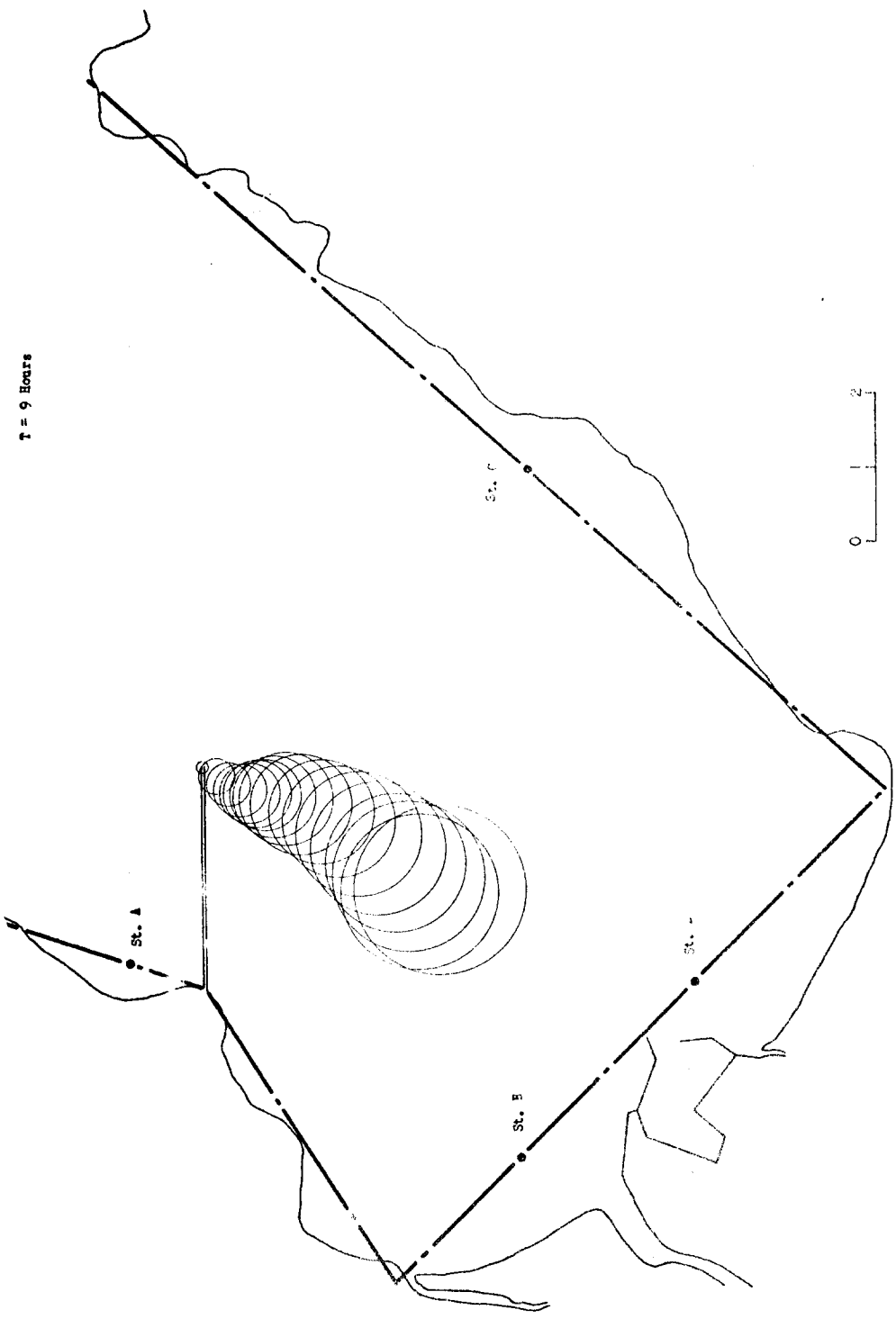


图 5-4. 計算上 下水域の 進出状況 (  $T = 6$  時間 )  
 (Probable development of Sewage Field)



T = 9 Hours

圖 5-5. 汚濁 汚濁の 進展 (T = 9 時間)  
(Probable development of sewage field)

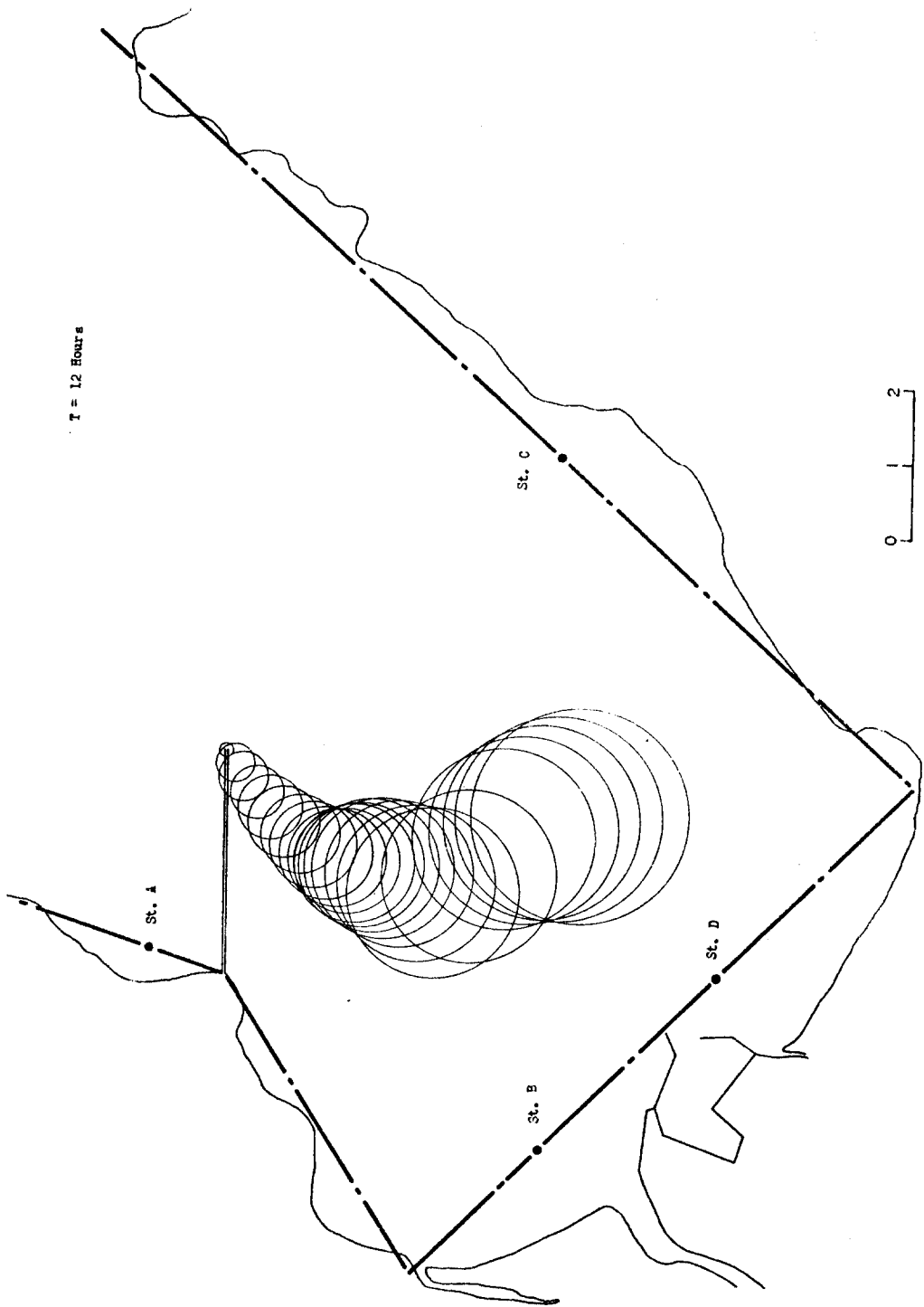


圖 5-6. 計算用 下水場各 站之設計 (Probable development of Sewage Field)



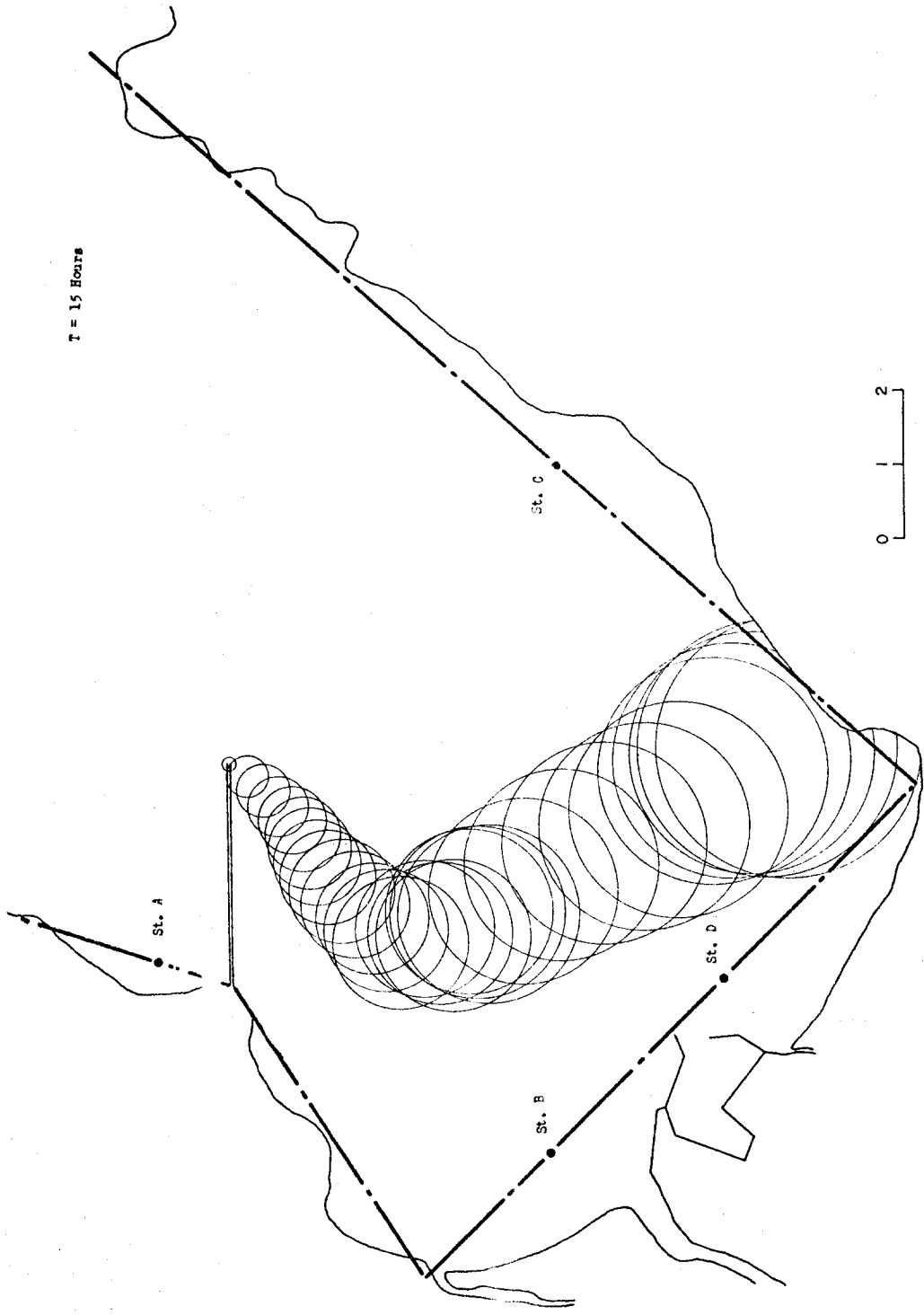


圖 5-7. 計算用 下水域の 進出状況 (T = 15 時間)  
 (Probable development of Sewage Field)

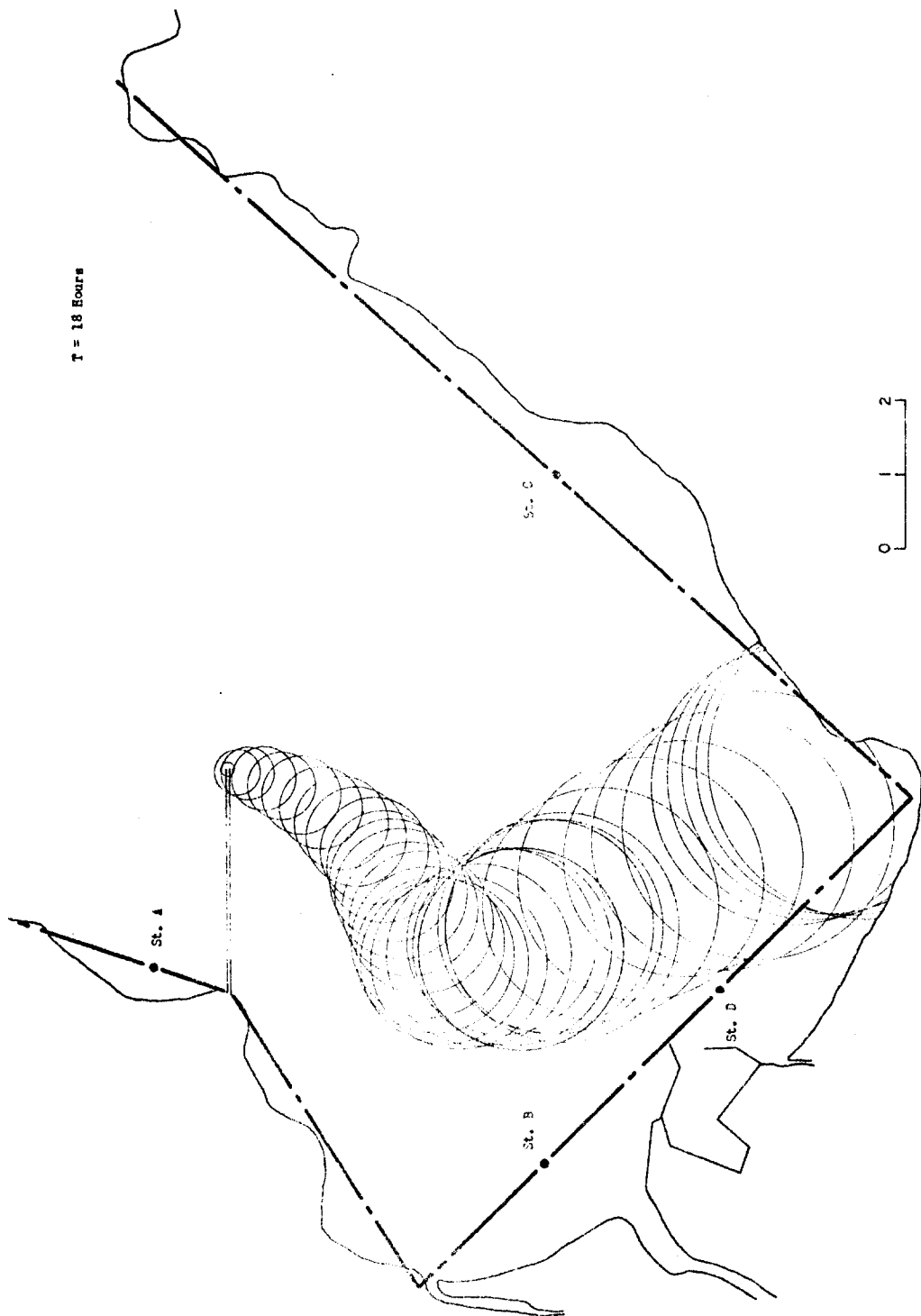


圖 5-8. 計算 下水域之 邊界 (T = 18 小時)  
 (Probable development of sewage field)

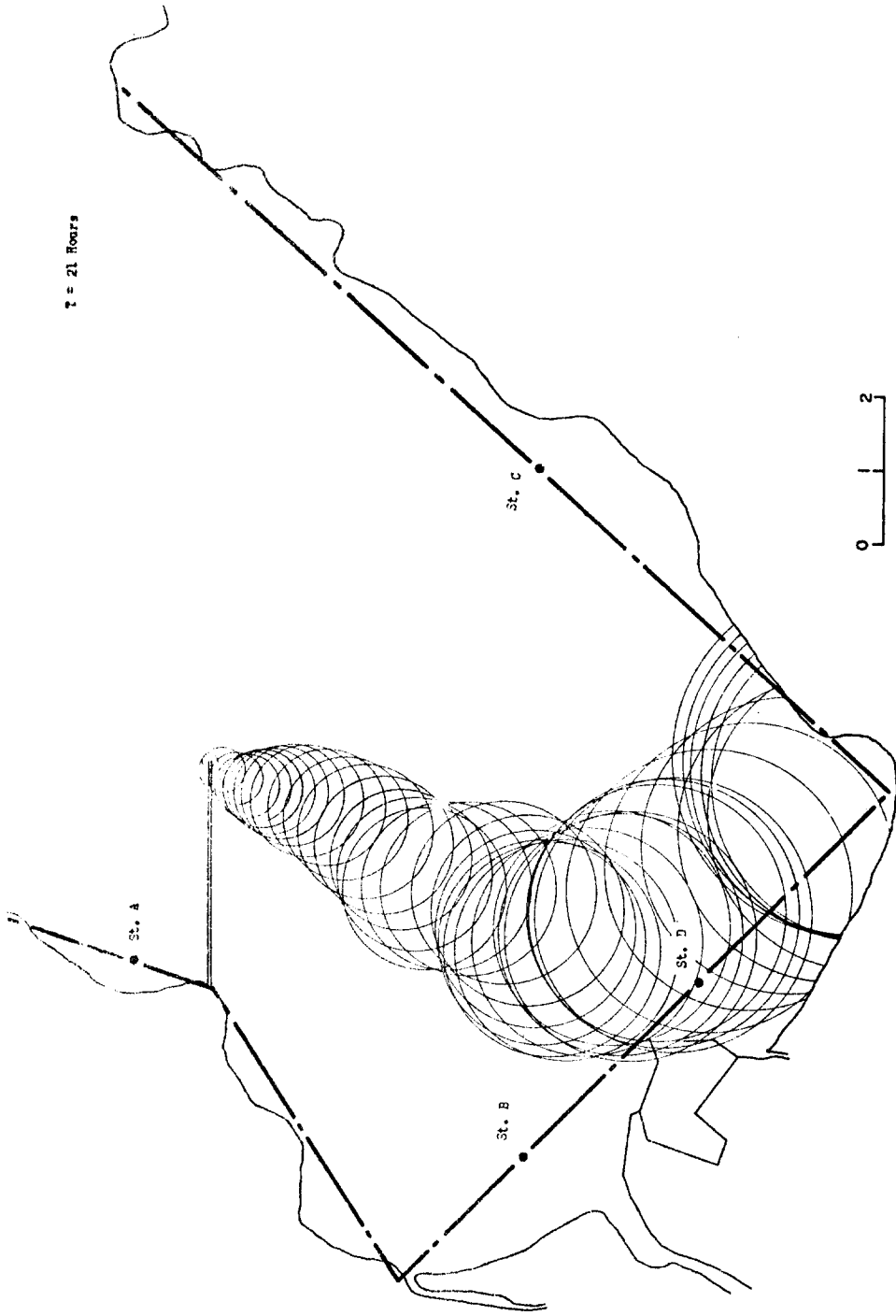


圖 3-9. 汚濁水區域的發展狀况 (T = 21 時間)  
 (Probable development of Sewage Field)

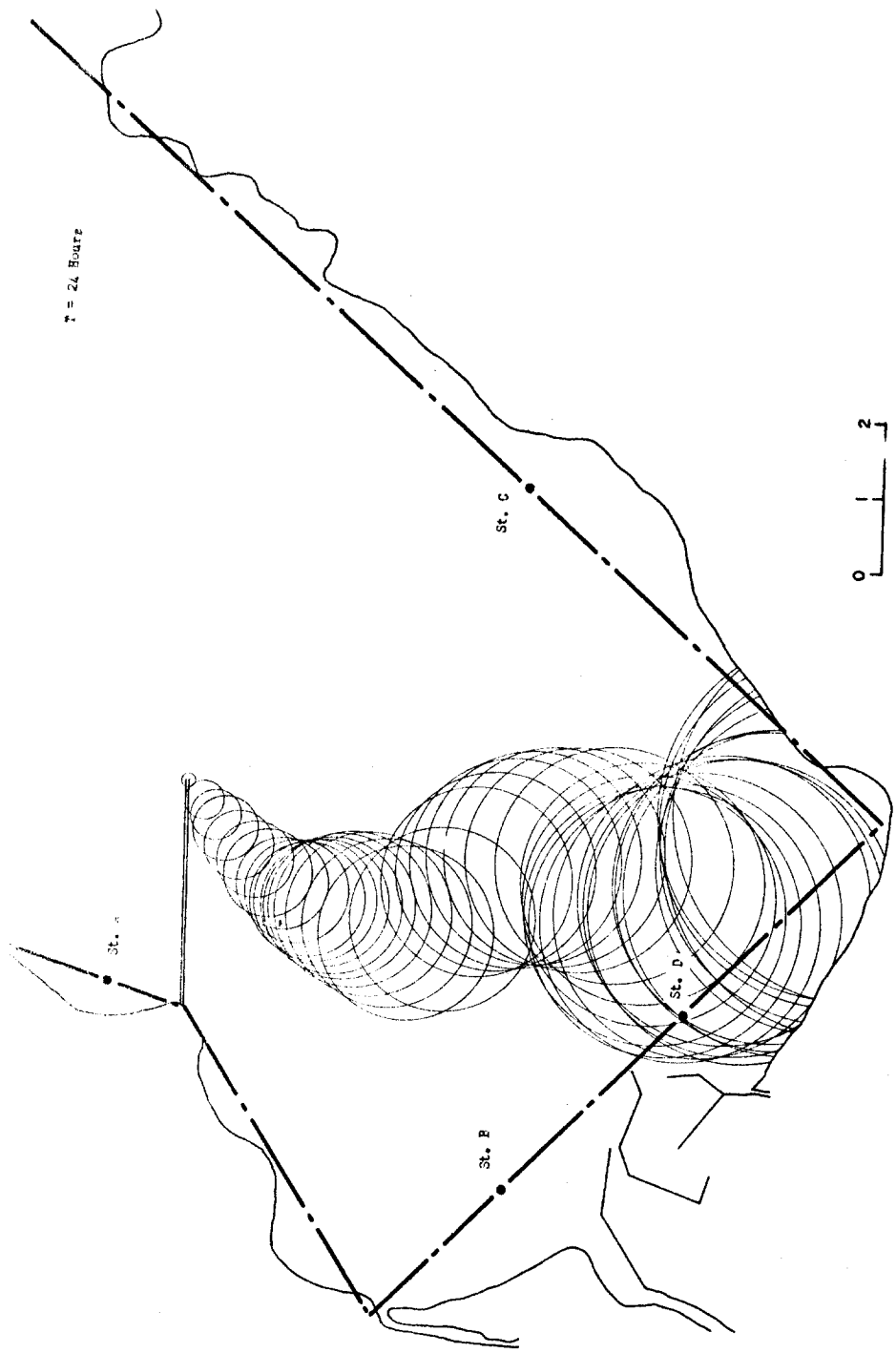


圖 5-10 . 計算上 下水場域 發展狀況 ( T = 24 時間 )  
 (probable development of Sewage Field)

表 5-1. 放流時刻 24 時間後の 各 下水域の 位置, 半径, 大腸菌 濃度

CURRENT				
ZONE 1	5.38114	-22.6179		
ZONE 2	-15.2084	-11.6123		
ZONE 3	-8.12822	-11.5483		
SEWAGE	1040.95	DIL	18.558	18.558
PATCH NO	X	Y	R	C AT CENTER
1	3000	0	82.5306	1.0777E+6
2	2726.25	-209.022	281.463	96237.8
3	2531.91	-345.048	344.685	66322.4
4	2336.18	-505.233	402.605	49980.1
5	2142.76	-688.748	460.113	39131.7
6	1958.4	-887.103	517.192	31495.9
7	1791.72	-1087.23	574.095	25849.3
8	1651.2	-1275.15	629.684	21605.9
9	1542.91	-1440.18	685.934	18204.6
10	1468.59	-1578.25	740.857	15514.2
11	1424.57	-1693.36	795.566	13299
12	1401.87	-1796.85	849.789	11456.2
13	1387.63	-1904.62	903.789	9897.86
14	1367.29	-2033.01	957.567	8567.77
15	1327.35	-2194.51	1010.86	7428.09
16	1257.8	-2394.27	1063.93	6441.66
17	1153.74	-2628.64	1115.68	5595.5
18	1015.82	-2835.79	1168.1	4848.28
19	1220.12	-3346.72	1219.19	4203.04
20	1739.75	-3796.33	1270.11	3637.03
21	1871.79	-4066.85	1320.61	3142
22	1975.76	-4309.16	1370.69	2709.25
23	2045.84	-4549.64	1420.65	2330.55
24	2071.81	-4808.92	1470.23	1395.27
25	2042.61	-5095.99	1519.47	833.841
26	1992.1	-5584.97	1567.38	498.23
27	1754.33	-5929.06	1616.23	296.965
28	1499.33	-6033.29	1665.43	176.871
29	1334.15	-6131.94	1715.03	105.396
30	1240.96	-6257.47	1764.7	62.964
31	1237.35	-6437.16	1814.47	37.7865
32	1330.7	-6637.9	1864.68	22.8267
33	1517.67	-7012.58	1915.39	13.9179
34	1443.35	-7150.65	1966.62	8.5880
35	1399.33	-7265.76	2018.75	5.37595
36	1718.29	-7618.53	2071.81	3.42006
37	1704.04	-7726.3	2125.81	2.21376
38	1683.7	-7854.7	2180.75	2.09081
39	2014.77	-8320.93	2236.62	2.00698
40	2232.98	-8459.05	2288.07	1.96323
41	2515.06	-9013.95	2342.35	1.93923
42	2186.26	-8559.79	2400.07	1.92809
43	2289.08	-8732.44	2461.06	1.92481
44	2728.64	-8861.12	2525.03	1.92527
45	2805.84	-8794.09	2583.43	1.93835
46	2883.32	-8707.27	2642.23	1.9514
47	2956.29	-8653.45	2701.38	1.96176
48	3012.15	-8672.83	2761.47	1.96645
TIME	ST. A	ST. E	ST. C	
24	1.60851E-15	6.7609E-3	3.04502E-3	170.72

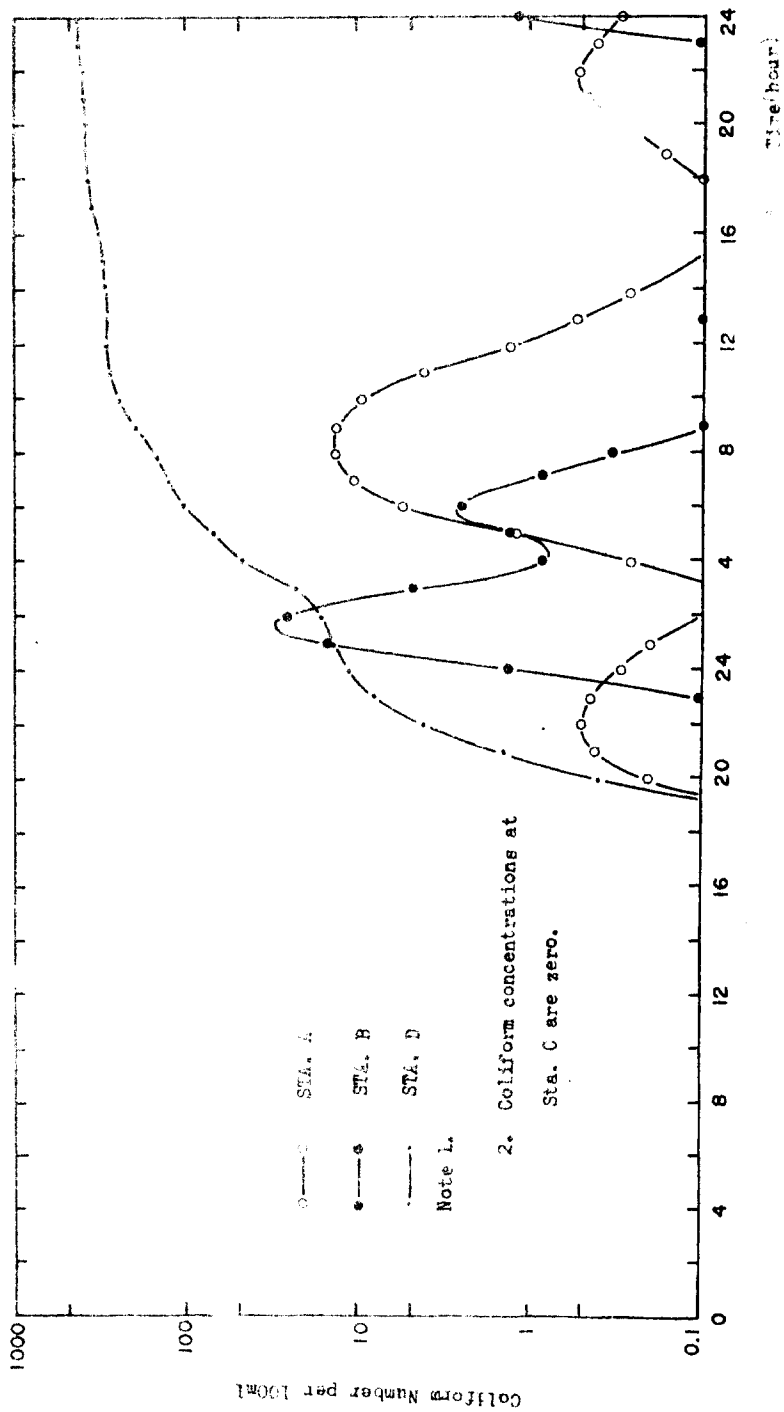


圖 5-11. 計算用 大腸菌濃度  
(Simulated coliform concentrations at station A,B,C,D  
5M/sec NE Wind)

表 5 - 2 海岸 4 地点에서의 最大大腸菌 濃度

Case	Day	Wind	Station			
			A	B	C	D
1	1st	5m/sec N	0	0	0	17
	2nd	5m/sec N	0	0	0	482
2	1st	6.2m/sec N	0	0	0	171
	2nd	10.7m/sec N	0	1	0	71,179
3	1st	5m/sec NE	1	0	0	13
	2nd	5m/sec NE	29	6	0	460
4	1st	5m/sec SW	0	0	0	0
	2nd	5m/sec SW	0	0	0	0

COLIFORM CONCENTRATION AT 4 STATIONS

TIME	ST. A	ST. B	ST. C	ST. D
0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0
2	3703E-59	0	0	0
2.5	2.0914E-39	0	0	0
3	7.09549E-23	0	0	0
3.5	3.98070E-21	0	0	0
4	5.11454E-17	0	0	0
4.5	3.05379E-14	0	0	0
5	4.83167E-12	0	0	0
5.5	3.75307E-12	9.60107E-68	0	0
6	2.10995E-8	9.3405E-58	0	0
6.5	5.37232E-7	3.2356E-50	0	1.64237E-72
7	3.12243E-6	5.96398E-44	0	2.80111E-64
7.5	6.74066E-5	2.3237E-33	0	4.33963E-57
8	3.0693E-4	3.90712E-33	0	1.59262E-50
8.5	7.947E-4	3.27772E-28	5.78576E-70	1.76394E-44
9	1.26611E-3	1.13228E-23	1.33781E-65	5.23519E-39
9.5	1.40901E-3	1.18697E-19	3.84958E-62	3.14003E-34
10	1.25778E-3	2.97019E-16	2.33095E-59	3.03659E-30
10.5	1.14662E-3	1.6375E-13	2.94205E-57	4.50336E-27
11	1.16397E-3	2.19611E-11	1.47434E-55	1.19357E-24
11.5	1.59867E-3	8.96609E-10	3.75176E-54	7.77595E-23
12	3.23032E-3	8.62709E-9	1.31066E-47	1.30031E-19
12.5	8.65193E-3	8.09116E-8	1.3414E-41	2.05488E-16
13	1.82929E-2	6.36565E-7	3.24607E-36	2.28272E-13
13.5	3.24292E-2	4.06386E-6	1.98663E-31	1.69425E-10
14.5	3.10201E-2	2.41753E-5	1.74203E-27	4.14118E-8
14.5	1.66324E-2	7.70113E-5	2.15757E-24	2.86772E-6
15	5.94187E-3	1.8759E-4	4.53592E-22	6.03807E-5
15.5	1.86032E-3	4.15345E-4	2.19397E-20	4.83387E-4
16	8.87904E-4	9.24289E-4	3.40265E-19	1.92812E-3
16.5	1.02913E-3	2.09767E-3	2.29859E-18	4.86601E-3
17	1.66442E-3	4.75669E-3	8.89548E-18	9.33948E-3
17.5	2.69427E-3	1.05534E-2	2.53746E-17	1.56042E-2
18	3.85359E-3	.022565	6.7666E-17	2.51218E-2
18.5	6.24444E-3	4.58316E-2	1.1841E-16	4.23606E-2
19	.014354	8.66836E-2	6.57657E-16	7.97013E-2
19.5	3.69024E-2	.149526	2.71322E-15	.169241
20	7.14683E-2	.232755	1.29351E-14	.38112
20.5	9.99308E-2	.327267	6.77461E-14	.827862
21	.104014	.415795	3.7588E-13	1.62102
21.5	9.13654E-2	.47568	2.16317E-12	2.79967



32.5	8.27341E-2	.491305	1.26797E-11	4.31141
33.5	8.55463E-2	.466391	7.37918E-11	6.06937
34.5	.123476	.420365	4.11259E-10	5.42174
35.5	.307604	.371332	2.09647E-9	18.1787
36.5	1.33105	.223935	9.24383E-9	12.5909
37.5	5.78667	.273937	7.96249E-9	14.5661
38.5	17.2513	.214913	6.93627E-9	16.2272
39.5	29.0106	.150201	5.11225E-9	17.8073
40.5	27.2932	9.92611E-2	7.65564E-9	26.013
41.5	15.0033	7.32482E-2	6.92749E-9	23.6914
42.5	5.63693	8.25027E-2	6.71414E-9	29.5753
43.5	1.9467	.131398	7.96224E-9	37.8104
44.5	.843577	.265393	1.14776E-9	43.1543
45.5	.941098	.577329	1.07239E-9	60.2367
46.5	1.41456	1.22527	1.32918E-9	73.6413
47.5	2.06845	2.7259	1.56861E-9	33.4732
48.5	2.44452	5.71554	1.91821E-9	105.801
49.5	1.52533	3.21761	1.32786E-9	131.255
50.5	.787164	10.654	1.92109E-9	136.587
51.5	.44013	13.1756	2.27343E-9	154.681
52.5	.256593	15.0432	3.04120E-9	176.21
53.5	.189174	14.774	4.56410E-9	231.523
54.5	.045544	12.4033	5.93333E-9	228.631
55.5	2.53595E-2	9.23393	8.31737E-9	254.251
56.5	1.58570E-2	6.3238	1.20111E-8	275.156
57.5	1.03402E-2	4.27426	1.32575E-8	291.209
58.5	6.01944E-3	2.56573	1.51753E-8	303.34
59.5	4.57124E-3	1.59969	1.68302E-8	311.11
60.5	8.38734E-4	.967571	1.82920E-8	316.931
61.5	1.83196E-3	.541703	1.82971E-8	320.227
62.5	3.24289E-2	.336312	1.42014E-8	323.562
63.5	3.09939E-2	.246133	1.26927E-8	326.466
64.5	1.66305E-2	.146412	2.75970E-9	330.54
65.5	5.94098E-3	9.12742E-3	3.27347E-9	335.621
66.5	1.86006E-3	6.38135E-3	4.25237E-9	344.574
67.5	3.77515E-4	5.17334E-3	5.43451E-9	354.632
68.5	1.66440E-3	.174422	7.42345E-9	364.817
69.5	3.85355E-3	.135527	5.65615E-9	374.747
70.5	6.04457E-3	.174422	5.12415E-9	383.322
71.5	3.69035E-3	.233374	3.74517E-9	393.322
72.5	2.69425E-3	.302233	2.46031E-9	400.253
73.5	9.99263E-2	.385599	2.37542E-9	407.23
74.5	1.04007	.456936	1.62124E-9	413.983
75.5	9.13591E-2	.52433	1.27230E-9	420.326
76.5	.03073	.502214	1.42236E-9	426.217
77.5	9.55442E-2	.477123	3.49700E-9	430.516
78.5	1.23432	.425995	7.00330E-9	435.929
79.5	.30765	.372552	1.27230E-9	442.25
80.5	1.3313	.322329	1.42236E-9	447.695
			1.42236E-9	451.327
			1.26797E-8	454.995
			1.07239E-8	457.842
			9.24383E-8	460.353

#### 第4節 討議 및 結論

1. 不規則한 海流中에 繼續하여 放流되는 下水의 變化를 瞬間的 放流의 重疊으로 處理하고, 段階的 計算을 함으로써 豫測할 수 있었다. 또한 이 方法에 依하여 晝夜間에 對한 서로 다른 大腸菌減少率을 適用할 수 있었다.

2. 海水中에 放流된 河水가 浮力에 依하여 水面에 到達하였을 때의 最少稀釈比는 Agg 와 Wakeford의 式에 依하여 얻은 停滯한 물中에서의 最少稀釈比를 下水의 噴出流速과 周辺 海流의 流速比에 따라 修正하여 求하였는데 흐르는 물에서 噴出된 下水의 最少稀釈比에 對한 研究가 더 이루어져야 할 것이다.

3. 本 適用例에서는 直徑 0.6 m의 放流管을 使用하였는데 多孔擴散裝置 (multi - port diffuser)를 使用하지 않고 單一放流構造로는 큰 값의 初期稀釈率을 갖기 어렵다. Taylor 와 Offord는 下水域의 깊이를  $1.33Y/\sqrt{2D}$ 로 近似的으로 求하였는데 下水域의 깊이는 Okubo 와 Pritchard의 擴散式에서 重要한 式이다. 多孔擴散裝置에 依하여 噴流의 直徑이 減少되면 下水域두께가 커지고 따라서 擴散式에 依한 海岸에서의 大腸菌濃度는 減少할 것이다. 이 모델에 使用된 式들에 依하면 下水의 噴出直徑을 줄이는 것은 매우 重要한 事項임을 알 수 있다.

4. 모델의 迎日灣에의 適用結果에 依하면 海岸으로 向해 강한 바람이 불 때에는 海岸의 大腸菌濃度가 매우 높게 된다. 잘 設計된 多孔擴散裝置는 普通 100 倍以上의 初期稀釈比를 可能하게 하고 또한 下水域이 커져, 擴散되어 海岸에 到達하는 大腸菌濃度を 작게 한다. 그러므로 合理的인 水質基準으로 생각되는 大腸菌濃度  $1,000/100\text{ml}$  는 다른 根源으로부터의 大腸菌을 考慮한다 하더라도 거의 大部分의 期間동안 達成할 수 있을 것이다. 基準을 넘는 大腸菌濃度は 強風條件일 때 發生할 것이고 이 때는 波高가 높아 海水浴에 依한 衛生的 危險은 없을 것이다.

5. 病原菌 ( pathogenic bacteria ) 을 稀釈된 狀態에서 檢出하고 그 數를 判斷하는 것이 容易하지 않으므로 病原菌과 마찬가지로 人體에서 排出되고 自然狀態에서 抵抗성이 病原菌과 같거나 약간 커서 安全한 基準으로 病原菌의 存在可能性을 알려주는 指標로서 大腸菌이 많이 利用된다. 海水의 大腸菌基準은 그 地域의 腸疾患 發生率과 大腸菌과 病原菌의 減少率의 差異를 考慮함으로써 決定될 텐데 海水浴에 依하여 感染될 危險은 下水로 因한 汚染程度가 甚함에 따라, 또한 腸疾患 發生率이 높아짐에 따라 커질 것이나 合理的인 基準을 마련한다는 것은 쉬운 일이 아니다.

6. 本 調査에서 모델은 迎日灣 全海域을 세 區域으로

나누고 各区域에서는 海流가 一定하다고 假定하였다. 灣의 屈曲, 江의 流入, 水深變化等에 依하여 海流의 變化가 생기며 더 많은 地點에서 海流를 調査함으로써 더 나은 結果를 얻을 수 있을 것이다. 一般的으로 海流는 海岸線에 接近함에 따라 減少할 것이며 따라서 下水가 海岸에 到達하는 데 計算時間보다 더 걸릴 것이고 推定된 大腸菌濃度는 實際와 다르겠으나 安全率을 더하여 줄 것이다. 本 計算에서는 海岸線에 到達한 下水는 그以上 移動하지 않는다고 假定하였으나 좀 더 나은 結果를 爲해서는 약간의 修正이 要求된다.

7. 放流된 下水는 水面에 떠오른다고 計算하였으나 成層을 이루어 下水가 물에 잠긴다면 本 모델에서의 結果와 다를 것이다. 물 속에 잠긴 下水는 水深이 커짐에 따라 바람이 일으키는 海流가 작게 됨으로 表面層에 比해서 작은 速度로 移動할 것이고 結果적으로 海水中에서의 長期間의 滯留는 水深이 커짐에 따라 작아질 大腸菌減少率을 補償할 지도 모른다. 그러나 이 地域에서 本 모델의 適用限度가 될 成層은 持續적으로 일어나지 않을 것이라 생각된다.

8. 어떤 海域에서 潮流, 拡散速度, 바람에 依한 海流사이의 關係 등을 알 수 있다면 本 모델에 의하여 바람條件을 넣어 줌으로써 海岸에서의 大腸菌濃度가 推定될 것이다. 本 모델은 既存放流管에서 直接 檢証되지는 못했지만 放流管設計에 큰 도움이 되리라 생각된다.



## 参考文献

1. ABRAHAM, G. (1965) Horizontal jets in stagnant fluid of other density. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Engrs. 91, HY4.
2. AGG, A.R. and WAKEFORD, A.C. (1972) Field studies of jet dilution of sewage at sea outfalls. J. Institute Public Health Engineers 71.
3. CARTER, H.H. (1974) Prediction of far-field exclusion areas and effects. Presented at Int. Symp. on Discharge of Sewage from Sea Outfalls, London.
4. Cederwall K. (1962). The initial mixing of jet disposal into a recipient (in Swedish). Chambers Institute of Technology.
5. FAN, L.N. and BROOKS, N.H. (1966) Discussion on horizontal jets in stagnant fluid of other density. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., 92, HY2.
6. GAMESON, A.L.H. and GOULD, D.J. (1974) Effects of solar radiation on the mortality of some terrestrial bacteria in sea water. Presented at Int. Symp. on Discharge of Sewage from Sea Outfalls, London.
7. HARVERSON, D. (1974) Modelling current movements within bodies of water. Statistical and mathematical aspects of pollution problems, Ed. PRATT, J.W. Marcel Dekker.
8. HYDEN, H. and LARSEN, I. (1974) Surface spreading. Presented at Int. Symp. on Discharge of Sewage from Sea Outfalls, London.
9. MOIR, I.W.M. and WILLIAMS, J.M. (1970) Physical and mathematical model studies of surface currents. Advances in water pollution research, Proc. 5th Int. Conf. Vol. 2, Ed. JENKINS, S.H. Pergamon Press.

- 10 PRITCHARD, D.W. (1960) The application of existing oceanographic knowledge to the problem of radioactive waste disposal into the sea. Disposal of radioactive waste, Vol. 2, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- 11 RAWN, A.M., BOWERMAN, F.R. and BROOKS, N.H. (1960) Diffusers for disposal of sewage in sea water. J. Sanit. Engng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs., 86, SA2.
- 12 RAWN, A.M. and PALMER, H.K. (1930) Pre-determining the extent sewage field in sea water. Trans. Am. Soc. Civ. Engrs., Vol. 94.
- 13 TAYLOR, C. and OFFORD, R.S. (1974) Discussion on design of outfalls in tidal waters. Prc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, 57.
- 14 Yu, M.J. 1975. Modelling of Sea Outfall, M.Sc. Disscrtation, University of Newcastle upon Tyne
- 15 오덕균, 1975. 1973년 迎日湾의 海潮流 現況, 水路技術研報 1973 ~ 1974, 大韓民国 水路局
- 16 中央觀象台 1976. 氣象月報7 .

## 第 6 章 提 言

半開된 地形을 갖는 河口 및 沿岸水域에서 물의 움직임에 대한 適確한 知識은 河口, 沿岸管理 및 汚染防止對策을 樹立하는데 主要한 部分을 차지한다. 沿岸 및 河口水域의 汚染現狀이 深刻할 때 이를 減衷시키기는 極度로 어려운 境遇가 많다. 우리나라의 主要河口 및 沿岸水域에 對해 水質汚染調査는 되어오고 있지만 이 地域의 人爲的變換行爲에 對한 評價를 爲한 調査資料로는 不足하다. 이러한 水質資料는 關聯機關이 서로 協調하여 現場資料를 얻기 爲한 觀測方法 및 觀測基準을 設定하여야 할 것이다.

本 調査에 提示된 여러 모델들은 初期段階의 計劃時에 概略的인 汚染分布를 一次的으로 推定하는 데 有用한 것이나 自然河口나 沿岸水域의 汚染防止對策을 樹立하기 爲한 境遇에는 이러한 모델들은 修正되어야 하고 또한 長期的인 運用에도 寄與할 수 있도록 繼續 開發되어야 할 것이다. 數值解析모델을 利用한 模擬發生技法( Simulation studies )을 통한 河口 및 沿岸의 環境調査는 世界的인 趨勢이므로 우리나라도 河口 및 沿岸資源의 保存을 爲하여 이 方面의 繼續的인 研究가 必要하다.





附錄 A . STOMMEL 의 모델

1. 프로그램의 利用
2. PROGRAM LISTING



附錄 A . Stommel 의 모델

1 . 프로그램의 利用 ( Stommel 의 모델 )

Stommel 의 모델은 Carnahan ( 1969 ) 에 依해 紹介된 algorithm 을 利用하면 쉽게 解를 求할 수 있다. 다음에 収録된 프로그램은 分解되지 않는 持續性인 汚染物質 ( Conservative pollutant ) 와 分解되는 非持續性인 汚染物質 ( non-conservative pollutant ) 의 分布를 概略적으로 推定하는데 一次的으로 利用될 수 있다.

가. 모델의 入力資料

카드順序	Column	變 數	設 明
1	1 ~ 5	NJ	計算되어야 할 總數
2	1 ~12	H	Segment 間의 距離 ( ft )
	13~16	N	모델의 segment 數
	17~20	M	河口로부터의 距離 ( 河口入口 = 1 )
	21~32	CBAR	汚染物質放出量 ( lb/sec )
3	1 ~12	TOL	tolerance
	13~24	TAU	conservative pollutant = 0 non conservative pollutant인 境遇는 半減期 ( sec )
	25~36	RD	河川流入數量 ( cfs )

카드順序	Column	變數	說明
4에서 N+3	37~40	K	K = 0 이면 淡水比率에 의한 濃度計算
	1 ~ 9	S	斷面積 ( ft <sup>2</sup> )
	9 ~ 19	SA	鹽度 ( PPt )

註) 프로그램은 單位負荷 ( Unit load ) 에 對한 汚染物質의 分布에 對해 計算이 이루어지므로 實際放出量은 v (k) 로서 調節한다.

부록 A 2. Program Listing

```

1  PROGRAM FLUSH(INPUT,OUTPUT,TAPES=INPUT,TAPES6=OUTPUT)
      POLLUTION DISTRIBUTION IN ESTUARIES
5  DIMENSION S(99),SA(99),C(99),A(99),F(99),P(99),Q(99),R(99)
      *RS(99),D(50,110),E(50,60),G(50,60),W(99),V(99)
      DO 140 I=1, 26
          A(I)=0.
          R(I)=0.
          P(I)=0.
          Q(I)=0.
10  RS(I)=0.
      READ(5,500) NJ
      500 FORMAT(I5)
      DO 900 JN=1,NJ
          READ(5,200)H,N,M,CBAR,TOL,TA',RD,K
          WRITE(6,200)H,N,M,CBAR,TOL,TAU,RD,K
          200 FORMAT(E12.5,2I4,E12.5,/3E12.5,I4)
          IF(K)21,20,21
          20 READ(5,201)(S(I),SA(I),I=1,N)
          201 FORMAT(E9.4,E10.4)
          GO TO 23
          21 READ(5,205)(S(I),SA(I),C(I),I=1,N)
          205 FORMAT(3E10.4)
          23 DO 17 I=1,N
          17 F(I)=1.-SA(I)/SA(1)
          IF(K) 25,24,25
          24 K=N-1
          C(M)=CBAR*F(M)/RD
          X=C(M)/F(M)
          DO 15 I=1,K
          15 C(I)=F(I)*X
          K=M+1
          X=C(M)/SA(M)
          DO 16 I=K,N
          16 C(I)=X*SA(I)
          25 IF(TAU)2,1,2
              1 TAU=0.
              2 GO TO 3
              3 TAU=1.0/.693/TAU
              4 L=N-1
              5 HH=H*H
          40

```

```

45 H=2.*H
DO 4 I=2,L
4 A(I)=FO*H*(1.-F(I))/(S(I)*(F(I+1))-F(I-1)))
X=1./H
XX=1./HH
DO 5 I=2,L
Y=RD-X*(A(I-1)*S(I-1)-A(I+1)*S(I+1))
Z=XX*A(I)*S(I)
Q(I)=S(I)*(2.*XX*A(I)+TAU)
R(I)=X*Y-Z
5 P(I)=-X*Y-Z
WRITE(6,371)
301 FORMAT(1H1,7S(I)711X,7SA(I)711X,7A(I)711X,7P(I)711X,7Q(I)711X,
17R(I)711X,7C(I)7 //)
DO 29 I=1,N
29 WRITE(6,50)S(I),SA(I),A(I),P(I),Q(I),R(I),C(I)
50 FORMAT(3E15.4,4E15.4)
DO 30 I=1,N
30 P(I)=P(I+1)
DO 60 I=1,N
Q(I)=Q(I+1)
60 R(I)=R(I+1)
N2=N-2
DO 8 K=1,N2
DO 7 I=1,N2
7 V(I)=0.
V(K)=1.0
CALL TRIDAG(N2,P,Q,R,V,W)
WRITE(6,300)K,(W(I),I=1,N2)
300 FORMAT(1H,7INPUT POSITION #,I2,7TH INTERVAL#
*//11X,6E12.4)
8 CONTINUE
900 CONTINUE
END

```

```

1  SUBROUTINE TRICAG(N,P,Q,R,Y,X)
   DIMENSION P(99),Q(99),R(99),X(99),B(99),Y(99),Z(99)
   B(1)=C(1)
   Z(1)=Y(1)/B(1)
   DO 1 I=2,N
   B(I)=C(I)-P(I)*R(I-1)/B(I-1)
   1 Z(I)=(Y(I)-P(I)*Z(I-1))/B(I)
   X(I)=Z(N)
   N1=N-1
   DO 2 I=1,N1
   K=N-I
   2 X(K)=Z(K)-R(K)*X(K+1)/B(K)
   RETURN
   END

```

1

5

10





附錄 B . STEADY-STATE 水質 모델

1. 프로그램의 利用
2. PROGRAM LISTING



## 附錄 B . Steady - state 水質모델

### 1 . 프로그램의 利用

프로그램 PRINE와 subroutine PDQG는 河口의 水質모델을 形成하고 推定되는 汚染物質의 負荷에 따른 BOD와 DO의 河口 및 河川에서의 從的 分布를 計算한다. 또한 (1) 放流되는 BOD - 河川의 BOD, (2) 河川의 BOD - 河川의 DO, (3) 放流되는 BOD - 河川의 DO를 爲한 定常變移函數 (steady state transfer function)를 프린트한다.

本文의 式(52)의 解벡터 [ ]는 恒常 陽數이어야 한다. 그렇지 않은 境遇는 陰數值가 濃度가 되는데 即 陰數值의 BOD 및 DO를 갖든지 物理的으로 받아들일 수 없는 陽數值의 DO 濃度가 나오게 된다. steady state 水質모델을 自然河口에 適用하기 爲해서는 河口는 n個의 均質한 性格을 갖는 節片으로 나누어져야 하는데 上流側의 節片부터 河口入口쪽으로 1, 2...n의 順序가 된다. 프로그램의 入力資料는 下記와 같다.

모델의 入力資料

카드順序	Column	變 數	說 明
1		LABEL	題目 ( 80 個以下 Alphabet )
2		NJ	計算되어야 할 作業의 總數
每節片當	1 ~ 3	I	節片의 數
	4 ~ 11	QQ (I)	河川流入數 ( cfs )
	12~19	R (I)	再曝氣係數 ( 1/days )
	20~27	DD (I)	減衰係數 ( 1/days )
	28~35	V (I)	節片의 Volume ( $10^6 \text{ ft}^3$ )
	36~43	SK (I)	擴散係數 ( $\text{mi}^2/\text{day}$ )
	44~51	AREA (I)	上流側斷面積 ( $10^3 \text{ ft}^2$ )
	52~59	EL (I)	BOD放出量 ( lbs/day )
	60~67	F (I)	DO의 Source 와 Sink (lbs/day)
	68~75	C (I)	飽和溶存酸素量 ( $\text{mg}/\ell$ )

부록 B 2. Program Listing

```

5 DIMENSION A1(7,7),A2(7,7),A(7,7),A1E(7,7),AEL(7,7),LABEL(16)
   DIMENSION B1(7,7),B2(7,7),E(7,7),B2F(7),DOP(7),A3(7,7),TITLE(10)
   COMMON/JPT4/ALPHA,IT,KT,AREA(8),C(8),D(8),DO(6),E(6),EL(8) ,
   1 F(8),F(6),G(6),G(3),R(8),SK(8),SLEN(6),V(8),XI(8),M1,JEST
   DATA
   (ALPHA=1600),G)
   MAX=7
10 READ (5,10) LABEL
   WRITE (5,20) LABEL
   READ(5,30) NJ
   DO 100 JN=1,NJ
   REAC(5,50) TITLE(JN)
   WRITE(5,60) TITLE(JN)
   CALL PROG(MAX,A,A1,A2,A3)
   DO 1 I=1,MAX
   DO 1 J=1,MAX
   B1(I,J)=A1(I,J)*ALPHA
   B2(I,J)=A2(I,J)*ALPHA
   1 CONTINUE
   CALL MAMS(B1,EL,A1E,MAX,MAX,1,MAX)
   CALL MAMS(A,EL,AEL,MAX,MAX,1,MAX)
   CALL MAMS(E2,F,B2F,MAX,MAX,1,MAX)
   L10=11
25 CALL WRMAP(6,MAX,MAX,4HFIRS,4HRESP,4HMATR,B1,1,MAX,LABEL)
   CALL WRMAP(6,MAX,MAX,4HSECC,4HRESP,4HMAIR,B2,1,MAX,LABEL)
   CALL WRMAP(6,MAX,MAX,4HTKCS,4HTEMP,4HSPCN,A,1,MAX,LABEL)
   CALL WRMAP(6,MAX,1,1H,1F,4H*EL,AEL,1,MAX)
30 FORMAT(15A4)
27 FORMAT(1F1,20X,15A4/)
   DO 2 J=1,MAX
   2 DOP(J)=C(J)-AEL(J)-B2F(J)
   PRINT 30,LABEL,(J,A1E(J),E2F(J),AEL(J),C(J),DOP(J),J=1,MAX)
100 CONTINUE
35 FORMAT(1F1,20X,15A4//1F ,
   11X,7HSECTION,9X,16HAI*E SOC PROFILE,6X,19HSAURAT ICN DC(HC/L),9X
   25X19HA*E 2 SYST.OC PROF.,6X,19HSAURAT ICN DC(HC/L),9X
   316HFINAL OC-PROFILE//,1H ,(I3,5F25.2))
50 FORMAT(A10)
99 FORMAT(I5)
60 EN

```

18  
19  
20

PRIN 18

```
1 FUNCTION AMOD(X1, X2)
  Z=X1/X2
  IZ=Z
  Z=IZ
  AMOD=X1-IZ*X2
  END
```

```
1 SUBROUTINE MAMS ( A,B,C,L1,L2,L3,NRDIM)
  DIMENSION A(NRDIM,NRDIM),B(NRDIM,NRDIM),C(NRDIM,NRDIM)
  DO 2 I=1,L1
  DO 2 J=1,L3
  S=0.1
  DO 1 K=1,L2
  1 S=S+A(I,K) * B(K,J)
  2 C(I,J) = S
  RETURN
  END
```

MAMS  
MAMS

```

1          SUBROUTINE PDGG(MAX,A,A1,A2,A3)
          NEEDS TRIPS,MAHS-ANG COMMON/PDG/ALSO- WRVAT
          DIMENSION A(7,7),A1(7,7),A2(7,7),A3(7,7)
          COMMON/3ATA/ALPHA,IT,KT,AREA(8),C(3),D(8),DD(8),E(6),EL(8),
5          F(8),P(8),G(8),CG(8),R(8),SK(8),SLEN(8),V(8),XI(8),M1,JEST
          DATA
          WRITE(KT,30)
          M1=MAX+1
          DO 1 J=1,M1
10          READ(HF,10)I,CO(J),R(J),EO(J),V(J),SK(J),AREA(J),EL(J),F(J),G(J)
          PRINT 20,I,CQ(I),R(I),CO(I),V(I),SK(I),AREA(I),EL(I),F(I),C(I)
          PDGG 010
10          FORMAT(I3,9F3.0)
          PDGG 011
20          FORMAT(I13,F13.0,2F13.0,2F13.0,2F13.0,F13.3)
          PDGG 012
          DO 2 I=1,M1
15          CQ(I)=CQ(I)*86409.0
          AREA(I)=1300.0*AREA(I)
          PDGG 014
2          V(I)=V(I)*1.0E06
          DO 3 I=1,MAX
          SLEN(I) = 2.0*V(I)/(AREA(I) + AREA(I+1) )
          PDGG 016
3          CONTINUE
          E(I)=SK(I)*AREA(I)*2.78784E7/SLEN(I)
          DO 4 I=2,MAX
          E(I)=SK(I)*AREA(I)*5.5757E7/(SLEN(I-1)*SLEN(I))
          PDGG 018
          E(M1)=SK(M1)*AREA(M1)*2.7878E7/SLEN(MAX)
          DO 7 I=2,MAX
          RA=E(I)/CG(I)
          RB=E(I+1)/CG(I+1)
          IM=I-1
          XX = 1.0 - 0.5*( E(IM)/CG(IM) + RA)
          IF(RA-RB)5,5,6
          PDGG 020
5          XI(I)=1-RB
          GO TO 7C
          PDGG 022
6          XI(I)=AMAX1(.5,XX)
7          PRINT20,I,XI(I),E(I),CQ(I),RA,XX,SLEN(I),E(I+1),CG(I+1),RB
          PDGG 023
          PRINT 20,I,XI(I),E(I),CQ(I),RA,XX,SLEN(I),E(I+1),CG(I+1),RB
          PDGG 024
7          CONTINUE
          XI(I)=1.0-.5*E(I)/CG(I)
          XI(M1)=.5
          E(M1)=E(PAX)
          DO 78 I=1,M1
          PDGG 026

```



```

45 IF (XI(I)-0.5) 73,72,72
73 PRINT 79,I,XI(I)
   XI(I) = 0.5
   GO TO 73
72 IF (XI(I)-1.0) 78,78,74
74 PRINT 79,I,XI(I)
   XI(I)=1.0
78 CONTINUE
79 FORMAT (17H DIF. COEF. JEST I3,F10.5)
   DO 71 I=1,MAX
   IP=I+1
   Q(I)=-CC(IP)*(1.0-XI(I))+CC(IP)*XI(IP)+E(I)+E(IP)
   Q(I)=CC(IP)*(1.0-XI(IP))-E(IP)
   P(I) = -CC(IP) * XI(IP) - E(IP)
   PRINT 129,I,P(I),E(I),Q(I),V(I),CC(I),R(I),QQ(I),SLEN(I),E(I)
74 CONTINUE
   DO 14 JEST=1,2
   DO 11 I=1,MAX
   GO TO (8,9), JEST
   Q(I) = Q(I) + QD(I) * V(I)
   GO TO 110
   Q(I)=Q(I)+(R(I)-QD(I))*V(I)
110 CONTINUE
   PRINT 20,I,P(I),Q(I),Q(I),V(I),CC(I),R(I),QQ(I),SLEN(I),E(I)
   PRINT 129,I,P(I),Q(I),Q(I),V(I),CC(I),R(I),QQ(I),SLEN(I),E(I)
11 CONTINUE
   GO TO (12,13),JEST
12 CALL TRICS (P,D,0,MAX,A1,MAX)
   GO TO 14
13 CALL TRICS(P,D,Q,MAX,A2,MAX)
   DO 15 I=1,MAX
   FAC = ALPHA*EQ(I)*V(I)
   DO 15 K=1,MAX
15 A3(K,I)=FAC*A2(K,I)

```

P000 026  
P000 027  
P000 028  
P000 029

P000 032  
P000 033  
P000 034  
P000 035

```

75 .....16 CONTINUE ..... P006 044
14 .....14 CCNTINUE ..... P006 045
.....120 FORMAT (16,9E13,3) ..... P006 047
.....36 .....CALL MAMS(A3, A1, A, MAX, MAX, MAX, MAX) ..... P006 048
.....17X6HVOLUME,4X9HD IFF.RATE,9X4HAREA,6X7HL-LOADS,6X7HF-LCADS
.....2 4X9HD.0. SAT./21X5HC.F.S.2(5X6H1.0/DAYS)5X8HCF*1.0E65X8HMI 2/DAY, P006 047
.....33X13H100(*5F**2,6X7HLB./DAY,6X7HLB./DAY,6X4HMG/L/) P006 048
.....RETURN
.....END

```

```

1 SUBROUTINE TRIDS (P,D,Q,M,1,NAX)
C DIMENSION F(6),B(8),D(8),A(7,7),S(7),T(7),B(7),X(7),IC(7)
C P006 VERSION
C THIS VERSION PRINTS INPUT TRIANGNAL BEFCRE VERSION
3 ID(1)=4HFIRS
ID(2)=4HSECC
MAX=M
N=NAX
10 DO 12 I=1,NAX
DO 12 K=1,NAX
12 A(I,K) = 0.0
DO 13 I=1,MAX
13 A(I,I)=D(I)
MA=MAX-1
DO 14 I=1,MA
II=I+1
A(I,II)=G(I)
A(II,I)=F(I)
14 CALL WRMAT(6 ,MAX,MAX, IJ(JES),4HMATR,4HINPU,A,1,N)
DO 1 N=1,M
1 B(N)=1.
DO 5 N=1,M
B(N)=1.0
S(1)=D(1)
T(1)=B(1)
25 DO 2 I=2,M
J=I-1
S(I)=B(I)-P(J)*Q(J)/S(J)
2 T(I)=B(I)-P(J)*T(J)/S(J)
30 X(M)=T(M)/S(M)
MN=M-1
DO 3 I=1,M
L=M-I
3 X(L)=(T(L)-G(L)*X(L+1))/S(L)
35 DO 4 K=1,M
4 A(K,N) = X(K)
5 B(N) = 0.0
CALL WRMAT(6 ,MAX,MAX,3HTRI,2HEI,3HINV,A,1,NAX)
RETURN
END
40

```

P006  
TRIDS 14

TRIDS 3

TRIDS

TRIDS 6  
TRIDS 5

TRIDS 10

```

1      SUBROUTINE WRMAP(NTAPE, NR, NC, IDENT, BCD1, BCD2, J, NTEST, NRCIM, LABEL)  WRMAP 01
      DIMENSION U(7), JK(8), LABEL(16)
      COMMON/JAFA/ALPHA, IT, KT, AREA(8), C(6), D(8), DD(8), E(8), EL(3),
1 F(8), P(6), Q(5), RC(8), R(3), SK(5), SLEN(8), V(8), XI(6), M1, JEST
5      200 FORMAT(1F)
      300 FORMAT(1F1, E6X, 16A4/1H0, 33X, A4, A4, A4 /1H0, 7(3X, I3))
      300 FORMAT(1F, I3, 1X, 7E11.3, 2X, I3)
      DO 11 J = 1, NC, 7
      20 2 M = 1, 7
      30 JK(M) = J + M + NTEST - 2
      40 11 I = 1, NR
      50 IJ = NRDIM*(J-1) + I
      60 IJPS = NRDIM*(J+8) + I
      70 IJNC = NRCIM*(NC-1) + I
      80 JMAX = MINC(8, NC-J+1)
      90 IRI = I - 1 + NTEST
      100 IM1 = I - 1
      110 XI = IM1
      120 XAMC = AMOC(X1, 50.0)
      130 IF (XAMC) 3, 3, 4
      140 3 WRITE(NTAPE, 80) LABEL, IDENT, BCD1, BCD2, (JK(M), M=1, JMAX)
      150 4 XAM1 = AMOC(X1, 7.0)
      160 IF (XAM1) 7, 7, 8
      170 7 WRITE(NTAPE, 200)
      180 9 IF (IJPS - IJNC) 30, 30, 20
      190 30 WRITE(NTAPE, 300) IRI, (U(K), K=IJ, IJNC, NRCIM), IRI
      200 GO TO 11
      210 20 WRITE(NTAPE, 300) IRI, (U(K), K=IJ, IJNC, NRCIM)
      220 11 CONTINUE
      230 RETURN
      240 END

```

```

WRMAT006
WRMAT007
WRMAT008
WRMAT009
WRMAT010
WRMAT011
WRMAT012
WRMAT014
WRMAT015
WRMAT017
WRMAT020
WRMAT022
WRMAT024
WRMAT025
WRMAT026

```

```

1  SUBROUTINE WRMAT (NTAPE, NR, NG, ECG1, ECG2, IDENT, U, NTEST, NRDIM) WRMAT001
   DIMENSION U(7), JK(8)
   COMMON/DATA/ALPHA, IT, KT, AREA(8), C(8), D(8), DD(8), E(8), EL(8),
1  F(8), P(8), G(8), GG(8), R(8), SK(8), SLEN(8), V(8), XI(8), M1, JEST
   INTEGER ECG1, ECG2
   30  FORMAT (1H1, 56X, A4/1H0, 53X, A4, A4/1H0 , 7(6X, I3))
   200  FORMAT (1H )
   300  FORMAT(1F, I3, 1X, 7E11.3, 2X, I3)
10  DO 11 J = 1, NC, 7
   DO 2 M = 1, 7
2  JK(H) = J + M + NTEST - 2
   DO 11 I = 1, NR
   IJ = NRDIM*(J-1) + I
   IJP9 = NRDIM*(J+9) + I
   IJNC = NRDIM*(NC-1) + I
   JMAX = MINC(8, NC - J + 1)
   IR1 = I - 1 + NTEST
   IM1 = I - 1
   XI = IM1
   XMF = AMCO(X1, 50.3)
   IF(XMF) 3, 3, 4
3  WRITE(NTAPE, 80) IDENT, ECG1, ECG2, (JK(M), M=1, JMAX)
4  XAMI = AMOC(X1, 7.0)
   IF(XAMI) 7, 7, 8
7  WRITE(NTAPE, 200)
8  IF (IJP9 - IJNC) 30, 30, 20
30  WRITE(NTAPE, 300) IR1, (U(K), K=IJ, IJNC, NRDIM), IR1
   GO TO 11
20  WRITE(NTAPE, 300) IR1, (U(K), K=IJ, IJNC, NRDIM)
11  CONTINUE
   RETURN
END)

```

WRMAT001

WRMAT008  
WRMAT009  
WRMAT010  
WRMAT011  
WRMAT012WRMAT014  
WRMAT015

WRMAT020

WRMAT022

WRMAT024  
WRMAT025  
WRMAT026

附錄 C . 海 中 放 流 管 模 型

1. 프로그램의 人力資料
2. PROGRAM LISTING

Handwritten text, possibly a signature or a set of notes, located in the upper middle section of the page. The text is faint and difficult to decipher.

附錄 C. 海中放流管 모델

1. 프로그램의 入力資料

G(k), H(k)	大腸菌濃度 計算地点의 x, y 座標(m)
W(k), A(k)	風速 (cm/sec) 및 風向 (北으로부터 時計方向角度)
E(k), F(k)	風速의 x, y 方向 分速 (cm/sec)
Q(k)	0.5×(k-1) 時間前에 放流된 下水量(m <sup>3</sup> )
R(k)	0.5×(k-1) 時間前에 放流된 下水域의 直径(m)
J(k)	0.5×(k-1) 時間前에 放流된 下水域內의 大腸菌數
X(k), Y(k)	0.5×(k-1) 時間前에 放流된 下水域의 中心에서 의 座標(m)
P(k)	0 : 下水域이 海岸線에 到達하기 前 1 : 下水域이 海岸線에 到達한 後
Q1	流量 ( m <sup>3</sup> / sec )
D	放流管直径(m)
Y	放流地点의 水深(m)
L0	下水의 密度 ( ton/m <sup>3</sup> )
L1	海水의 密度 ( ton/m <sup>3</sup> )
H1	下水域의  두께(m)
F	Densimetric Fronde Number
U5	下水의 放出速度 ( m/sec )
T8	潮流計算을 爲한 基準時間 ( 시간 )
U, V	潮流의 x, y 方向 分速 ( cm / sec )
S	停滯한 海水中에서 의 下水의 稀積比



A8	호르는 海水中에서의 下水의 稀积比
M	下水分布의 標準偏差(m)
C	沈澱시킨 下水의 大腸菌濃度
W	下水의 拡散速度 ( m/sec )
D5, D6	日出 및 日没時間
K1	大腸菌의 減少常數
S (k)	海岸에서의 大腸菌濃度 ( per 100ml )
A9, B9	t 時間前 下水域中心의 x, y 座標(m)
L(k), O(k)	K海域의 潮流의 x, y 方向分速 ( cm / sec )
D2, D4	半日週, 1/4 日週潮의 軸의 角度
A2, A4	半日週, 1/4 日週潮의 振幅
K2, K4	半日週, 1/4 日週潮의 遲角
D0, A0	恒流의 方向 및 流速 ( cm / sec )
G2, H2	바람이 일으킨 海流의 x, y 分速 ( cm / sec )
Z	風向으로부터 誘導된 海流의 時計方向 角度
M2, M4	半日週, 1/4 日週潮의 流速 ( cm / sec )

부록 C 2. Program Listing

```

PUNCH
0010 DIM G(3),H(3),W(40),A(40),E(40),F(40),O(144),P(144)
0015 DIM S(3),L(3),Q(3)
0020 DIM J(144),X(144),Y(144),P(144)
0030 LET T6=72
0040 LET B1=12
0050 LET T8=4.8
0060 PRINT "TIME", "WIND X", "WIND Y"
0061 FOR K=1 TO 3
0062   READ G(K),H(K)
0063 NEXT K
0064 DATA 300,1000,-2300,-4200,7000,-4300
0066 REM WIND VELOCITY
0070 FOR K=1 TO B1
0080   READ W(K),A(K)
0090   LET E(K)=-W(K)*COS((90-A(K))/57.2958)
0110   LET F(K)=-W(K)*SIN((90-A(K))/57.2958)
0120   LET K5=6*K
0130   PRINT K5,E(K),F(K)
0140 NEXT K
0150 DATA 620,0,620,0,620,0,620,0
0160 DATA 1070,0,1070,0,1070,0,1070,0
0170 DATA 700,0,700,0,700,0,700,0
1000 LET B1=48
1010 FOR K=1 TO B1
1020   LET P(K)=0
1030   LET Q(K)=0
1040   LET R(K)=0
1050   LET J(K)=0
1060 NEXT K
1061 LET D=.6
1062 LET Y=20
1063 LET L0=.9995
1064 LET L1=1.02473
1065 LET H1=1.3*Y/(12*D)
1066 LET W=54
1067 LET K3=1
1068 LET D5=6
1069 LET D6=13
1070 LET A1=1
1080 LET T=0
1090 LET I=2*(T+.5)
1091 LET T3=T-T8
1093 REM CURRENT
1095 GOSUB 3000
1100 LET T1=T-.25
1110 LET Q1=.56+.23*SIN(6.2832*(T1+12)/24)
1170 LET F=4*Q1/(3.1416*SQR(9.81*(L1-L0)/L0*D+5))
1180 IF Y/D<.39*F THEN GOTO 1210
1190 LET S=.54*F*(.38*Y/(D*F)+.63)/(5/3)
1200 GOTO 1220
1210 LET S=.54*F*(Y/(D*F))/(7/16)

```

```

1220 LET U5=4*Q1/(3.1416*D*2)
1240 LET U=L[2]
1245 LET V=O[2]
1250 LET W1=SQR(U*2+V*2)
1254 PRINT
1255 PRINT "CURRENT"
1260 PRINT "ZONE 1",L[1],O[1]
1261 PRINT "ZONE 2",L[2],O[2]
1262 PRINT "ZONE 3",L[3],O[3]
1270 LET E=W1/(U5*100)
1280 LET A8=S*10*(.938*LOG(E)/LOG(10)+1.107)/1.7
1290 IF A8=>S THEN GOTO 1310
1300 LET A8=S
1310 LET Q[1]=Q1*60*60*.5
1320 LET M=SQR(A8*Q[1]/(3.1416*H1))
1330 LET R[1]=2*M
1340 PRINT "TIME",T,"SEWAGE IN PATCH",Q[1]
1350 LET C=2E+11
1360 LET J[1]=C*Q[1]
1410 LET P1=INT(T/24)
1420 LET T2=T-24*P1
1430 IF T2-.5=>D5 THEN IF T2-.5<D6 THEN GOTO 1460
1440 LET K1=.046
1450 GOTO 1470
1460 LET K1=.767
1470 FOR K=1 TO 3
1480 LET S[K]=0
1490 NEXT K
1500 LET A5=43
1510 IF A1<43 THEN LET A5=A1
1520 PRINT "PATCH NO", "X", "Y", "R", "C AT CENTER"
1530 FOR K=1 TO A5
1540 IF K<1 THEN LET J[K]=J[K]*EXP(-K1*.5)
1550 IF J[K]<7E+9 THEN GOTO 1950
1560 IF K=1 THEN GOTO 1830
1570 LET D9=1/(1-Q[K]/(3.1416*R[K]*2*H1))*(1-L0/L1))-1
1580 LET V1=K3*SQR(D9*9.81*H1)*60*60
1590 IF V1<2*W THEN GOTO 1630
1600 LET R1=.5*V1
1610 LET PCK]=R[K]+P1
1620 GOTO 1650
1630 LET PCK]=PCK]+.5*W*2
1650 IF PCK] THEN GOTO 1843
1660 LET A9=X[K]
1670 LET E9=Y[K]
1680 LET A7=1
1690 IF Y[K]>-X[K]-1000 THEN GOTO 1700
1692 LET U=L[1]
1694 LET V=O[1]
1696 GOTO 1720
1700 IF Y[K]<2*X[K]-9000 THEN GOTO 1710
1702 LET U=L[2]

```

```

1704 LET V=0[2]
1706 GOTO 1720
1710 LET U=L[3]
1712 LET V=0[3]
1720 LET X[K]=A9+.5*U*36
1730 LET Y[K]=B9+.5*V*36
1740 IF Y[K]>3*X[K] THEN IF Y[K]>.625*X[K] THEN GOTO 1790
1750 IF Y[K]<-X[K]-6500 THEN GOTO 1790
1760 IF Y[K]<12*X[K]/11-12000 THEN GOTO 1790
1780 GOTO 1843
1790 LET X[K]=A9
1800 LET Y[K]=B9
1810 LET P[K]=1
1820 GOTO 1843
1830 LET X[1]=3000
1840 LET Y[1]=0
1843 LET T5=.5*R[K]/W
1850 LET S0=J[K]/(3.1416*W*2*H1*T5+2)
1860 FOR N=1 TO 3
1870 LET G1=-(G[N]-X[K])*2-(H[N]-Y[K])*2
1880 LET S1=S0*EXP(G1/(W*2*T5+2))/10000
1890 LET S[N]=S[N]+S1
1900 NEXT N
1920 LET S2=C*Q[K]/(3.1416*W*2*H1*T5+2)/10000
1930 LET S3=S0/10000
1940 PRINT K,X[K],Y[K],P[K],S2
1950 NEXT K
1960 PRINT "TIME", "ST. A", "ST. B", "ST. C"
1970 PRINT T, S[1], S[2], S[3]
1972 PRINT
1975 IF A5=43 THEN LET A5=47
1980 FOR K=A5 TO 1 STEP -1
1990 LET Q[K+1]=Q[K]
2000 LET P[K+1]=P[K]
2010 LET J[K+1]=J[K]
2020 LET X[K+1]=X[K]
2030 LET Y[K+1]=Y[K]
2035 LET P[K+1]=P[K]
2040 NEXT K
2050 LET T=T+.5
2060 IF A1<B1 THEN LET A1=A1+1
2070 IF T<T6 THEN GOTO 1290
2095 PEM CALCULATION OF CURRENT
2098 PEM MAJOR AXIS
3000 LET D2=301/57.2958
3010 LET D4=355.5/57.2958
3020 LET A2=3.6
3030 LET A4=6.8
3040 LET K2=4
3050 LET K4=3.46
3060 GOSUB 6000
3070 LET U2=U

```

```

3080 LET V3=V
3085 REM  MINOR AXIS
3090 LET D2=31/57.2958
3100 LET D4=265.5/57.2958
3110 LET A2=2
3120 LET A4=.8
3130 LET K2=4.79
3140 LET K4=3.85
3150 GOSUB 6000
3160 LET U=U3+U
3170 LET V=V3+V
3175 REM  BASIC CURRENT
3180 LET D0=312/57.2958
3190 LET A0=14.1
3200 LET U=U-A0*SIN(D0)
3210 LET V=V-A0*COS(D0)
3215 REM  WIND CURRENT
3220 LET M=INT(I-1)/12+1
3230 LET Z=42/57.2958
3240 LET G2=.015*(E[M]*COS(Z)+F[M]*SIN(Z))
3250 LET H2=.015*(-E[M]*SIN(Z)+F[M]*COS(Z))
3260 LET L[1]=U+G2
3270 LET O[1]=V+H2
4000 LET D2=294/57.2958
4010 LET D4=42/57.2958
4020 LET A2=4.5
4030 LET A4=3.7
4040 LET K2=.73
4050 LET K4=5
4060 GOSUB 6000
4070 LET U3=U
4080 LET V3=V
4090 LET D2=24/57.2958
4100 LET D4=310/57.2958
4110 LET A2=2.7
4120 LET A4=.9
4130 LET K2=4.66
4140 LET K4=5.39
4150 GOSUB 6000
4160 LET U=U3+U
4170 LET V=V3+V
4180 LET D0=26/57.2958
4190 LET A0=2.9
4200 LET U=U-A0*SIN(D0)
4210 LET V=V-A0*COS(D0)
4220 LET M=INT(I-1)/12+1
4230 LET Z=42/57.2958
4240 LET G2=.015*(E[M]*COS(Z)+F[M]*SIN(Z))
4250 LET H2=.015*(-E[M]*SIN(Z)+F[M]*COS(Z))
4260 LET L[2]=U+G2
4270 LET O[2]=V+H2

```

```

5000 LET D2=309/57.2953
5010 LET D4=260/57.2953
5020 LET A2=8.3
5030 LET A4=1.5
5040 LET K2=2.57
5050 LET K4=2.41
5060 GOSUB 6000
5070 LET U3=U
5080 LET V3=V
5090 LET D2=39/57.2953
5100 LET D4=350/57.2953
5110 LET A2=3.2
5120 LET A4=2.1
5130 LET K2=1.78
5140 LET K4=0.02
5150 GOSUB 6000
5160 LET U=U3+U
5170 LET V=V3+V
5180 LET DC=158/57.2953
5190 LET A6=3
5200 LET U=U-AC+SIN(C10)
5210 LET V=V-AC*COS(C10)
5220 LET M=INT((I-1)/4)+1
5230 LET Z=42/57.2953
5240 LET G2=.015*(E011*COS(Z)+E011)*SIN(C10)
5250 LET H2=.015*(-E011*SIN(Z)+E011)*COS(C10)
5260 LET L[3]=U+G2
5270 LET O[3]=V+H2
5280 LET A7=0
5290 RETURN
5990 REM M2 TIME M4 TIME
6000 LET M2=A2*COS(.5236+T3-K2)
6010 LET M4=A4*COS(1.0472+T3-K4)
6020 LET U2=-M2*SIN(D2)
6030 LET U4=-M4*SIN(D4)
6040 LET V2=-M2*COS(D2)
6050 LET V4=-M4*COS(D4)
6060 LET U=U2+U4
6070 LET V=V2+V4
6080 RETURN
6100 END

```

