

黃海沿岸海域의 物質擴散에 關하여 Diffusion in Coastal Waters of the Yellow Sea

李宗燮* · 金次謙* · 張善德* · 金鍾鶴**

Jong Sup Lee*, Cha Kyum Kim*, Sun Duck Chang* and Chong Hak Kim**

要 旨 : 西海岸에 위치한 泰安近海에서 大潮期 때 流動特性 및 物質擴散을 연구하기 위해서 潮流, 染料雲 및 溫排水의 확산에 대한 現場觀測, 水理實驗 및 數值實驗을 실시하였다. 現場觀測, 水理 및 數值實驗에 의한 流況은 상호간에 대체로 잘 일치하였다. 現場에서 潮流는 海안선을 따라 落潮流時에는 南西方向으로, 漲潮流時에는 北東方向으로 탁월하게 흐르고, 대상영역내 최대유속은 WSW 방향으로 2.13 m/s로 관측되었다. 現場에서 유속관측치로부터 구한 Eulerian 擴散係數는 $7.82 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이다. 水理模型에서 染料雲의 面積으로부터 구한 擴散係數는 $0.18r^{4/3}$ 이며, 그 크기는 $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로서 現場에서 Eulerian 擴散係數와 비슷하게 나타났다. 模型實驗에 의한 當 海域의 擴散係數는 남해안에 위치한 進海灣에서 구한 擴散係數보다는 2~3 order, 동해안에 위치한 온산灣에서 구한 확산계수보다는 1~2 order 크게 나타났다. 和田(1975)의 2차원 수치모델을 적용한 결과 얻어진 온배수의 확산양상은 水理實驗에 의한 염료의 확산양상과 유사하게 나타났다. 수리실험 및 수치실험 결과에 의하면, 태안해역의 물질확산은 창조류 때보다 낙조류 때 탁월하게 일어났다.

Abstract □ To investigate the flow patterns and diffusions in the Taean coastal waters of the eastern Yellow Sea, hydraulic and numerical experiments of tidal currents and diffusions of dye and cooling water were performed during spring tide along with field observations. Flow patterns obtained by the hydraulic and numerical experiments approximately coincide with those of the field observations. In the field observations of tidal current, currents flow southwestward during the ebb tide, while currents flow northeastward during the flood tide, and the maximum velocity is 2.13 m/s toward WSW direction. The Eulerian diffusion coefficient estimated from field measurements of current is $7.82 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$. Diffusion coefficients obtained from the area of dye plume in the model are given by the expression $0.18r^{4/3}$, and the coefficients have the range of $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$. These values are similar to the Eulerian diffusion coefficient estimated from field measurements. Diffusion coefficients obtained in the hydraulic model are one to two orders higher than those obtained in the Onsan Bay in the eastern waters and two to three orders higher than those obtained in the Chinhae Bay in the southern waters of the Korean Peninsula. Diffusion patterns of cooling water by numerical experiments are similar to those of dye plume by hydraulic experiments. Both hydraulic and numerical experiment results of diffusions of dye plume and cooling water in the Taean coastal waters, have shown that the diffusion during the ebb tide is more prevalent than one during the flood tide.

1. 緒 論

최근 산업경제의 발전으로 인해 臨海工業團地, 火力 및 原子力 發電所가 많이 건설되고 있다. 이들 工業團地로부터 배출되는 工場廢水나 화력 및 원자력 발전소로부터 방출되는 溫排水는 주변해역의 해양환경 및 생태계에 큰 영향을 미치고 있어 사회적으로 관심이 집중되고 있다.

해양에서 擴散현상에 영향을 미치는 요소로는 潮流, 海流, 沿岸流, 吹送流, 密度流 및 波浪 등이 있으나, 沿岸에서는 주로 潮流에 의해 지배되고 있다. 潮流 및 擴散문제를 해석하는 데는 現場觀測, 數值模型實驗

*釜山水產大學校 海洋工學科 (Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

**韓國電力公社 技術研究院 土建研究室 (Architecture and Civil Department, Research Center of Korea Electric Power Corporation, Daejeon 300-200, Korea)

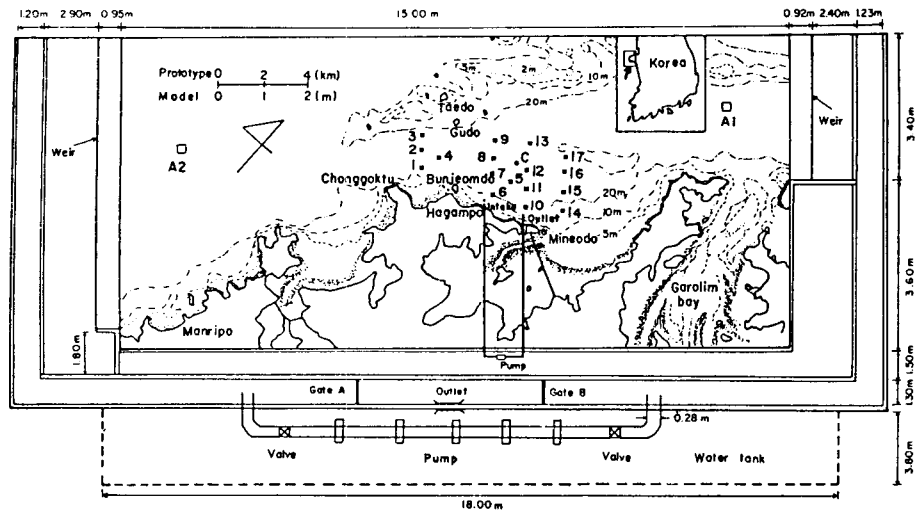


Fig. 1. Schematic diagram of experimental facilities.

및 水理模型實驗에 의한 방법이 있다. 현장관측은 많은 경비, 시간 및 노력이 소요될 뿐만 아니라, 주변해안의 매립 등으로 인한 해수유동 및 확산현상을 예측할 수 없다. 그러나, 數值模型 및 水理模型實驗은 주변 해역의 변화에 따른 해수유동 및 확산현상을 예측할 수 있고, 現場觀測보다 시간, 경비 등을 절약할 수 있다. 수리모형실험과 수치모형실험 사이에는 상호간의 長·短點이 있으나, 서로 보완하여 사용하는 것이 가장 바람직하다.

Simmons(1969), O'Connell *et al.*(1963) 및 Bailey *et al.*(1966) 등은 매립으로 인한 流動 및 擴散 변화를 水理模型實驗에 의해 예측하기 위해 연직축척과 수평축척의 비가 약 1:5~1:13 인 歪率模型(Distorted model)을 사용하여 유동장의 相似性을 검증한 후 산업 및 농업폐수의 확산에 대한 실험을 하였다. 또한, Sugimoto(1974)와 柳·樋口(1980)는 조류장에서의 확산현상을 재현하기 위해 시간축척과 연직축척을 수평축척의 2/3승으로 하였다.

潮流 및 擴散에 관한 수치모델로는 Waldrop and Farmer(1974), 和田(1975, 1981), Leendertse *et al.*(1975, 1977), Wolanski and Banner(1978), 堀口等(1977, 1979), Sheng(1983, 1987), Falconer and Cox(1989) 및 金(1982) 등의 모형이 있다.

本 研究에서는 조류가 탁월한 韓國 黃海岸의 泰安 海域(Fig. 1)을 대상으로 하여 現場觀測, 水理 및 數值實驗을 통해 당 해역의 潮流 및 物質擴散特性에

관하여 논의하였다. 當 海域은 海岸線이 北東-南西 방향으로 發達되어 있고, 鶴岩浦 海岸으로부터 약 3~4 km 外海에는 水深이 아주 얇은 淺堆가 北東~南西 方向으로 잘 발달되어 있으며 학암포 해안에는 넓은 모래 사장이 형성되어 있고, 민어포 해안에는 泥土로 형성된 넓은 간석지가 발달되어 있다. 확산계수의 추정을 위하여 현장관측 결과를 토대로 조류장에 대한 수리실험을 한 후 瞬間點源放出에 의한 염료확산실험을 실시하였다. 模型에서 染料雲의 分布面積에 의한 擴散係數를 산정하여 현장에서 유속관측치로부터 산정한 Eulerian 擴散係數 및 他 海域에서 染料雲의 面積으로부터 구한 擴散係數와 비교·검토하였으며, 流動場을 數值實驗으로 再現하여 現場觀測 및 水理實驗 結果와 상호 비교·검토한 후 운배수 확산에 대한 數值實驗을 행하였다.

2. 現場觀測

海水流動을 알아보기 위해 1989년 4월 20일~21일 大潮期(月令 14.0~15.0)에 Fig. 1의 St.4~St.15에서 DPCM-4 자기유속계를 사용하여 層別流速을 측정하였고, St.10의 중간층에서는 12시간 連續流速을 측정하였다. St.10에서 連續流速觀測結果(Fig. 2)에 의하면, 潮流는 漲潮流시에는 40°~65°(北東) 방향으로 탁월하게 일어났고, 落潮流시에는 220°~255°(南西) 방향으로 탁월하게 일어났다. 1989년 4월 20일 St.6에서

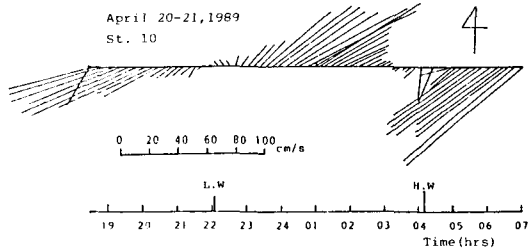


Fig. 2. Stick diagram of current vectors at the middle layer of St.10 at 0.8 km north of Mineodo during spring tide.

Drogue 2개를 사용한 浮標追跡實驗結果(Fig. 3)에 의하면 浮標의 평균이동속도는 落潮流시에는 약 81.9 cm/s, 漲潮流시에는 약 68.5 cm/s이었다. 浮標는 漲潮流시에는 北東방향으로, 落潮流시에는 南西방향으로 海岸선과 거의 평행한 방향으로 이동하였다.

鶴岩浦에서 1개월간(1986년 4월 1일~4월 30일) 觀測한 潮位觀測資料에 의하면 大潮差는 642.2 cm, 平均潮差는 460.0 cm, 小潮差는 277.8 cm이고, 潮汐 형태수는 0.21로서 半日週潮가 卓越하다(韓國海洋技術, 1987).

3. 水理模型實驗

3.1 相似法則

본 연구에서는 조류와 확산현상의 相似率을 얻기 위하여 Richardson의 상대확산이론에 의한 확산계수의 상사와 조류장에 대한 Froude 相似法則을 만족시키기 위해 水平縮尺에 대한 鉛直縮尺의 比를 구하고, 이로부터 제반 물리적 인자들의 縮尺比를 式 (1)과 같이 구하였다.

$$t_r = h_r = X_r^{2/3}, U_r = X_r^{1/3}, Q_r = X_r, C_r = X_r^{-1/3} \quad (1)$$

여기서, t_r = 시간축척; h_r = 연직축척; X_r = 수평축척; U_r = 유속축척; Q_r = 유량축척; C_r = 저면마찰계수 축척이다. 본 실험에서는 수평축척을 1/2,000로 하였으며, 이에 대한 각 물리적 인자들의 원형과 모형사이의 축척비는 Table 1과 같다.

3.2 實驗方法

本 實驗裝置의 概要는 Fig. 1과 같다. 실험내용은 大潮期 漲, 落潮流 最强流速時와 中間流速時에 流速,

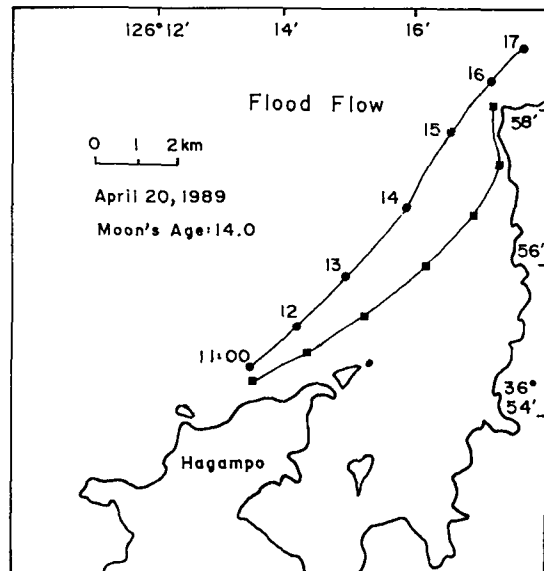
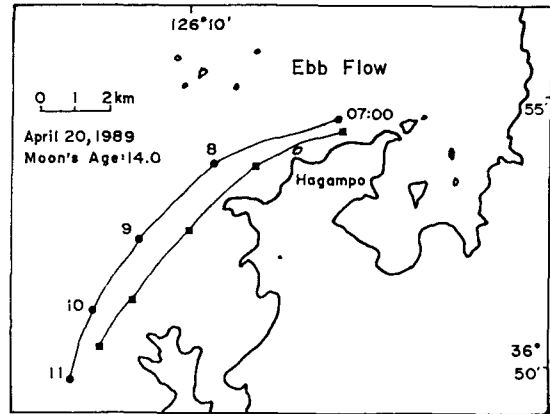


Fig. 3. Drogue tracks in the field during spring tide.

Table 1. Physical parameters in the prototype and model

Parameter	Scale	Prototype	Model
Distance	1/2,000	30×14 km ²	15×7 m ²
Water depth	1/159	50 m	31.5 cm
Tidal range	1/159	6.4-2.8 m	4.0-1.7 cm
Tidal period	1/159	12 ^h 25m	4 ^{min} 41 ^s
Velocity	1/12.6	2 m/s	16 cm/s
Discharge	1/(4×10 ⁶)	100 m ³ /s	25 cm ³ /s

流向, 浮標追跡 및 瞬間點源放出에 의한 染料擴散實驗이다. 측정방법으로 流速은 St.1~St.17에서 프로펠러형 C-510AP 精密流速計로 10초 간격으로 2분간

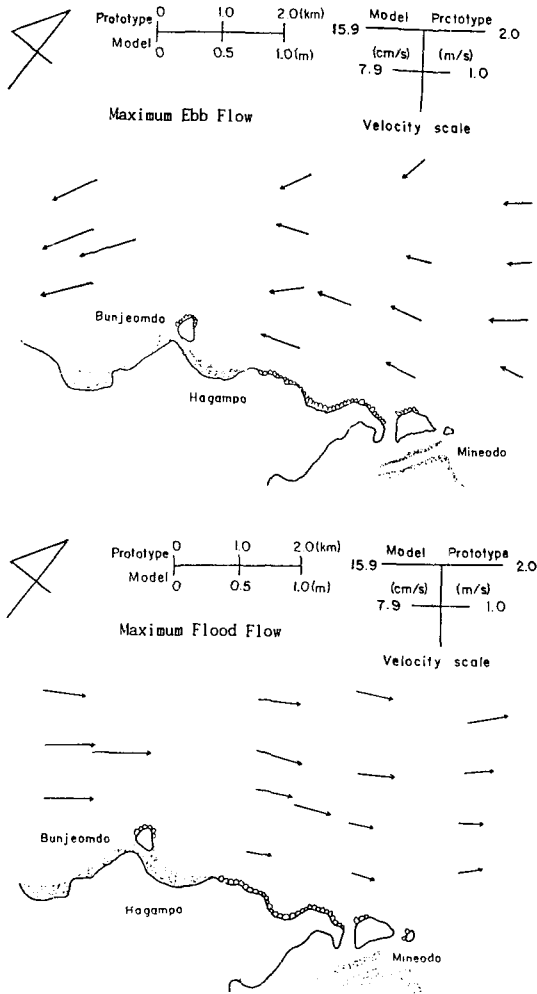


Fig. 4. Flow patterns in the model during spring tide.

측정하여 평균하였고, 流向은 각 측정점의 저층에 태프트(길이 10 cm, 폭 1 cm)를 설치하여 자동카메라와 비디오카메라로 촬영하여 해석하였다. 浮標追跡은 비디오카메라로 측정하여 VTR로 분석하였다. 瞬間點源放出에 의한 染料擴散은 大潮期 漲·落潮流 最強流速時에는 St.10에, 中間流速時에는 St.C에 Rhodamine B 5% 용액 0.5 ml를 스포이더로 순간점원방출하여 자동카메라로 0.85초(원형에서는 135.2초)간격으로 연속 촬영하였다.

3.3 實驗結果 및 考察

1) 流況分布

大潮期 最強流速時와 中間流速時의 흐름의 양상이

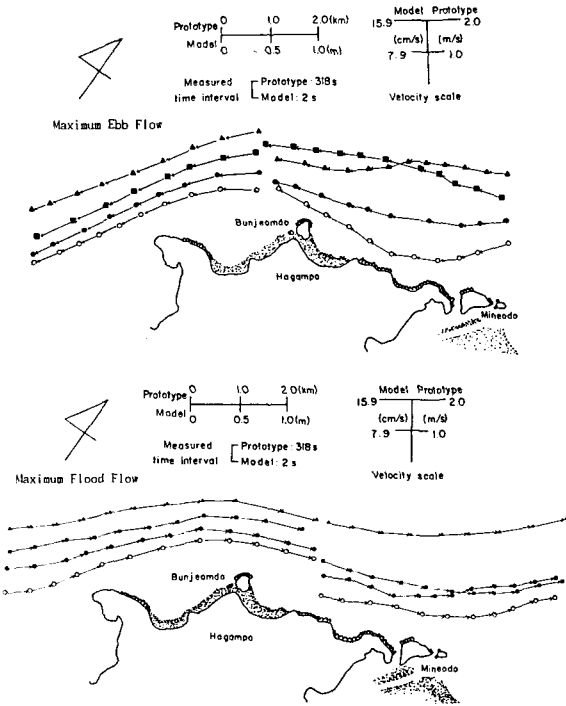


Fig. 5. Drogue tracks in the model during spring tide.

비슷하게 나타났기 때문에 최강류속시에 측정한 결과만 수록하였으며, 정밀유속계로 측정한 流況은 Fig. 4와 같다. 流向은 낙조류시에는 南西방향, 漲조류시에는 北東방향으로 탁월하게 나타났다. 流速은 分點島 전방의 St.1~St.4에서 가장 크게 나타났으며, 그 크기는 약 200~210 cm/s이다. 落·漲潮流 中間流速時의 실험결과에서도 최대유속은 分點島 전방에서 측정되었으며, 그 크기는 약 100 cm/s이다. 이와 같이 최대 유속이 分點島 전방에서 일어나게 된 것은 분점도와 구도사이에 좁은 수로가 형성되어 있기 때문인 것으로 생각된다.

당 해역의 전반적인 流況을 가시화하기 위해 浮標追跡實驗을 하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다. 浮標의 이동은 해안선을 따라 落潮流時에는 南西방향, 漲潮流時에는 北東방향으로 일어났으며, 특히, 분점도 전방에서 浮標의 순간 변위가 가장 크게 나타났다. 浮標의 평균이동속도는 落·漲潮流 最強流速時에는 110~130 cm/s, 落·漲潮流 中間流速時에는 50~70 cm/s이었다.

2) 染料擴散

당 해역의 擴散패턴 및 擴散係數를 산정하기 위해

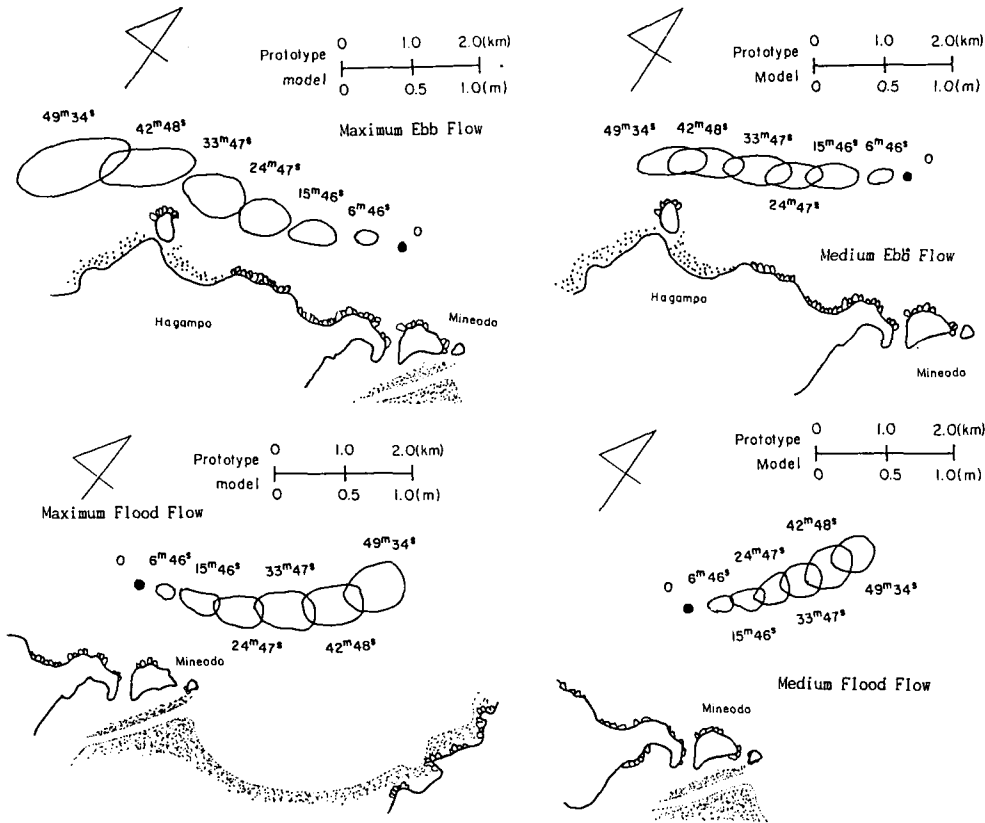


Fig. 6. Changes of area with time of dye plume by instantaneous point sources in the model during spring tide.

大潮期 落·漲潮流 最強流速時와 中間流速時에 각각 St.10과 St.C에서 Rhodamine B 5% 용액 0.5 ml를 순간점원방출하여 염료확산실험을 하였다(Fig. 6). 확산되는 染料雲의 長軸방향은 Fig.5에 나타난 浮標의 이동경로와 거의 일치되었고, 落潮流時의 확산은 漲潮流時보다 빠르게 일어났다. 이와 같이 낙조류시가 창조류시보다 확산속도가 빠른 것은 방출점을 기준으로 南西방향의 流速은 빠르고, 北東방향의 流速이 느린 것이 주된 원인이라 생각된다.

3.4 擴散係數

擴散係數를 산정하는 방법으로는 變動流速에 의한 방법, 染料雲의 面積에 의한 방법 및 浮標實驗에 의한 방법등이 있다. 본 연구에서는 현장에서 변동유속에 의해 구하는 방법과 모형에서 순간점원방출에 의해 구하는 방법을 이용하여 각각 비교·검토했다.

變動流速에 의한 방법으로는 Taylor(1921)의 이론

에 의해 擴散係數 K_x, K_y 가 다음과 같이 정의된다.

$$K_x = \overline{U_L'^2} \int_0^\infty R_{Lu}(\tau) d\tau, \quad K_y = \overline{V_L'^2} \int_0^\infty R_{Lv}(\tau) d\tau \quad (2)$$

여기서, U_L', V_L' 는 각각 x, y방향의 Lagrange 變動流速, $R_{Lu}(\tau), R_{Lv}(\tau)$ 는 각각 x, y방향 Lagrange 자기相關係數이다. Hay and Pasquill(1959)은 Euler 자기相關係數와 Lagrange 자기相關係數가 상사한다고 가정하여 식 (3)과 같은 변환식을 도입했다.

$$R_L(\eta) = R_E(\tau), \quad \eta = \beta\tau \quad (3)$$

여기서, $R_L(\eta)$ 는 Lagrange 자기相關係數, $R_E(\tau)$ 는 Euler 자기相關係數, β 는 무차원 parameter이다. Euler 속도에 의한 확산계수는 식 (2), (3)을 이용하면 다음과 같이 된다.

$$K_x = \overline{U_E'^2} \int_0^\infty R_{Eu}(\tau) d\tau, \quad K_y = \overline{V_E'^2} \int_0^\infty R_{Ev}(\tau) d\tau \quad (4)$$

Table 2. Diffusion coefficient evaluated from Eulerian velocities

Station	$K_x(\text{cm}^2/\text{s})$	$K_y(\text{cm}^2/\text{s})$	$K(\text{cm}^2/\text{s})$
10	1.62×10^6	4.94×10^4	7.82×10^5

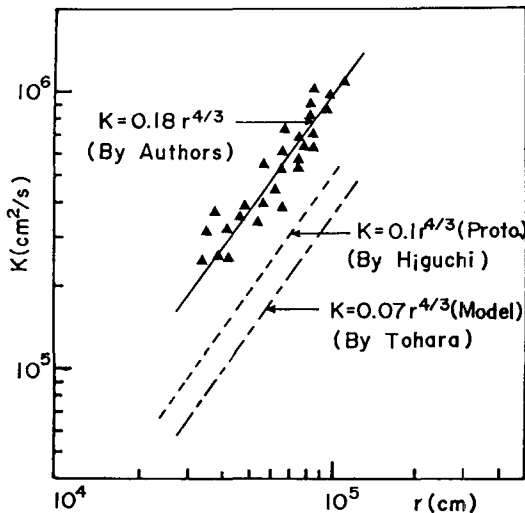


Fig. 7. Relations between diffusion coefficient K and equivalent radius r of the dye patch.
(a) maximum ebb flow
(b) maximum flood flow

여기서, U_E', V_E' 는 각각 x, y 방향의 Euler 變動流速, $R_{Eu}(\tau), R_{Ev}(\tau)$ 는 각각 x, y 방향의 Euler 自己相關係數이다. β 는 실험에 의해 0.4~6.0의 값이지만, 본 연구에서는 $\beta=1.0$ 이 사용되었다.

상기 방법에 의해 1989년 4월 20일~21일 대조기에 St.10에서 觀測한 資料를 이용하여 산정한 Eulerian 擴散係數는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 潮流橢圓의 長軸 방향을 x 축으로 하고, 短軸 방향을 y 축으로 하여 계산하였으며, St. 10에서 Eulerian 平均 확산계수 K 는 $7.82 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 나타났다.

瞬間點源放出에 의한 染料雲의 面積으로부터 擴散係數를 산정하는 방법으로는 본 연구에서 사용한 다음과 같은 平野·杉浦(1958)의 해석법이 있다.

$$K_i = \frac{\Delta S_i}{4\pi \Delta t_i} \quad (i=1,2,\dots) \quad (5)$$

여기서, t_i 는 확산시간; S_i 는 염료운의 면적; K_i 는 시각 t_i 때 걸보기 확산계수이다. 식 (5)에 의해 계산된 K

Table 3. Apparent diffusivity in the coastal waters of Korea during spring tide

Location	$K(\text{cm}^2/\text{s})$	Data source	Remark
Onsan Bay	$0.06r^{4/3}$	Chang <i>et al.</i> (1980)	Prototype
Chinhae Bay	$0.02r^{4/3}$	Ahn <i>et al.</i> (1982)	〃
Suyoung Bay	$0.02r^{4/3}$	Kim and Han(1982)	〃
Hwoiya River estuary	$0.1r^{5/4}$	Oh (1985)	〃
Shinan coast	$0.07r^{4/3}$	Lee (1986)	〃
Tacan coast	$0.18r^{4/3}$	Present study	Model

潮期 最強流速時와 中間流速時의 걸보기 擴散係數 K 와 相當半徑 r (염료운과 동일한 면적의 확산반경)과의 관계를 Fig. 7에 나타냈다.

본 實驗結果에 의한 擴散係數는 $0.18r^{4/3}$ 이며 그 크기는 $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ order이고, 직선의 기울기는 Richardson(1926)의 이론적인 4/3승칙에 거의 근사된다. Fig. 7에서 점선은 樋口 等(1967)이 大牟田地先에서 행한 현장실험결과이고, 일직선은 戶原 等(1978)이 有明海에서 행한 모형실험결과이다.

模型에서 순간점원방출에 의한 擴散係數는 St. 10에서 觀측한 유속으로부터 산정한 Eulerian 擴散係數와 유사한 값을 보여주고 있다. 水理模型實驗結果를 他 海域의 擴散係數와 비교·검토하기 위해 大潮期 때 현장에서 실험한 기존의 연구결과로부터 걸보기 擴散係數 K 와 相當半徑 r 과의 관계를 정식화하여 Table 3에 나타냈다.

Table 3에서 擴散係數 K 는 대부분 相當半徑 r 의 4/3승에 비례하는 것으로 나타났다. 진해만이나 수영만과 같이 해수유동이 약한 해역에서의 擴散係數는 $0.02r^{4/3}$ 이며, 그 크기는 $10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$ order이다. 온산만과 회야강 하구에서의 擴散係數는 각각 $0.06r^{4/3}, 0.1r^{5/4}$ 이며, 그 크기는 $10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ order이다. 본 수리모형실험결과는 진해만이나 수영만보다는 2~3 order, 온산만이나 회야강하구보다는 1~2 order 크게 나타났다.

4. 數值實驗

4.1 基礎方程式

1) 海水流動

해수유동의 기본방정식은 3차원 Navier-Stokes 방

정식을 연직적분한 방정식으로서 식 (6)~(8)과 같다.

- 연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} ((h + \zeta)U) + \frac{\partial}{\partial y} ((h + \zeta)V) = 0 \quad (6)$$

- 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ + \frac{gU\sqrt{U^2 + V^2}}{(h + \zeta)C_z^2} - A_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ + \frac{gV\sqrt{U^2 + V^2}}{(h + \zeta)C_z^2} - A_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, x, y =수평방향의 공간좌표; U, V =각각 수심평균한 x, y 방향 유속; t =시간; h =수심; ζ =평균 해면으로부터의 수위; f =Coriolis 계수; g =중력가속도; C_z =Chezy 저항계수($=1/0.026(h + \zeta)^{1/6}$); A_h =수평외동점성계수($=40\text{m}^2/\text{s}$)이다. 위 方程式은 해수표면에서 바람에 의한 전단력, 대기압변화, 수평방향의 해수밀도변화는 고려되지 않았다.

2) 溫排水 擴散

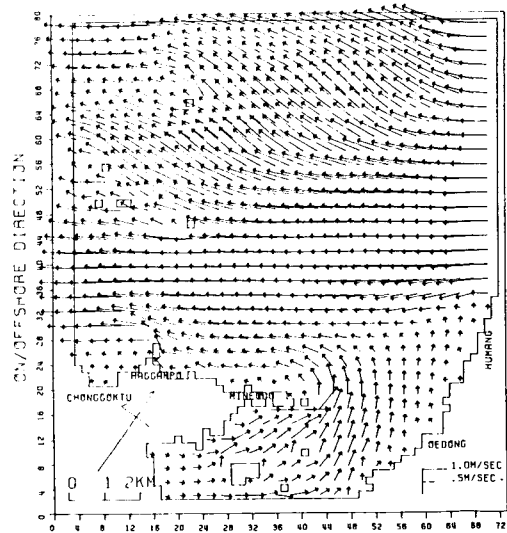
온배수 확산도 다음과 같은 和田(1975)의 기본방정식을 이용, 계산된다.

$$\begin{aligned} \beta \frac{\partial T_s}{\partial t} + \gamma U_s \frac{\partial T_s}{\partial x} + \gamma V_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = \beta \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T_s}{\partial x} \right) \\ + \beta \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T_s}{\partial y} \right) + \frac{\beta(Q_0 - Q_1 T_s)}{C \rho H_w} \end{aligned} \quad (9)$$

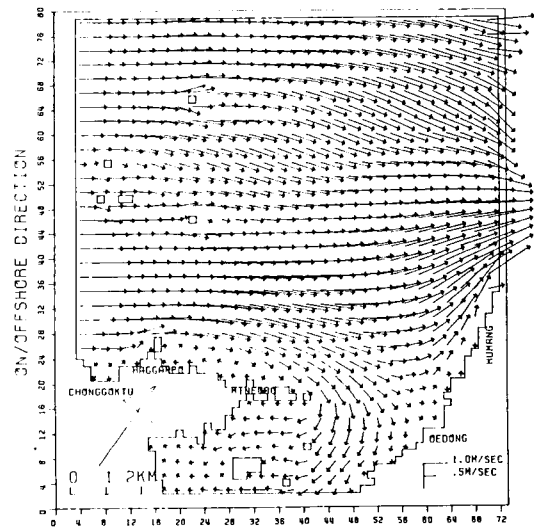
여기서, t =시간; U_s, V_s =각각 x, y 방향의 표층유속; T_s =표층수온; K_x, K_y =각각 x, y 방향의 확산계수; H_w =온수층의 두께; C =해수비열; ρ =해수밀도; Q_0 =온수에 의한 가열량; Q_1 =해면에서 열교환계수; β 와 γ 는 다음과 같다.

$$\beta = \int_0^1 g(\eta) d\eta \approx 0.598, \quad \gamma = \int_0^1 f(\eta) g(\eta) d\eta \approx 0.441 \quad (10)$$

$f(\eta) = \exp(-2\eta^2)$ 와 $g(\eta) = \exp(-2\eta^2)$ 는 각각 방류유속 및 수온의 연직방향 상사함수를 나타내고, $\eta = (\zeta + h)/(\zeta + H_w)$, ζ 는 수면상승량이다.



(a) maximum ebb flow



(b) maximum flood flow

Fig. 8. Computed tidal currents during spring tide.

4.2 計算方法 및 條件

1) 海水流動

당 해역의 流況을 再現하기 위하여 식 (6)~(8)을 ADI(Alternating Direction Implicit)법으로 계산하였으며, 對象潮汐은 半日週潮의 平均대조이다. 격자간격은 縱·橫軸 동일하게 200m로 하였고, 시간간격은 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) 조건에 따라 20초로

Table 4. Current speed and direction by the field observation, hydraulic experiment and numerical experiment during the maximum flow of spring tide during spring tide

St.	Tide	Field observation		Hydraulic experiment		Numerical experiment	
		Speed(m/s)	Dir.(°)	Speed(m/s)	Dir.(°)	Speed(m/s)	Dir.(°)
4	Ebb	2.13	243.0	2.11	210.3	1.96	230.2
	Flood	2.06	32.0	2.07	44.6	1.88	45.0
5	Ebb	1.24	247.0	1.27	245.5	1.20	240.2
	Flood	1.40	73.0	1.33	70.0	1.36	62.8
9	Ebb	1.31	228.0	1.22	215.0	1.45	230.0
	Flood	1.44	48.0	1.54	60.0	1.69	56.5
10	Ebb	1.07	238.0	1.04	247.0	0.94	247.0
	Flood	0.89	68.0	0.79	70.0	0.82	73.5
12	Ebb	0.87	228.0	0.93	235.0	1.10	235.6
	Flood	1.26	68.0	1.22	56.0	1.41	60.5
15	Ebb	0.89	223.0	1.18	230.0	1.15	235.5
	Flood	0.79	58.0	0.87	52.0	1.01	60.0

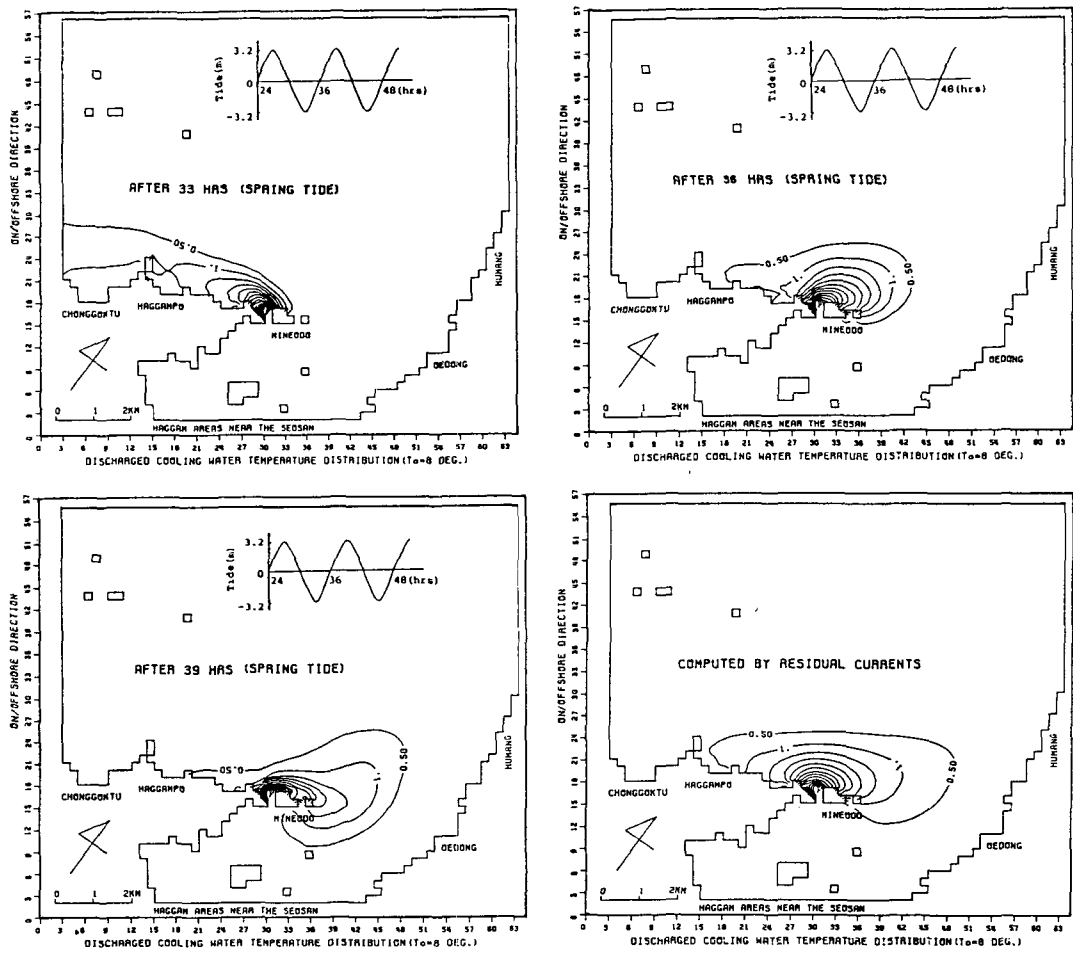


Fig. 9. Computed cooling water temperature during spring tide.

하였다. 閉境界條件은 現場에서 觀측된 潮汐의 平均 大潮進폭($M_2 + S_2 = 320$ cm)으로 주었으며, 육지부의 閉境界條件은 境界와 법선방향의 유속이 없는 것으로 하였다.

2) 溫排水 擴散

격자간격은 해수유동과 동일하고, 시간간격을 2분으로 하여 ADI법으로 계산하였다. 온배수 확산계수는 $K_x = K_y = 60 \text{ m}^2/\text{s}$, 온수층의 두께 $H_w = 3\text{m}$, 방류수온과 환경수온과의 차이는 8°C , 냉각수량은 120 ton/sec , 열교환계수 $Q_1 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2/\text{sec}/^\circ\text{C}$, 해수의 비열 $C = 1.0 \text{ cal/g}/^\circ\text{C}$ 으로 하였다.

4.3 計算結果 및 考察

1) 海水流動

大潮期 落漲潮流 最强流時 조류계산 결과는 Fig. 8의 (a)~(b)와 같다. 수치계산에 의한 落漲潮流時의 流況은 수리실험에 의한 유황과 거의 유사한 값을 보여주고 있다. 전반적인 유속의 크기는 落漲潮流時가 서로 비슷하고, 최대유속은 分點島 前方에서 일어났으며 그 크기는 약 200 cm/s 이다. 現場觀測, 水理實驗 및 數值實驗에 의한 결과들을 상호 비교·검토하기 위해 유황·유속을 Table 4에 나타냈다.

Table 4에서 現場觀測, 水理實驗 및 數值實驗에 의해 얻어진 값은 상호간에 대체로 잘 일치하였으며, 이들 각 값의 차는 유속의 경우는 최대 30 cm/s , 유황의 경우는 최대 30° 정도로 나타났다.

2) 溫排水 擴散

대조기 때 조시에 따른 온배수의 확산현상을 파악하기 위해 방류수와 자연환경수와의 온도차를 8°C 로 하여 방류하였을 경우 주위수보다 0.5°C 이상 수온 상승해역의 등온선을 Fig. 9에 나타냈다. 계산결과와 비교를 위해 조류의 변화를 고려한 조석의 위상별 확산상황인 방류 후 33시간, 36시간 및 39시간이 경과한 후의 계산결과와 조석잔차류에 의해 계산한 결과를 함께 나타냈다. 온배수의 확산은 염료확산실험 결과와 유사하게 해안을 따라 일어났으며, 유속의 시·공간적 차이에 의해 낙조류시가 창조류시보다 훨씬 빠르게 확산되었다. 평균적인 확산범위를 나타내는 조석잔차류에 의한 확산현상은 창조류 최강류시의 확산현상과 유사하게 나타났다.

黃海岸에 위치한 泰安近海에서 大潮期 때 流動特性 및 物質擴散을 現場觀測, 水理 및 數值實驗에 의해 연구하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

(1) 現場觀測, 水理 및 數值實驗에 의한 流況은 상호간에 대체로 잘 일치하였다. 潮流는 海안선을 따라 落潮流時에는 南西方向, 漲潮流時에는 北東方向으로 탁월하게 일어났으며, 최대유속은 WSW 방향으로 2.13 m/s 로 관측되었다.

(2) 現場(St.10)에서 유속관측치로부터 산정한 Eulerian 擴散係數는 $7.82 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이다. 模型에서 染料雲의 면적으로부터 구한 擴散係數는 $0.18r^{4/3}$ 이며, 그 크기는 $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ order로서 現場에서 관측된 Eulerian 擴散係數와 유사한 값을 보여주고 있다. 擴散은 지형적인 조건에 의한 유속의 크기에 따라 落潮流時가 漲潮流時보다 빠르게 진행되었다.

(3) 水理模型實驗에 의한 당 해역의 擴散係數는 現場實驗에 의해 구한 진해만이나 수영만의 擴散係數보다는 2~3 order, 온산만이나 회야강하구의 擴散係數보다는 1~2 order 크게 나타났다.

(4) 數值模型實驗에 의한 온배수의 확산양상은 水理模型實驗에 의한 염료확산실험결과와 유사하게 나타났다. 본 연구결과는 취·배수구의 위치선정 및 취·배수 구조양식을 선정하는데 중요한 기초자료로 사용될 것으로 기대된다.

辭 謝

본 연구는 한국전력공사 기술연구원의 '발전소 냉각수 취·배수 구조의 특성에 관한 연구'의 일환으로 연구되었음. 본 연구에 협조하여 주신 한국전력공사 기술연구원 및 한국전력기술주식회사의 관계제위에 감사드립니다.

參考文獻

Ahn, Y.S., Kim, Y.S. and Han, Y.H., 1982. Oceanic diffusion characteristics in Jinhae Bay, *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, **18**(1): 1-10.
 Bailey, T.E., McCullough, C.A. and Gunnerson, G.G., 1966. Mixing and dispersion studies in San Francisco Bay, *J. Sanitary Eng. Div., ASCE*, SA5, 23-45.
 Falconer, R.A. and Cox, I.C.S., 1989. Numerical modelling of the vertical tidal current and salinity structure in a deep water Scottish Loch, *Ocean and Shoreline Management*, **12**: 61-80.

5. 要約 및 結論

- Hay, G.I. and Pasquill, F., 1959. Diffusion from a continuous source in relation to the spectrum and scale of turbulence, *Advances in Geophysics*, **6**: 345-365.
- Leendertse, J.J. and Liu, S.K., 1975. Three-dimension model for estuaries and coastal seas, Vol.II, Aspects of Computation, *Report No. R-1764-OWRT*, The Rand Corpor., USA, 123 pp.
- Leendertse, J.J. and Liu, S.K., 1977. A three-dimensional model for estuaries and coastal seas: Vol. IV, Turbulent energy computation, *Report No.R-2187-OWRT*, The Rand Corporation, California, USA, 59 pp.
- Kim, Y.S. and Han, Y.H., 1982. A study on the characteristics of the circulation and diffusion in Suyeong Bay, *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, **18**(2): 55-61.
- O'Connell, R.L. and Walter, C.M., 1963. Hydraulic model test of estuarial waste dispersion, *J. Sanitary Eng. Div.*, ASCE, SA1, 56-65.
- Richardson, L.F., 1926. Atmospheric diffusion shown on a distance neighbour graph, *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A 110**: 709-736.
- Sheng, Y.P., 1983. Mathematical modeling of three-dimensional coastal currents and sediment dispersion: Model development and application, *Technical Report CERC-83-2*, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Also ARAP Report No. 458, Princeton, NJ, 288 pp.
- Sheng, Y.P., 1987. On modeling three-dimensional estuarine and marine hydrodynamics, *Three-dimensional models of marine and estuarine dynamics*, J.C.J. Nihoul and B.M. Jamart, ed., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 35-54.
- Simmons, H.B., 1969. Use of models in resolving tidal problems, *J. Hydraulical Div.*, ASCE, HY1, 125-146.
- Sugimoto, T., 1974. Similitude of the hydraulic model experiment for tidal mixing, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **30**: 260-270.
- Taylor, G.I., 1921. Diffusion by continuous movements, *Proc. of London Math. Soc.*, **20**(196): 1-7.
- Waldrop, W.R. and Farmer, R.C., 1974. Three-dimensional computation of buoyant plumes, *J. Geophysical Research*, **79**(9): 1269-1276.
- Wolanski, E.J. and Banner, M.L., 1978. Buoyant surface jet in tidal longshore current, *J. Hydraulic Div.*, ASCE, **104**(HY11): 1505-1519.
- 和田 明, 角湯正剛, 1975. 温排水擴散豫測汎用計算圖表の提案, 日本電力中央研究所報告, No. 375008, 65 pp.
- 和田 明, 片野尚明, 荒木遵, 1981. 水中放流されたツルムの舉動解析, 第25回水理講演會 論文集, 591-596.
- 堀口孝男, 富田 勇, 堀江 毅, 1977. 三次元モデルによる流れと擴散の數値解法について, 第24回海岸工學講演會論文集, 443-447.
- 堀口孝男, 曾我部隆久, 堀江 毅, 1979. 三次元モデルによる流れと擴散の數値解法について(その3), 第26回海岸工學講演會論文集, 600-604.
- 平野敏行, 杉浦健三, 1958. 河川流入のある小内灣の鹽分分布について, 東海區水産研究所研究報告, 第22號, 1-15.
- 樋口明生, 杉本隆成, 1967. 潮流による擴散の水理實驗について, 京大防災研究所年報, 第 10號 B, 343-363.
- 堀口孝男, 富田勇, 堀江毅, 1977. 三次元モデルによる流れと擴散の數値解法について, 第24回海岸工學講演會論文集, 443-447.
- 戶原義監, 加藤 治, 瀬口昌洋, 1978. 有明海の潮流と擴散, 混合に關する研究(I), 第25回 海岸工學講演會論文集, 556-560.
- 柳 哲雄, 樋口明生, 1980. 沿岸海域の物質分散(I), 京大防災研究所年報, 第23號 B-2, 333-337.
- 金次謙, 1992. 粘着性土砂의 輸送機構과 3次元 輸送 모델, 釜山水産大學校 海洋工學科 工學博士學位論文, 184 pp.
- 吳白帆, 1985. 回夜江 河口域의 水質과 擴散特性에 대하여, 釜山水産大學 環境工學科 工學碩士學位論文, 41 pp.
- 李應讚, 1986. 新安近海의 物質擴散 特性에 관한 研究, 釜山水産大學 海洋工學科 工學 碩士學位論文, 37 pp.
- 張善德, 李宗燮, 韓京和, 1980. 温山工團附近의 海洋汚染物質移動, 韓國水産學會誌, **13**(4): 163-171.
- 韓國海洋技術(株), 1987. 瑞山火力 1, 2호기 細部調査報告書, 95-123.