

溫山工團 附近의 海洋汚染物質 移動

張 善 德* · 李 宗 燮* · 韓 京 和*

TRANSPORT AND DIFFUSION OF POLLUTANTS IN THE COASTAL WATERS OF ONSAN INDUSTRIAL COMPLEX

Sun-duck CHANG,* Jong-Sub LEE* and Kyeong-Hwa HAN*

To clarify the dispersion of pollutants introduced in the coastal region, a series of current measurements, the drogue and drift bottle experiments as well as the dye diffusion experiments were carried out in Onsan Bay and in the coastal waters of Ubong-ri near Ulsan.

In the southeastern coastal region of Korean peninsula, that is, in the outside of Onsan Bay, the flood tidal current flows south-south-westward, and the ebb current flows north-north-eastward at a maximum speed of 1.0--1.1 knots at spring tide. In an inlet south of Cape Ubong, an anticyclonic eddy of 1 km in diameter is usually formed during both flood and ebb flows.

The tidal current predominates in Onsan Bay at around spring tide. The maximum speed around spring tide was observed to be approximately 0.14 knot, while it was slower than 0.1 knot and variable at neap tide when the wind drift current played an important role. The flood tidal current flows westward while the ebb flow flows eastward in the northern region of the bay. The flood tidal current in the southern region of the bay flows west-north-westward, while the ebb current east-north-eastward.

Wind drift currents in the coastal region of southern Korea are generally deduced to be southward in winter, the monthly mean speed being approximately 0.1 knot.

Dye solution released at the northwestern corner in Onsan Bay was transported by eastward ebb tidal current toward the mouth of the bay dispersing by the wind. The apparent diffusion coefficient at 150 minutes after release in the bay was calculated to be $4.4 \times 10^4 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$, whereas that in the anticyclonic eddy was more or less smaller.

緒 言

沿岸海域의 海水流動과 그 混合에 관한 問題는 臨海工業團地의 造成, 都市 및 工場廢水의 放出과 關連하여 重要한 課題로 등장하게 되었다.

外洋海域의 경우에는 汚染物質의 移動, 分散을 支配하는 要因이 적으므로 이것을 比較的 간단하게 解

析할 수 있는 경우가 많다. 그러나, 沿岸海域의 경우에는 이를 支配하는 要因이 多樣하고 복잡하기 때문에, 理論的인 解析과 더불어 이들 各 要因을 究明하기 위한 現場 觀측이나 실험적 연구는 매우 중요한 的의를 갖는다.

울주군 온산면 부근 해역에는 많은 共同漁場과 養殖場이 分布하고 있다. 그런데 이 地域에는 近年에

* 釜山水産大學 海洋工學科, Dept. of Ocean Engineerings, National Fisheries University of Busan, Namgu, Busan, 601-01 Korea.

우리 나라의 重化學工業施策에 따라 工業團地가 造成되고 非鐵金屬관련 工場이 들어서게 되어 工場廢水を 放出하기 시작하였으며, 今後 工場增設에 따라 産業廢水 放出量은 急激히 增加된 것으로 豫想된다. 이들 廢水는 環境을 汚染시킨 뿐만 아니라, 그 일부가 沿岸漁場에 流入分散되어 被害를 입히는 경우가 있다. 이 海域의 汚染 및 그로 인한 沿岸漁場 被害를 最小限으로 줄이기 爲하여는 海域의 汚染物質의 移動, 擴散現象을 把握할 필요가 있다.

本論文에서는 溫山灣과 그 附近海域에 投入된 海洋汚染物質의 分散域을 밝히기 爲하여, 海水流動을 관측하고 染料擴散實驗을 실시한 結果를 報告한다.

資料 및 方法

1980년 3월~6월에 溫山灣과 그 附近 牛峰里東方 海域에서 流速計에 의한 測流와 海流板 및 海流瓶 漂流實驗을 실시하였다. 또 溫山灣內와 灣外에서 各各 1회씩 Rhodamine B를 瞬間點源放出하여 擴散實驗을 실시하였다. 海水流動 및 染料擴散實驗 實施日程과 潮汐條件(月令, 潮時, 潮差)은 Table 1과 같다. 測流에는 Toho-Dentan current meter

CM-2 型을 사용하였고, 海流板은 NFU-03 型(抵抗板: 30×30cm)을 사용하였다. 水溫과 鹽分은 YSI SCT-meter로 測定하였고, 水中照度는 Kalsico radiometric underwater irradiator로 측정하였다. 海水의 透明度는 Secchi disc로 측정하였다.

結果 및 考察

1. 溫山灣의 海水流動

溫山灣은 灣口로부터 西端까지 距離가 約 1.1km, 南北間 距離가 約 2km 이며 灣口 附近에는 15m 等深線이 거의 南北方向으로 위치한다. 灣內 水深은 淺아서 대체로 15m 이하이며, 燕子島 주변과 間간에는 5m이하의 淺은 곳과 岩礁가 곳곳에 散在해 있다.

1974년~1977년 蔚山灣의 潮汐觀測 資料를 調和分解한 結果 얻어진 潮汐常數에 依하면 潮汐形態數는 0.26으로서 半日週潮가 우세한 混合潮이다. 따라서 1일 2回潮을 보인다. 大潮差는 약 48cm, 小潮差는 약 17cm, 平均潮差는 약 32.5cm에 不過하다. 따라서 이 海域은 우리나라 沿岸에서 潮差가 가장 적은 海域中의 하나이다.

Table 1. Itinerary of current observations and diffusion experiments in Onsan waters in 1980

Date	Item of observations and/or experiments	Moon's age	High water		Low water		Tidal range
			Time	Height	Time	Height	
March 20	Measurement	04	10:13	50cm	03:36	-5cm	55cm
			22:25	47	15:49	-2	
May 4	Measurement, drift-bottle and drogue experiments	19	10:10	46	03:31	0	46
			22:01	45	15:37	10	
15	Measurement, drift-bottle and drogue experiments	01	08:32	54	01:48	-3	57
			20:38	54	14:01	4	
16	Measurement and drogue experiments	02	09:09	55	02:27	-4	59
			21:11	54	14:39	7	
18	Measurement, drift-bottle and drogue experiments	04	10:20	51	03:41	0	51
			22:10	49	15:49	15	
June 4	Drift-bottle and drogue experiments	21	11:24	48	04:39	5	43
			23:02	47	16:50	20	
5	Measurement, drift-bottle and drogue experiments	22	12:34	45	05:29	8	37
			23:57	43	17:53	23	
9	Measurement, drift-bottle and drogue experiments	26	04:19	44	10:09	12	37
			17:00	49	22:55	12	
27	Measurement and diffusion experiments	15	07:29	52	00:45	13	42
			19:30	55	12:48	22	

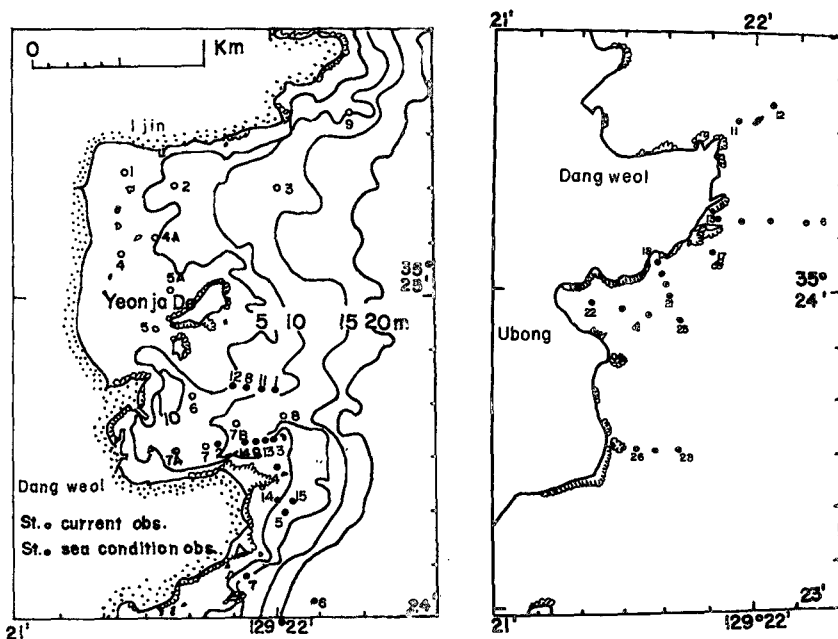


Fig. 1. Bottom topography of Onsan waters.

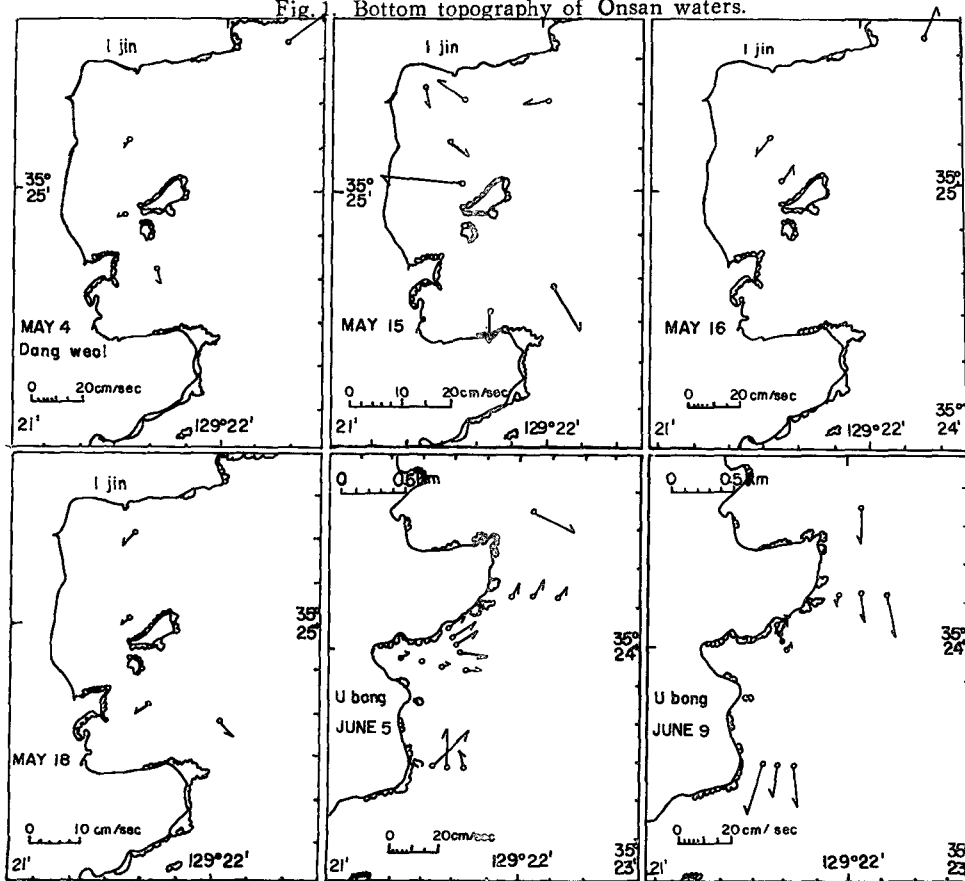


Fig. 2. Results of current measurements in Onsan waters.

Table 2. Results of drogue experiments in Onsan Bay of Ulsan in 1980

Date	Station No.	Direction (degree)	Mean speed (knot)
May 4	9	030	0.94
	1	345	
	2	355	
	5	335	
	6	345	
	7	005	
	8	025	
	May 5	2	245
5		155	0.1
6		150	
May 16	8	050	0.37
	5	130	
	2	180	
	3	135	
May 18	6	295	0.10
	5A	350	0.12
	2	340	
	8	045	0.07
June 4	1	305	0.10
	1	068	0.05
	1	035	
	1	008	
	1	095	
	1	094	0.15
	5A	135	
June 4	5A	007	
	5A	030	
	5A	018	
	5A	010	
	5A	058	
	5A	152	
	5A	135	

Table 3. Results of drift bottle experiments in Onsan Bay of Ulsan in 1980

Date	No. of stations	Bottles	
		Released	Recovered
May 4	7	35	24
May 15	5	24	13
May 18	5	25	24
June 4	13	66	40

Table 4. Results of drogue experiments in Ubong waters of Ulsan in 1980

Date	Station No.	Direction (degree)	Mean speed (knot)
June 5	26	348	0.18
	28	020	0.15
	22	037	—
	23	050	0.10
	24	042	0.10
	25	037	—
	19	048	0.07
	20	035	0.15
	21	040	0.30
	15	025	0.18
	16	025	0.13
	11	084	—
June 9	12	058	—
	26	180	0.60
	27	190	0.72
	28	192	0.68
	14	185	0.24
	15	175	—
	25	173	0.22
	17	025	—
	19	055	—
	20	030	—
	21	030	0.12
	23	305	0.05
24	265	—	
25	340	0.10	
11	298	—	
12	182	0.28	

Table 5. Results of drift bottle experiments in Ubong waters of Ulsan in 1980

Date	No. of stations	Bottles	
		Released	Recovered
June 5	13	65	40
June 9	14	70	50

온산만의 海水流動을 알기 위하여 1980년 3월 20일부터 1980년 6월 4일까지 6회에 걸쳐 測流, 海流板 및 海流형 漂流實驗을 實施한 결과는 Table 2~5 및 Fig. 2 및 Fig. 4~7과 같다.

溫山灣의 海水流動은 主로 潮流에 依해 支配되지만, 南海나 西海沿岸에 比하면 潮流와의 關聯性이 적고 不規則한 편이다. 大潮時에는 潮流가 比較的

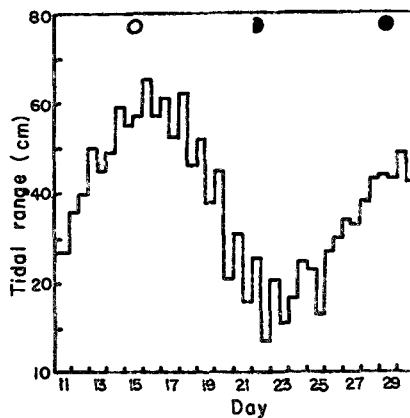


Fig. 3. Tidal ranges at Onsan in April 1980 (after Korea Ocean Sciences and Technol. 1980).

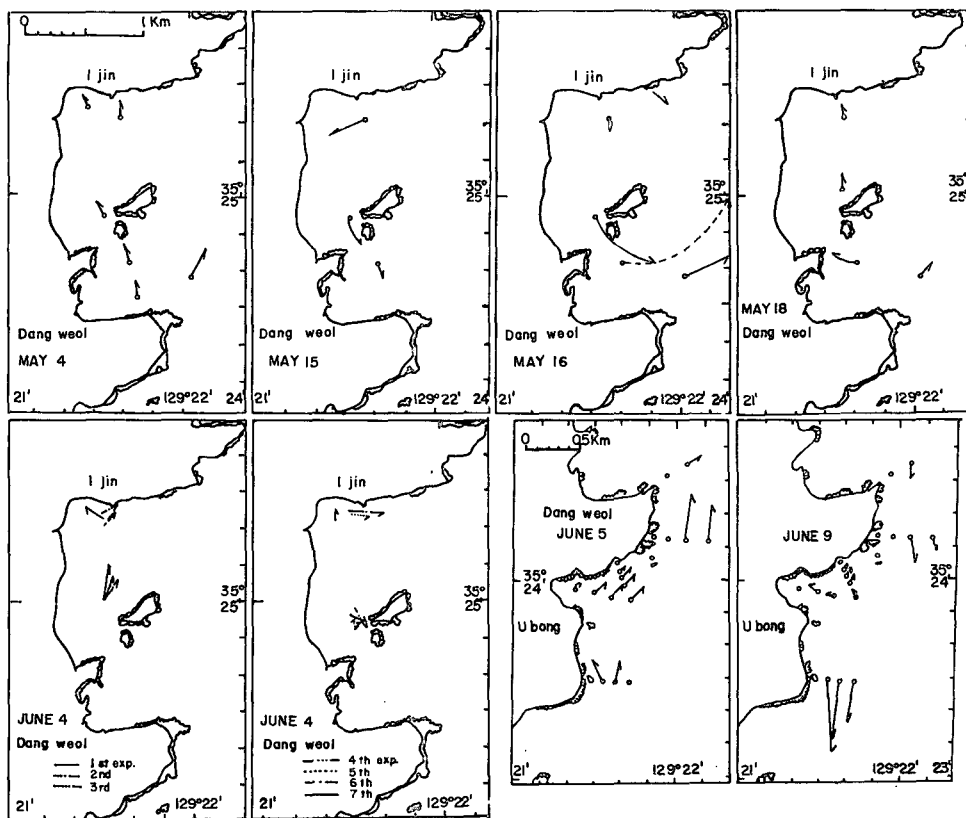


Fig. 4. Results of drogue experiments in Onsan waters carried out in May and June 1980.

優勢한 편이지만, 小潮時의 表層流는 매우 不規則하며 吹送流와 地形性渦流 및 潮汐殘差流 등의 影響을 크게 받는다. 이런 現象은 潮差가 작아 潮流速力이 相對的으로 낮고, 風速이 비교적 強하여 吹送流가 相對的으로 큰 역할을 하며, 또 沿岸地形과 潮汐殘

差流의 影響도 비교적 크기 때문일 것이다.

大潮時 洋流는 灣의 北部 沿岸에서는 沿岸을 따라 東流하고, 灣 中央部에서는 反時計 方向의 循環을 이루면서 燕子島 北端을 따라 灣外로 流出한다. 한편 洋流는 西方으로 흐른다. 灣의 南部에서는 燕子島

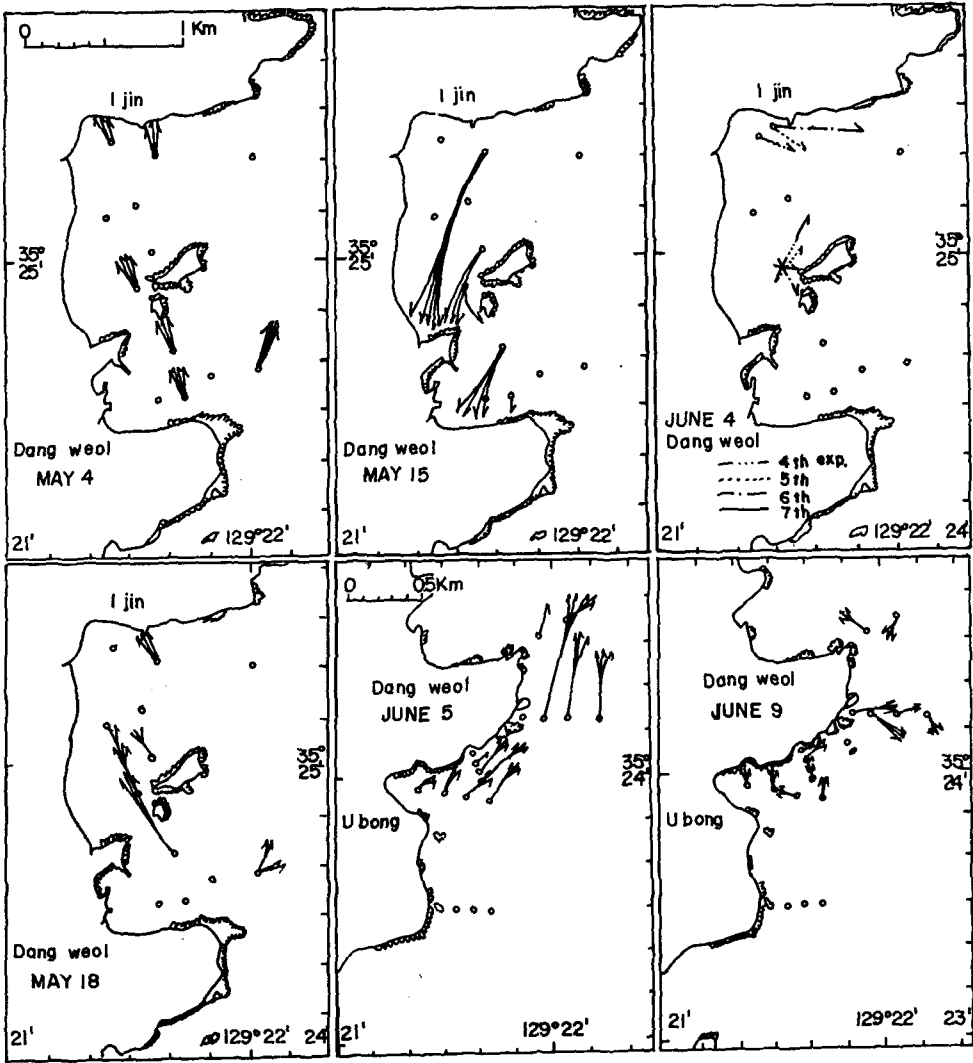


Fig. 5. Results of drift bottle experiments in Onsan waters carried out in May and June 1980.

西端과 沿岸 사이의 목을 南西로 빠져나와 燕子島 南部 海域의 反時計 方向의 순환류와 合勢함으로서, 灣의 北部보다는 強한 反時計方向의 흐름을 形成한다. 溫山灣 南部에서는 밀물은 西-北西流 이고 썰물은 東-南東流이다. 轉流는 高低潮時의 약 한 時間 前後에 일어나고, 最強流는 高低潮時後 3~4 時間에 일어난다.

5月 16日의 海流병 漂流實驗結果 潮汐殘差流는 灣의 南部에서 1日에 北東으로 약 0.5mile 移動한 것으로 나타났다. 灣內 流速은 大潮時에 약 0.14kt,

小潮時에는 약 0.07kt 정도로 미약하게 나타났는데 이는 潮差가 작고 (Fig. 3) 水深이 얕으며 海底地形 및 沿岸地形이 복잡하기 때문이다.

2. 溫山灣外 牛峰沿岸海域의 海水流動

溫山灣과 南方에 인접한 牛峰沿岸海域의 海水流動을 調査하기 위하여 1980년 6월 5일과 9일 浮標과 浮標時 測流, 海流板 및 海流병 漂流實驗을 實施하였다. 牛峰沿岸 장마위 東쪽 1.5km 떨어진 곳에서 大潮時(1980년 4월 17일)와 小潮時(4월 25일)에 25시

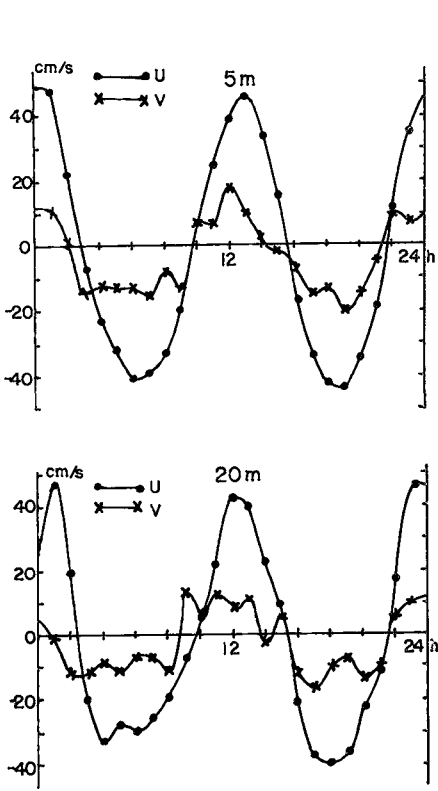


Fig. 6. North and east components of tidal currents in the coastal region off Onsan at spring tide on April 17, 1980.

간 連續測流한 資料를 (5m層과 20m層)調和分解 하였다. 灣外の 沿岸海域에서는 一般의 潮流와 海流(東韓暖流)가 海水流動을 支配하는 主要因이다. 即 밀물은 南-南南西로 흐르고, 썰물은 北-北北東으로 흐른다. 그러나 牛峰里 沿岸과 흑암 사이의 灣入 海域에서는 밀물 때나 썰물 때에 관계없이 직경 약 1km미만의 時計方向의 渦流가 發達하여 灣外 潮流와 合하여 진다. 그리고, 流速은 外海쪽에 比하여 훨씬 느리며, 따라서 海水의 停滯性이 비교적 強함을 나타내었다. 또, 牛峰 南部海域에서는(st. 25~28) 밀물 때는 南쪽으로, 썰물 때는 北쪽으로 흐른다. 그리고 위의 實驗結果 時計方向의 渦流의 속도는 썰물 때가 밀물때의 약 2배정도로 強하게 나타났다. 灣外의 海域에서는 調和分解 결과 거의 半日週潮의 特性을 보이며, 小潮時는 大潮時보다 不規則하게

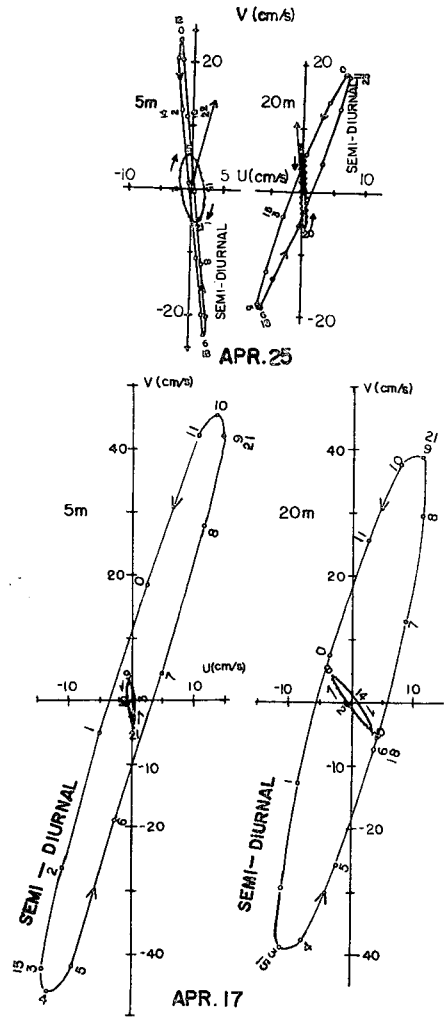


Fig. 7. Tidal ellipses in the coastal region off Onsan at neap tide (upper figures) and spring tide (lower figures), April 1980.

나타났다. 恒流는 5m層에서 大潮時에는 西쪽으로 3cm/sec 였다(Fig. 6). 大潮時 最大流速은 表層에서 北北東쪽으로 51cm/sec, 底層에서도 北北東쪽으로 55cm/sec로 나타났다. 小潮時에 最小流速은 表層에서 거의 5時間정도 7cm/sec로 거의 持續的으로 흘렀으며, 底層에서도 역시 같은 시간동안 8cm/sec로 持續的으로 나타났다. 大潮時의 最大流速은 表層보다 底層에서 4cm/sec 빠르게 나타났다.

3. 吹送流

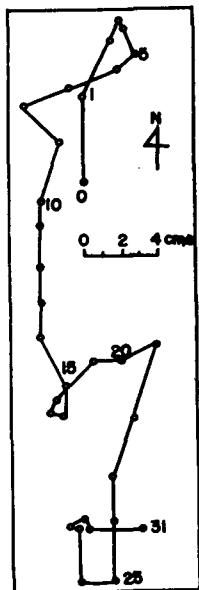


Fig. 8. Progressive vector diagram of the wind drift current at Ulsan, Dec. 1-31, 1979.

灣山灣에 있어서吹送流가汚染物質의移動에 커다란要因으로作用하고있기때문에吹送流를 계산하기 위하여 최근 10年間 海洋調査年報(1970~79)에 있는韓國近海의 12月의 바람資料를 vector 平均하여 韓國沿岸海城의吹送流實驗式(張, 1975)에 의하여吹送流를計算하였다. 또 1979年 12月, 蔚山測候所에서 觀測한 바람資料를 사용하여 每日의 24時間 平均風速에 對한吹送流를計算하여 進行 vector 圖를作成하였다(Fig. 8). 겨울의吹送流는一部海城을 제외하고는 거의南쪽으로 흐르고 있음을 알 수 있다. 그리고灣山灣의吹送流速은 0.4~4.4cm/sec였다. 한편灣山灣밖의牛峰里海城에서는 밀물 때는南向流를加速시킬 것이며, 썰물 때는北向流를 지지하는 역할을 할 것이다. 여름에는南東-南西季節風이優勢함으로吹送流는北北東方向으로 흐를 것이므로 겨울과는反對되는效果를 나타낼 것이다.

4. 染料擴散

1980년 6월 27일 灣山灣 北西部 排水口 前方 200m 지점과, 灣外 牛峰里海城 D 工場의 取水口 前方 약 200m 지점에서 각각 rhodamine B 3% 용액 100ℓ씩을 표면에서 瞬間 點源放出하여 移動, 擴散狀態를 調査하였다. 擴散係數는 松江(1961)의 式에 의해 計算하였다.

$$K_x = \frac{r_{x2}^2 - r_{x1}^2}{4(t_2 - t_1)} \quad K_y = \frac{r_{y2}^2 - r_{y1}^2}{4(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

단, r 은 染料域의 半徑이고, t 는 시간이다. 또 染料域의 面積 r_0 로부터 Okubo(1971)의 式에 의해 可視平均擴散係數 K_0 를 計算하였다.

$$K_0 = \frac{r_0^2}{4t} \quad (2)$$

또 시간에 따른 染料域의 濃度變化를 測定하기 위하여

일정한 시간간격으로 採水器를 使用하여 染料域의 表面水를 採水 한후 分光光度計를 使用하여 濃度를 測定하였다.

灣內 實驗; 썰물때 灣山灣內에서 실시한 擴散實驗 結果는 Table 6 및 Fig. 9와 같다. 染料放出 2시

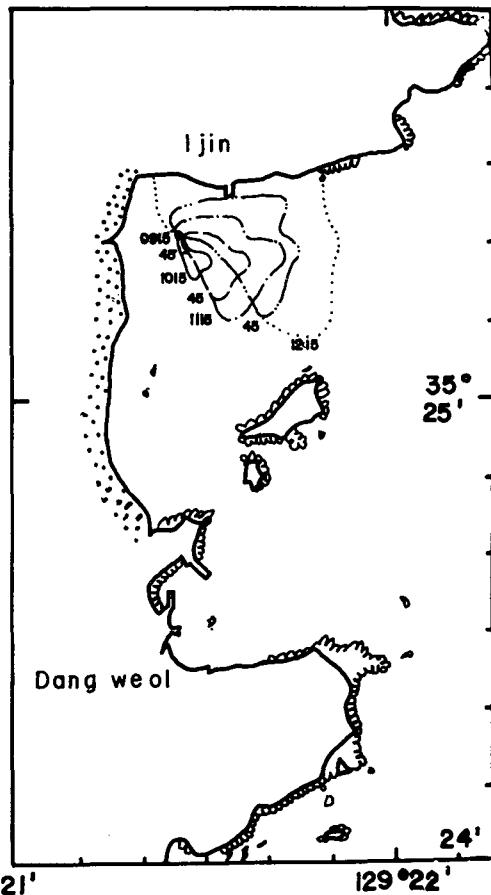


Fig. 9. Results of dye-diffusion experiments in Onsan Bay.

간 30분 후의 擴散係數는 $K_x = 3.47 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$, $K_y = 1.66 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$ 이며, 이때의 K_0 는 $4.42 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$ 이었다. 이 값은 古里沿岸海城에서(韓·尹, 1970) 구한 확산계수 $K_x = 4.56 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$, $K_y = 1.7 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ 에 비하면 X軸 方向은 조금 작지만, Y軸 方向은 조금 큰 값이다. 또 三千浦水道에서 얻은 값 $K_x = 2.86 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$, $K_y = 3.2 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ 에 비하면(張, 1979) 조금 큰 값을 보인다. 本 實驗結果에서 보는 것과 같이 썰물때 灣內에 投入된 染料는 X軸, Y軸 方向으로 비슷하게 빛깔을 모양으로 바뀌었고, 바람에 의해 變形되면서 주로 潮流에 따라 灣口쪽으로 移動 分散하였다.

Table 6. Results of dye diffusion experiments in Onsan Bay (Released 09:15, June 27, 1980)

Observed time	Time after release (sec)	Concentration (ppm)	Maximum width of patch		Diffusion coefficient		Area (cm ²)	Mean diffusion coefficient K _a (cm ² /sec)
			X _m (cm)	Y _m (cm)	K _x (cm ² /sec)	K _y (cm ² /sec)		
9h45m	18×10 ²	0.40 (1.3×10 ⁻⁵)	11×10 ³	6×10 ³	4.2 ×10 ³	1.3×10 ⁶	25×10 ⁶	0.34×10 ⁴
10 15	36×10 ²	0.34 (1.1×10 ⁻⁵)	22×10 ³	15×10 ³	1.26×10 ⁴	6.6×10 ³	153×10 ⁶	1.06×10 ⁴
45	54×10 ²	0.28 (9.0×10 ⁻⁶)	30×10 ³	16×10 ³	1.44×10 ⁴	1.1×10 ³	275×10 ⁶	1.27×10 ⁴
11 15	72×10 ²	0.21 (7.0×10 ⁻⁶)	38×10 ³	19×10 ³	1.88×10 ⁴	3.6×10 ³	499×10 ⁶	1.73×10 ⁴
45	90×10 ²	0.15 (5.0×10 ⁻⁶)	45×10 ³	26×10 ³	2.01×10 ⁴	1.09×10 ⁴	903×10 ⁶	2.51×10 ⁴
12 15	108×10 ²	0.09 (3.0×10 ⁻⁶)	55×10 ³	34×10 ³	3.47×10 ⁴	1.66×10 ⁴	1,912×10 ⁶	4.42×10 ⁴

灣外 實驗; 牛峰里 海域에서 밀물때 확산실험한 결과는 Table 7 및 Fig. 10와 같다. 染料를 放出한뒤 90

分後의 擴散係數는 $K_x=7.1 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$, $K_y=0.5 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ 로서, 溫山灣內 또는 他 海域(古里, 三千浦等)에 비하여 현저히 낮은 값을 보였다. 이것은 海岸地形과 밀물時 약하게 發達하는 時計方向의 小規模 渦流의 流速이 비교적 느리고 shear 효과가 적은 것에 起因하는 것으로 생각된다.

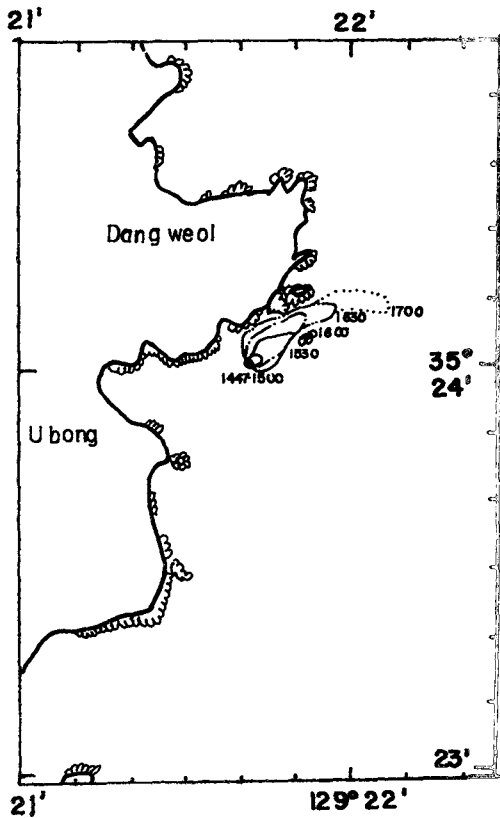


Fig. 10. Results of dye-diffusion experiments in Ubong waters.

5. 産業廢水 分散

1980년 6월 3일~4일 D工場 排水分散 상태를 관측하였고 排水口를 中心하여 南쪽과 北쪽에 위치한 15개 正점에서 水中照도와 透明度를 測定하였다 (Table 8).

工場排水口에서 流出되는 廢水는 黑褐色으로서 惡臭을 풍기고 高溫低鹽하여 밀도가 낮다. 排水口 부근에서는 약한 噴流이지만 차츰 멀어짐에 따라 表層에서 얇은 層을 形成하면서 海水流動에 따라 分散된다. 即 밀물 때 潮流에 의해 南-南南西쪽으로 移動해 가다가 回夜江 河口에서는 外海쪽으로 左旋한다. 이것은 河口密度流의 影響을 받기 때문이다. 썰물 때는 北-北北東쪽으로 띠(belt) 모양으로 移動한다(Fig. 11). 廢水의 모양은 潮令, 潮時, 風向, 風速, 波浪, 地形等 여러가지 要因에 따라 복잡하게 변하는데, 南風이 악하게 부는 날 썰물때 高濃度域의 內側境界는 牛峰岬과 凡月岬 東方 100m點을 연결하는 線上에 있었다. 外側境界는 基本的으로는 牛峰岬 北東方 海上에 위치한 日出岩에서 凡月岬 東方 海域으로 이어지는 線上이다. 表層噴流分散에 關한 理論的 研究는 最近에 急速한 發展을 보이고 있다 (Stolzenbach and Harleman, 1973 등).

Table 7. Results of dye-diffusion experiment in Ubon waters (Released 14:17, June 27, 1980)

Observed time	Time after release (sec)	Concentration (ppm)	Maximum width of patch		Diffusion coefficient		Area (cm ²)	Mean diffusion coefficient K _a (cm ² /sec)	
			X _m (cm)	Y _m (cm)	K _x (cm ² /sec)	K _y (cm ² /sec)			
15h	20m	19.8×10 ²	0.32(10 ⁻⁵)	11×10 ³	6×10 ³	3.8×10 ³	1.1×10 ³	48×10 ⁶	6.0×10 ³
	50	37.8×10 ²	0.24(8×10 ⁻⁶)	18×10 ³	7×10 ³	7.1×10 ³	0.5×10 ³	98×10 ⁶	3.8×10 ³
16	20	55.8×10 ²	0.18(6×10 ⁻⁶)	38×10 ³	7×10 ³	3.9×10 ³		171×10 ⁶	7.7×10 ³
	50	73.8×10 ²	0.12(4×10 ⁻⁶)	66×10 ³	7×10 ³	10.1×10 ⁴		345×10 ⁶	1.17×10 ⁴

Table 8. Oceanographic data at St. 5 in the waste water dispersal areas in Onsan waters on June 3, 1980

Depth (m)	Irradiance (μw/cm ²)	Transmission percentage	Transparency (m)	Temperature (°C)	Salinity (‰)
0	30.24	100			
0.5	3.28	10.85		15.0	32.5
1.0	2.39	7.90	1.8	14.5	32.5
2.0	2.27	7.51		13.5	32.5
3.0	1.26	4.17		13.5	32.5

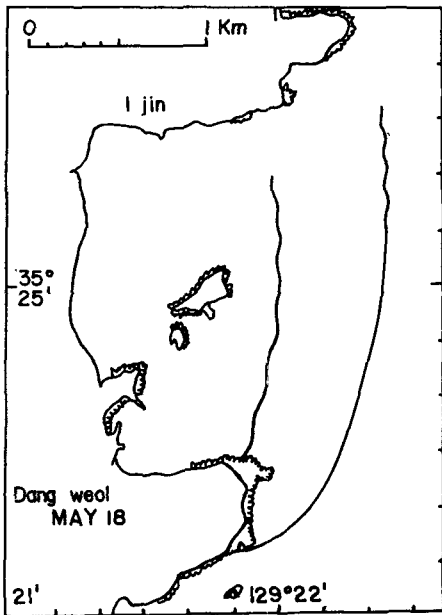


Fig. 11. Distribution of effluents during the ebb flow.

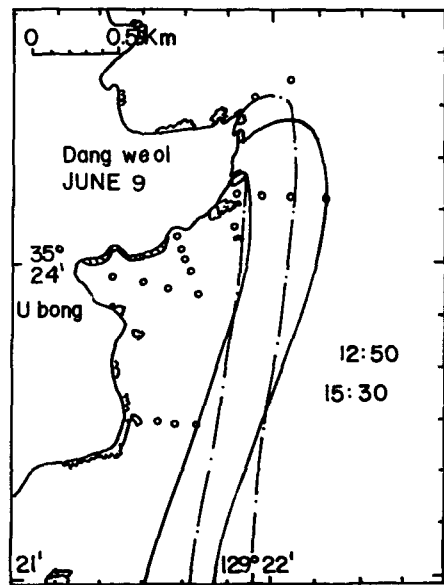


Fig. 12. Distribution of effluents during the flood flow.

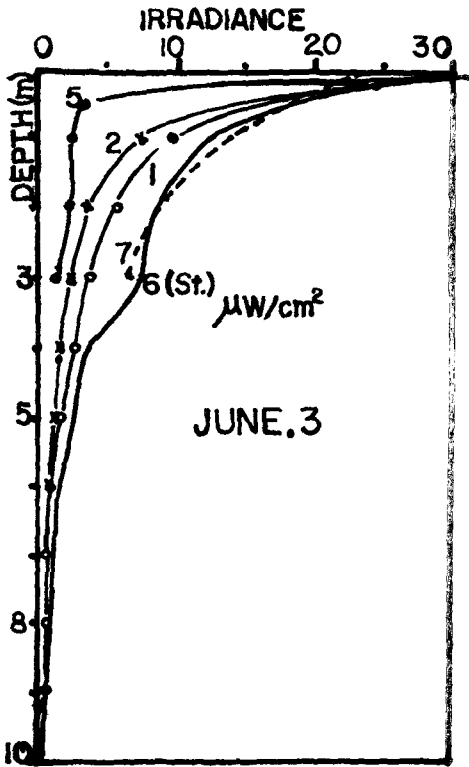


Fig. 13. Distribution of irradiance at each station on June 3, 1980.

水中照度の 不連續層은 排水口 부근(st. 5)에서 0.5m 미만의 얇은 곳에 있지만 배수구로부터 멀어질수록 차츰 깊어진다(Fig. 14). 이것은 廢水가 排水口로부터 차츰 이동하는 동안에 아래층으로부터 海水의 進行加入이 있어서 廢水가 海水와 混合되어 濃度가 희석되기 때문에 일어난 現象이라 생각된다.

要 約

溫山灣內에서는 大潮時 潮流가 優勢한 편이지만 (0.1 kt), 小潮時의 表層流는 매우 不規則하며 (0.07 kt), 吹送流과 地形性 소용돌이의 영향을 크게 받는다. 大潮時 灣北部에서는 汐물때 東流하고 日물때 西流한다. 灣南部에서는 日물은 西北西流하고 汐물은 東北東流이다.

灣外에서는 潮流가 優勢하여 日물때 南-南南西流

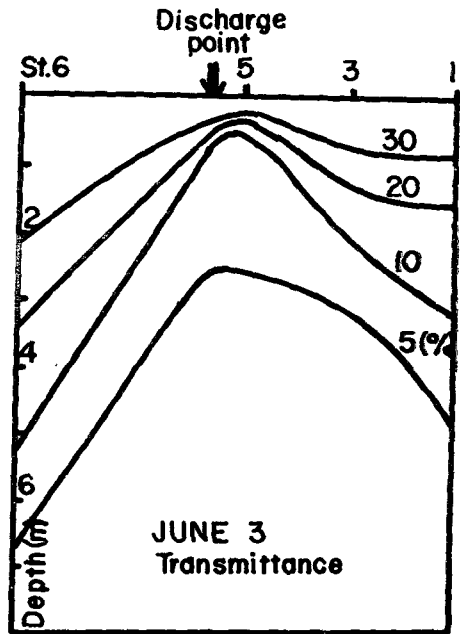


Fig. 14. Sectional distribution of the light transmittance in Onsan waters on June 3, 1980.

하고 汐물때 北-北北東流한다. 最大流速은 1~1.1 kt로 관측되었다. 小潮時의 恒流는 北北東 14.3 cm/sec 였다. 牛峰岬 南쪽 灣入部에는 日물갈때나 汐물갈때 지름 약 1km미만의 時計方向 소용돌이가 存在하여 海水의 停滯性이 비교적 強한편이다.

겨울의 吹送流는 대체로 南流하며 最大流速은 약 0.1kt에 달한다.

溫山灣內에서 點源放出한 染料는 바람에 의해 變形되면서 주로 潮流에 따라 灣口쪽으로 移動, 分散하였고, 放出 3時間後의 平均擴散係數는 $4.4 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$ 였다. 灣外 灣入部 時計方向의 環流內에서는 이 보다 多少 낮은 값을 보였다.

文 獻

Chang, Sun-duck(1970): Computation of wind drift currents in the southern waters of

- Korea. Bull. Kor. Fish. Soc. 3(3), 199~206.
- 張善德(1975) : 韓國近海의 吹送流 計算. 釜水大研報 14(2), 1~20.
- 張善德(1979) : 三千浦 水道에서의 染料擴散實驗(未發表).
- 韓英鎬·尹甲東(1970) : 高麗 沿岸海域에서의 擴散實驗. 釜水大研報 10(1), 17~25.
- 松江吉行(1962) : 水質汚濁調查指針 315~316.
- Okubo, A. (1962): A review of theoretical models for turbulent diffusion in the sea. J. Oceanogr. Soc. Japan. 20th Anniv. Vol. 286~320.
- Stolzenbach, K. D. and D. R. F. Harleman(1973): Three-dimensional heated surface jets. Water Resources Res. 9(1), 129~137.