



Table 1. Experimental conditions

| Run | Discharge,<br>Q1<br>(cm <sup>3</sup> /sec) | Relative<br>density<br>diff., $\epsilon$ | Total<br>depth,<br>h <sub>00</sub> (cm) | Upper l'y<br>depth,<br>h <sub>10</sub> (cm) | Upper l'y<br>Reynolds.<br>No., Re <sub>1</sub> | Densimetric<br>Froude<br>No., Fd <sub>10</sub> |
|-----|--|--|---|---|--|--|
| 1   | 208  | 0.0201                                   | 20.0                                    | 3.1   | 1483   | 0.888  |
| 2   | 255  | 0.0079                                   | 20.0                                    | 5.0   | 1821   | 0.818  |
| 3   | 390  | 0.0083                                   | 20.3                                    | 6.0   | 2791   | 0.788  |
| 4   | 390  | 0.0175                                   | 20.1                                    | 5.0   | 2791   | 0.844  |
| 5   | 527  | 0.0180                                   | 20.1                                    | 6.5   | 3761   | 0.767  |
| 6   | 527  | 0.0277                                   | 20.1                                    | 5.3   | 3761   | 0.823  |
| 7   | 527  | 0.0181                                   | 17.5                                    | 5.8   | 3761   | 0.909  |
| 8   | 527  | 0.0277                                   | 17.6                                    | 5.2   | 3761   | 0.866  |
| 9   | 700  | 0.0148                                   | 20.2                                    | 6.9   | 4991   | 0.923  |
| 10  | 700  | 0.0281                                   | 20.2                                    | 6.1   | 4991   | 0.884  |
| 11  | 700  | 0.0183                                   | 17.6                                    | 6.9   | 4991   | 0.910  |
| 12  | 700  | 0.0278                                   | 17.6                                    | 5.9   | 4991   | 0.934  |
| 13  | 870  | 0.0178                                   | 20.3                                    | 8.1   | 6213   | 0.903  |
| 14  | 870  | 0.0278                                   | 20.2                                    | 6.6   | 6213   | 0.983  |
| 15  | 870  | 0.0180                                   | 17.6                                    | 7.5   | 6213   | 1.008  |
| 16  | 870  | 0.0276                                   | 17.7                                    | 6.8   | 6213   | 0.942  |
| 17  | 1007                                       | 0.0179                                   | 20.3                                    | 8.2   | 7191   | 1.024  |
| 18  | 1007                                       | 0.0278                                   | 20.3                                    | 7.2   | 7191   | 0.998  |
| 19  | 1007                                       | 0.0179                                   | 17.7                                    | 8.1   | 7191   | 1.043  |
| 20  | 1007                                       | 0.0277                                   | 17.7                                    | 7.2   | 7191   | 1.001  |
| 21  | 1212                                       | 0.0179                                   | 20.4                                    | 9.3   | 8657   | 1.029  |
| 22  | 1212                                       | 0.0277                                   | 20.4                                    | 8.2   | 8657   | 0.991  |
| 23  | 1212                                       | 0.0181                                   | 17.8                                    | 9.0   | 8657   | 1.066  |
| 24  | 1212                                       | 0.0278                                   | 17.8                                    | 8.0   | 8657   | 1.026  |

폭 10 cm 의 아크릴제의 장방형단면 개수로로서, 해역부는 길이 274 cm, 폭 183 cm, 높이 91 cm 의 강철제의 수조를 사용하였다. 수조에는 하구에서의 수심급증에 의해 국소류효과를 피하기 위하여 하구로부터 외측 150 cm 까지는 개수로부와 동일한 기울기로 저판을 설치하였다.

염수채기는 수조내에 일정농도의 염수를 채운 후 담수를 수로상류단으로부터 흘려서 생기시키고, 염수축의 저하를 억제하기 위하여 수조하류단의 저부로부터 염수보급을 행하였다. 염수채기가 정상에 달한 것을 확인한 후 염분농도와 유속측정을 개시하였다. 염분농도는 電氣傳導計로 측정하고, 출력전압은 PC에 입력하여 AD 변환을 행하였다. 유속측정은 하도내에서는 가시화수법에 의하고, 해역에서는 소형 propeller 유속계를 사용하여 행하였다. 흐름 가시화를 위한 tracer 로서는 형광염료를 혼합한 Xylene 과 chlorobenzene 의 혼합용액을 주사기로

주입하여 유적을 만들고, 암실 상방으로부터 slit 주사하여 상하층에서의 입자의 궤적으로 video camera 로 촬영하였다. 그 궤적을 화상해석하여 유속을 구하였다. 한편, 계면은 methylene blue 용액 또는 uranine 용액에 의해 가시화하여 관찰하였다. Table 1 에 실험조건을 나타냈다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연직방향의 밀도분포와 계면형상의 변화

이층류(二層流)에 있어서의 연직방향의 밀도 분포형에 대하여는 Holmboe model(Tominaga, 1976)이 자주 사용되어 왔다. 이 모델과 실험치와를 비교한 것이 Fig.2 이다. 그림 중의 실선이 Holmboe model 이며, (1)식으로 주어진다. 또 종축의 원점은 밀도  $\rho$  가 상하층의 밀도  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  의 2승평균치로 되는 수심을 취하고 있다.

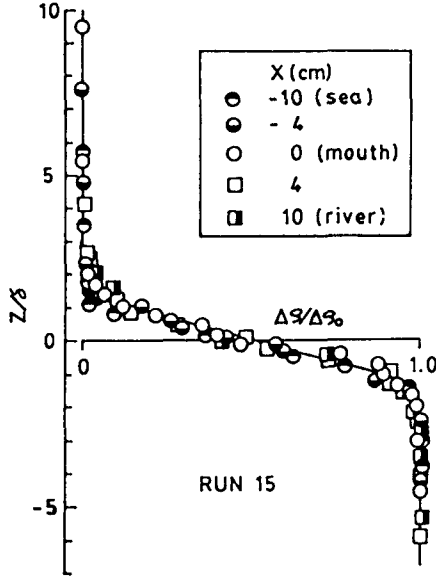


Fig. 2. Vertical density profiles.

$$\rho = \bar{\rho} \exp\{-\alpha \tanh(z/\delta)\} \quad (1)$$

여기에,  $\bar{\rho}$ 는 상하층의 밀도의 2층 평균치(=  $\sqrt{\rho_1, \rho_2}$ ),  $\alpha$ 는 상하층간의 밀도차를 나타내는 무차원 parameter,  $\delta$ 는 특성두께이다. Fig.2에서 볼 수 있듯이, 하도내, 해역 모두 본 실험결과는 Holmboe model을 충분히 만족하고 있고, Dermis-sis와 Partheniades(1985)에 의한 정상염수쇄기에서의 실험결과와도 양호하게 일치하므로,  $\rho = \bar{\rho}$ 로 되는 수심을 계면,  $\delta$ 를 약층두께로 정의함이 타당함을 알 수 있다. Fig.3은 흐름의 중심축상에서 측정된 계면형상의 유하방향에 따른 변화를 나타낸다. Fig.3(a)는 하구에서의 상층밀도 Froude 수  $F_{d10} \approx 0.85$ 의 경우를 Fig.3(b)는  $F_{d10} \geq 0.82$ 의 경우를 나타낸다. 여기서 종축, 횡축은 각각 하구에서의 상층 수심으로 무차원화한 것이다. 이 그림으로부터, 계면형상의 전체적인 경향은  $x/h_{10} = 2$  부근으로부터 변화하기 시작하여, 하구를 조금 나온 위치에서 계면기울기는 최대가 되는 것을 알 수 있다. 이것은 하구에서의 수심폭의 급확대의 영향이 수로내에까지 미치고 있기 때문으로 생각된다. 또  $F_{d10}$ 가 다른 Fig.3(b)에 주목하면, 밀도 Froude 수가 커짐에 따라, 계면기울기가 급해지는 경향이 있음을 알 수 있다. 이 경향은 정성적으로는 Fukuoka 등(1982)에

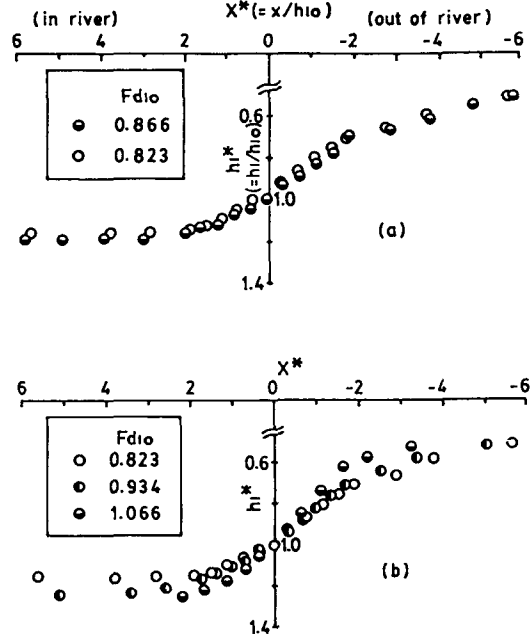


Fig. 3. Nondimensional interface forms in the vicinity of river mouth.

의한 실험결과와 일치한다. 그러므로, 하구부근에서의 계면형상은 밀도 Froude 수에 의해 결정된다고 말할 수 있다.

연행(entrainment)을 무시한 때의 계면형상은 일반적으로 다음과 같은 정상 점변일차원 이층류의 기초식으로 기술된다.

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{1}{\epsilon(1-F_{d1}^2)} \{-i_{r1} + i_{r2}\} \quad (2)$$

윗 식에 의하면,  $F_{d1} \geq 1$ 의 경우, 하구부근에서는 계면기울기가 무한대로 되는가, 또는 실제 현상과는 반대의 경향이 되므로, 식 (2)로는 Fig.3의 계면형상을 제대로 설명할 수 없다. 따라서, 계면형상을 기술하기 위하여는 하구부근에서의 계면의 만족효과를 고려한 급변류해석을 행할 필요가 있으며, 그 이론의 개요에 대하여 기술하면 다음과 같다.

2층류에 있어서의 상하층의 흐름이 potential flow 라고 가정하면, 상하층에 대하여 각각 다음과 같은 Bernoulli 식이 성립한다.

즉, 상층에서는

$$\rho_1/2 \cdot (\psi_{1x}^2 + \psi_{1y}^2) + \rho_1 gy + P_1 = \rho_1 R_1 \quad (3)$$

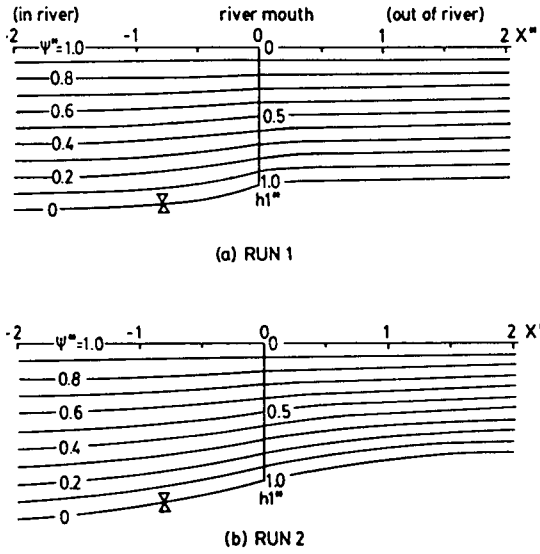


Fig. 4. Nondimensional streamlines by means of relaxation method.

하층에서는

$$\rho_2/2 \cdot (\psi_{2x}^2 + \psi_{2y}^2) + \rho_2 g y + P_2 = \rho_2 R_2 \quad (4)$$

여기에,  $R_1, R_2$ 는 상하층에서의 단위폭당의 energy이며,  $g$ 는 중력가속도이다. 첨자  $x, y$ 는  $x$  및  $y$ 에 관한 미분을 나타낸다. 또한  $\psi$ 는 흐름함수,  $\rho$ 는 밀도,  $P$ 는 압력, 첨자 1, 2는 상층, 하층을 나타낸다.

계면은 하나의 유선이기 때문에 계면을 따라 식 (3) 및 식 (4)가 성립하고, 또 계면에 있어서는  $P_1 = P_2$ 라고 하는 조건으로부터 계면높이  $y = \eta$  라 하면 다음 식이 성립한다.

$$\rho_1 R_1 - \rho_2 R_2 = \rho_1/2 \cdot (\psi_{1x}^2 + \psi_{1y}^2) - \rho_2/2 \cdot (\psi_{2x}^2 + \psi_{2y}^2) + (\rho_1 - \rho_2) g \eta \quad (5)$$

지금, 하층에서의 유속을 무시하면, 계면높이  $\eta$ 는 다음식으로 표시된다.

$$\eta = \frac{1}{(\rho_2 - \rho_1)g} \left\{ \frac{\rho_1}{2} (\psi_{1x}^2 + \psi_{1y}^2) - \rho_1 R_1 + \rho_2 R_2 \right\} \quad (6)$$

또, 하구로부터 충분히 떨어진 상류측에 있어서 정수압근사가 성립하는 수심의 계면에 있어서의 Bernoulli 식은 다음과 같이 된다.

$$\rho_1 R_1 = \frac{\rho_1}{2} (q_1/h_{1r})^2 + \rho_1 g h_{1r} + \rho_1 g \eta_f \quad (7)$$

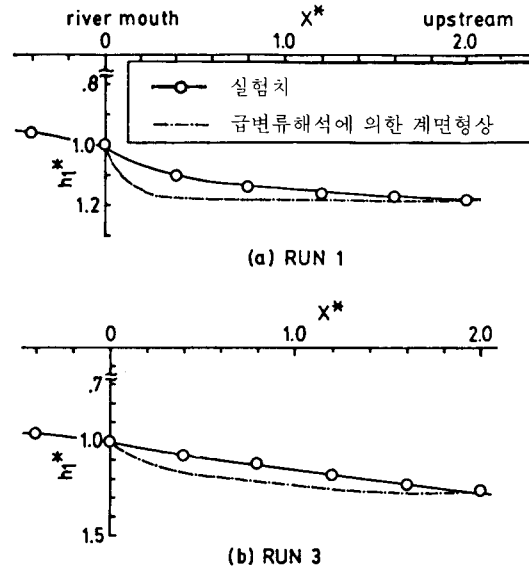


Fig. 5. Comparisons of interface forms in the vicinity of river mouth between experimental results and computation results.

$$\rho_2 R_2 = \rho_1 g h_{1r} + \rho_2 g \eta_f \quad (8)$$

여기서,  $q$ 는 단위폭당의 유량,  $h$ 는 수심, 첨자  $r$ 는 정수압근사가 성립하는 수심에서의 값을 나타낸다.

이상으로부터, 계면에서의 유속을 알면 식 (6)-(8)을 이용하여 계면의 높이가 구해진다. 그러나 계면에서의 유속분포는 계면형상을 모르면 구할 수가 없다. 따라서, 실험에 의해 얻어진 계면형으로 relaxation method를 이용하여 흐름함수를 계산한 후 (7), (8)식에 의하여 계면형상을 구하였다.

Fig.4는 유선의 계산결과를 나타낸다. 여기서  $x^*, h_1^*$ 는  $x$  좌표와 상층부 수심을 각각 하구에서의 상층부 수심  $h_{10}$ 으로 무차원화한 것이며  $\psi^*$ 는 무차원 흐름함수이다. 이  $\psi^*$ 에 의해 무차원유속  $u^*$  및  $v^*$ 가 (9)식에 의해 구하여진다.

$$u^* = -\frac{\partial \psi^*}{\partial y}, \quad v^* = \frac{\partial \psi^*}{\partial x} \quad (9)$$

Fig.5는 윗식에 의해 구한 계면에서의 유속분포를 전술한 식 (6)에 대입하여 얻어진 계면형상과 실험결과와의 비교를 행한 것이다. 이 결과로부터 하구부근에서의 계면형상의 변화가 급변류해석에 의해 어느정도 양호하게 재현되는 것이 인정된다.

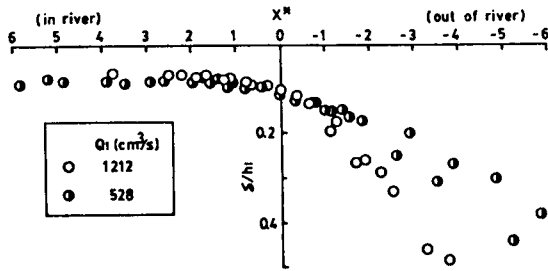


Fig. 6. Nondimensional interfacial thickness variations in flow direction.

### 3.2 약층의 두께

연직방향의 밀도분포가 Holmboe model 과 근사한 경우에 정의되는 약층의 특성두께 (또는 계면층의 두께)  $\delta$  의 유하방향의 변화를 Fig.6에 나타내었다. 종축은 약층두께를 각 측정점에 있어서의 상층부 수심에 의해, 횡축은 유하방향의 거리를 하구에서의 상층부 수심에 의해 각각 무차원화 하였다. 이 그림에 의하면, 약층두께는 하도내에 있어서는 거의 일정치를 가지고 있으나, 하구부근에서부터 서서히 증가하기 시작하여 하도밖으로 나오면, 약층두께는 급속히 크게 된다. 또한 담수유량이 많을수록 하구를 나온 후부터의 계면형상의 변화율이 큰 것을 볼 수 있다.

이것은 하구로부터 바다로 향할수록 담수심은 감소하지만, 유속은 역으로 증가하므로 상층의 밀도 Froude 수가 커져, 연행량이 증가함을 의미한다. 그 결과, 약층두께가 유하함에 따라 증대하는 것으로 추정된다.

한편, Fig.7은 본 실험에서 얻어진 층평균 Richardson 수  $R_i$ 에 따른 약층두께의 변화를 나타낸다. 종축은 각 측정점에 있어서의 담수심으로 무차원화되어 있다. 또한 그림중의 흰 것과 검은 것은 각각 하도내 및 하도밖에서의 값을 나타낸다. 이 그림으로부터, 약층두께는  $R_i$ 에 의존성이 비교적 약한 것을 알 수 있다. 이 결과는 다음과 같은 회귀식에 의해 주어진다.

$$\delta/h_1 = 0.058 + 0.0485R_i^{-1} \quad (9)$$

본 실험의  $R_i$ 는 0.4~1.15 라고 하는 좁은 범위에 있기 때문에  $R_i$ 가 커짐에 따라 약층두께가 일정치에 접근하는 경향은 보이지 않았다. 또한  $R_i$ 수가 1.0

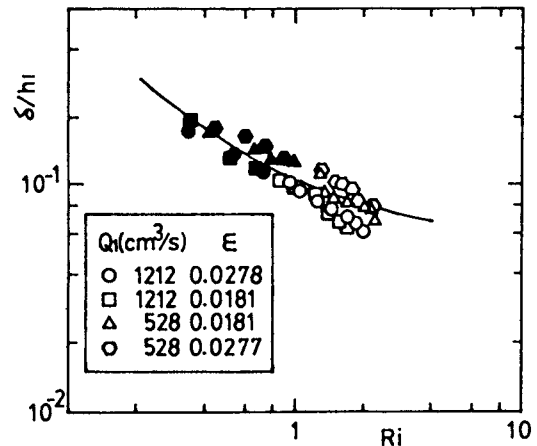


Fig. 7. Nondimensional interfacial thicknesses with overall Richardson number.

의 부근에 있어서 약층 두께는 상층수심의 약 0.1 배 정도의 값을 취하고 있다. 이것은 Crapper 등 (1974)이 나타낸  $\delta/h_1 = 0.23 \sim 0.24$  보다는 작은값인데, 이 차이는 약층두께나  $R_i$ 의 정의에 의한 것으로 생각된다.

### 3.3 하구에서의 상층수심과 수리량과의 관계

Suga (1979)는 연행을 고려한 경우의 하구에서의 수리조건을 Stommel 등(1953)과 같은 가정하에  $F_{a10}^2 + F_{a20}^2 = 1$  이 됨을 유도하였다. 여기서,  $F_{a10}$ ,  $F_{a20}$ 는 각각 하구에서의 상층 및 하층에서의 밀도 Froude 수를 나타낸다. 그러나, 현지 관측이나 실내실험의 결과로부터 반드시 이러한 조건이 성립하지 않는다는 사실이 밝혀져, 하구에서의 수리조건에 관하여 재검토해야 할 필요가 있다.

Fig.8(a), (b)는 하구에서의 밀도 Froude 수  $F_{a1}$  또는  $F_{a1}^2 + F_{a2}^2$ 과 상층수심  $h_{10}$ 와의 관계를 나타낸다. 여기에, 종축은 하구에서의 전수심  $h_{00}$ 로 무차원화한 것이다. 이 그림으로부터, 본 실험에 있어서도 하구에서의  $F_{a10}$  및  $F_{a10}^2 + F_{a20}^2$ 가 반드시 1은 아니며,  $h_{10}$  즉 하구에서의 담수심에 의해 변화하는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 결과를 이론적으로 검토하기 위하여 Hukuoka 등(1982)과 마찬가지로 임의점에서의 압력  $P$ 가 정수압과 이것으로부터의 차압  $P'$ 와의 합으로 표시할 수 있다고 보아, (10)식을 얻을 수 있다.

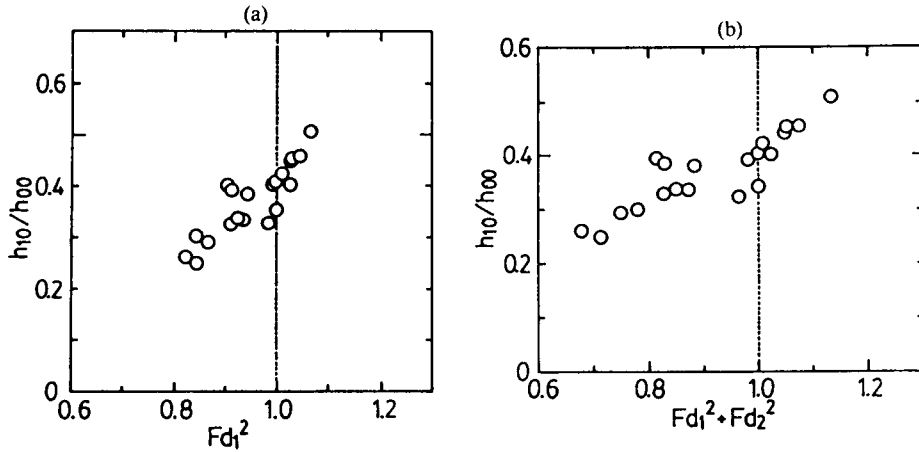


Fig. 8. Relationships between upper layer depth and densimetric Froude number at river mouth.

흐름방향을 x 축, 연직방향을 z 축으로 좌표계를 취하면

$$\left. \begin{aligned} \text{상층: } P(x, z) &= \rho_1 g(s-z) + P'(x, z) \\ \text{하층: } P(x, z) &= \rho_1 g h_1 + \rho_2 g(i-z) + P'(x, z) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

여기서, s, i는 각각 수표면, 계면 위치를 나타낸다.

한편, 두층간의 연행을 무시할 수 있다고 가정하면, 계면기울기를 나타내는 기초식은 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{1}{1 - F_{d1}^2 \left(1 + \frac{P'_i}{\rho_2 u_1^2}\right)} \left\{ \frac{1}{\varepsilon g \rho_2} \left(1 + \frac{P'_i}{\rho_1 g h_1}\right) \frac{\partial P'_i}{\partial x} - \frac{1}{\varepsilon g \rho_1 h_1} \frac{\partial}{\partial x} \int_i^s P' dz - \frac{f_i}{2 \varepsilon g h_1} u_1^2 - \left(1 + \frac{P'_i}{\rho_1 g h_1}\right) \frac{f_i (1 - \varepsilon)}{2 \varepsilon g h_2} u_1^2 \right\} \quad (11)$$

이 식을 Stommel 등(1952)과 마찬가지로 하구에서 분모가 0이 성립된다고 가정하면, 하구에서의 상층밀도 Froude 수는 다음과 같이 표시된다.

$$F_{d10} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P'_i}{\rho_2 u_1^2}}} \quad (12)$$

여기서,  $P'_i$ 를 relaxation method에 의해 구하면, 이 때의  $P'_i / \rho_2 u_1^2$ 은  $10^{-2}$ 의 order로서,  $F_{d10}$

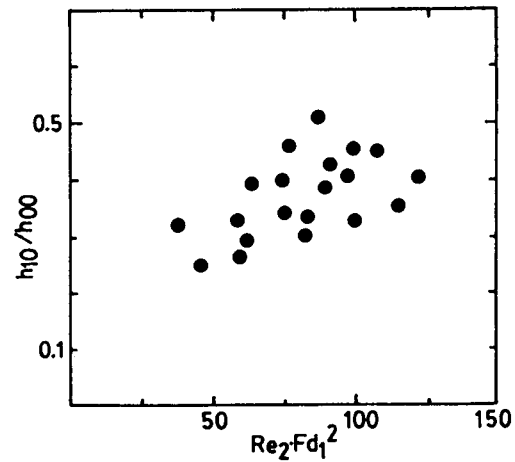


Fig. 9. Relationship between  $Re_2 F_{d1}^2$  and  $h_{10}/h_{00}$ .

은 0.9~0.99의 범위로 된다. 이로부터, 계면의 만곡에 의한 영향을 고려하더라도 하구에서의 수리조건은 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다.

실제의 하구부는 상층을 흐르는 하천수와 하층으로부터 침입하여 오는 해수가 서로 영향을 주고 있는 수역으로서, 상층의 흐름은 난류, 하층의 흐름은 층류상태로 생각한다. 따라서, 상층에 있어서는 중력효과가 점성보다 탁월하고, 하층에 있어서는 역으로 중력보다 점성효과가 탁월한 것으로 추정된다. 그러므로 하구에서의 수리조건을 종래와 같은 상층 밀도 Froude 수만으로 표현하는 것보다 상하층에서의 흐름특성을 생각한 각각의 수리량으로 표현하는 것이 타당한 것으로 생각된다. 따라서, 상층에 있어

Table 2. Experimental conditions

| Run | Discharge Q1<br>(cm <sup>3</sup> /sec) | Relative density<br>diff., $\epsilon$ | Total depth,<br>$h_{00}$ (cm) | Upper l'y depth,<br>$h_{10}$ (cm) | Water rise,<br>$\Delta\eta_1$ (cm) |
|-----|--|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1   | 390                                    | 0.0175                                | 20.10                         | 5.0                               | 0.225                              |
| 2   | 527                                    | 0.0180                                | 20.10                         | 6.45                              | 0.25                               |
| 3   | 527                                    | 0.0277                                | 20.10                         | 5.30                              | 0.25                               |
| 4   | 527                                    | 0.0181                                | 17.50                         | 5.75                              | 0.20                               |
| 5   | 527                                    | 0.0277                                | 17.57                         | 5.15                              | 0.22                               |
| 6   | 700                                    | 0.0178                                | 20.15                         | 6.90                              | 0.30                               |
| 7   | 700                                    | 0.0281                                | 20.15                         | 6.10                              | 0.275                              |
| 8   | 700                                    | 0.0183                                | 17.60                         | 6.90                              | 0.25                               |
| 9   | 700                                    | 0.0278                                | 17.61                         | 5.90                              | 0.23                               |
| 10  | 870                                    | 0.0178                                | 20.25                         | 8.10                              | 0.325                              |
| 11  | 870                                    | 0.0278                                | 20.20                         | 6.60                              | 0.275                              |
| 12  | 870                                    | 0.0180                                | 17.60                         | 7.50                              | 0.2                                |
| 13  | 870                                    | 0.0276                                | 17.65                         | 6.80                              | 0.25                               |
| 14  | 1007                                   | 0.0179                                | 20.30                         | 8.20                              | 0.375                              |
| 15  | 1007                                   | 0.0278                                | 20.30                         | 7.20                              | 0.35                               |
| 16  | 1007                                   | 0.0179                                | 17.65                         | 8.10                              | 0.30                               |
| 17  | 1007                                   | 0.0277                                | 17.71                         | 7.20                              | 0.28                               |
| 18  | 1212                                   | 0.0179                                | 20.35                         | 9.25                              | 0.375                              |
| 19  | 1212                                   | 0.0277                                | 20.35                         | 8.20                              | 0.35                               |
| 20  | 1212                                   | 0.0181                                | 17.75                         | 9.00                              | 0.35                               |
| 21  | 1212                                   | 0.0278                                | 17.80                         | 8.00                              | 0.36                               |

서는  $F_{d1}$ 을, 하층에 있어서는  $R_{e2}$ 를 대표량으로 도입하여, 종래 계면저항계수의 parameter인 Iwasaki수  $\psi (=R_{e1}F_{d1}^2)$ 와 유사한 수리량  $\psi' (=R_{e2}F_{d1}^2)$ 를 하구에서의 수리조건을 나타내는 하나의 parameter로서 정의할 수 있다.

Fig.9에  $\psi'$ 와  $h_{10}/h_{00}$ 와의 관계를 나타낸다. 이 그림으로부터  $\psi'$ 가 증가하면, 상층부 수심도 증가하는 경향에 있다. 예를 들면, 유량증가와 같이 담수층이 염수층보다 관성력이 상대적으로 큰 경우에는 상층부 수심이 커서  $\psi'$ 가 작아진다. 또한 염수가 미치는 점성저항 및 담수자신의 부력효과가 탁월하게 되면, 담수심이 작아지며, 하구에서의 수리조건이 상하층의 상호작용에 의해 결정됨을 의미하고 있다. 그러나, 정량적인 파악을 하기에는 측정자료가 적기 때문에, 금후 더욱 연구를 요한다.

3.4 하구수위에 관한 고찰

하구에서의 수위는 실제의 하도계획을 세우는 경우에 있어서도 부등류계산의 원점이 되기 때문에 매우 중요한 문제이지만, 이와 관련한 연구결과는 극

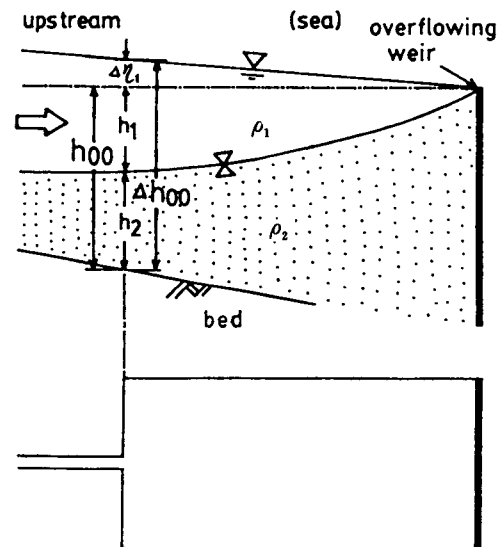


Fig. 10. Outline map of river plume.

히 미흡한 실정이다. 여기서는 담수유량의 증감에 따른 하구수위의 반응에 관하여 다룬다. Table 2에 실험조건을 Fig.10에 하구유출에 관한 개념도를

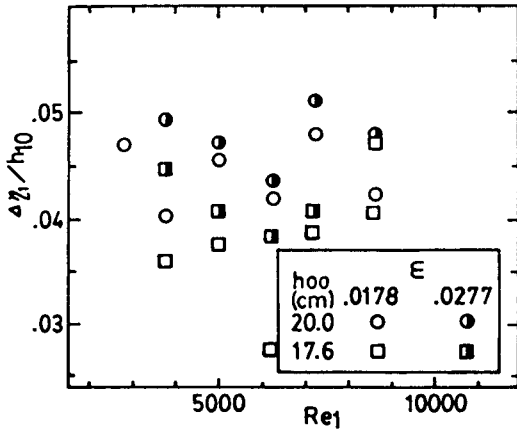


Fig. 11. Relationship between  $Re_1$  and  $\Delta\eta_1/h_{10}$ .

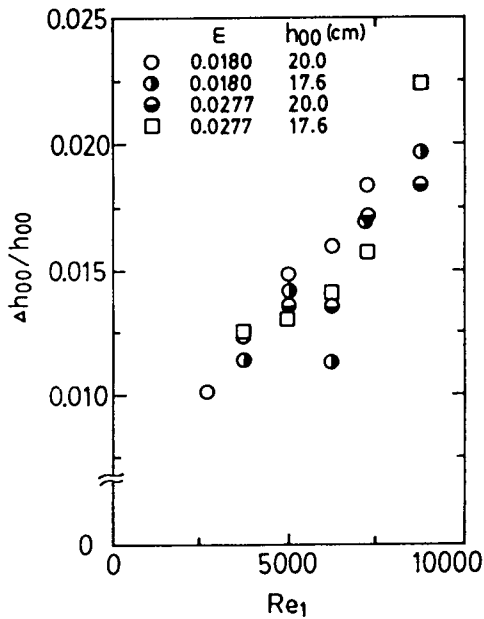


Fig. 12. Relationship between  $Re_1$  and  $\Delta h_{00}/h_{00}$ .

각각 나타낸다.

우선, 담수유량이 변하여도 그 유동에 관해서는 전혀 변화가 없는 경우를 고려한다. 즉, 밀도  $\rho_2$ 의 유체위에 그보다 가벼운 밀도  $\rho_1$ 의 유체가 떠있는 상태를 생각하여 이 때의 하구하류단에 대한 수위상승량  $\Delta\eta_1$ 은 근사적으로 다음식과 같이 된다.

$$\rho_1 g (h_1 + \Delta\eta_1) = \rho_2 g h_1$$

따라서

$$\Delta\eta_1 = (\rho_2 - \rho_1) h_1 / \rho_1 \cong \epsilon h_1 \quad (13)$$

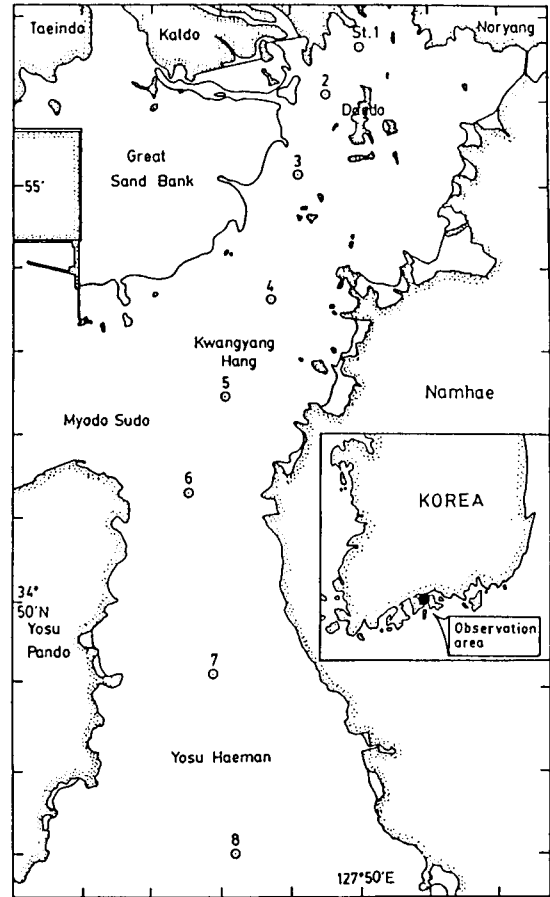


Fig. 13. Oceanographical observation at fixed points.

즉,  $\Delta\eta_1$ 을 하구에서의 상층수심  $h_1$ 으로 무차원화한 parameter는 상대밀도차  $\epsilon$ 과 거의 동일한 것을 나타낸다.

Fig.11은  $\Delta\eta_1/h_{10}$ 과  $Re_1$ 과의 관계를 나타낸다.  $\epsilon$ 가 큰 경우에  $\Delta\eta_1/h_{10}$ 도 커지는 경향은 있으나,  $\Delta\eta_1/h_{10}$ 는 모든  $\epsilon$ 의 값을 상회하고 있다. 이것은 유출류의 유동도 전혀 고려하지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 Fig.12는 무차원화한 하구에서의 전수위  $\Delta h_{00}/h_{00}$ 과  $Re_1$ 과의 관계를 나타내는데, 상층 Reynolds수  $Re_1$ 가 커짐에 따라 하구에서의 전수위  $\Delta h_{00}/h_{00}$ 도 거의 선형적으로 증가함을 보여주며, 상대밀도차  $\epsilon$ 이 수위상승에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다.

### 3.5 하구에서의 성층구조의 관측

Fig.13은 1989년 6월 28일(월령 24.3일) 섬진강



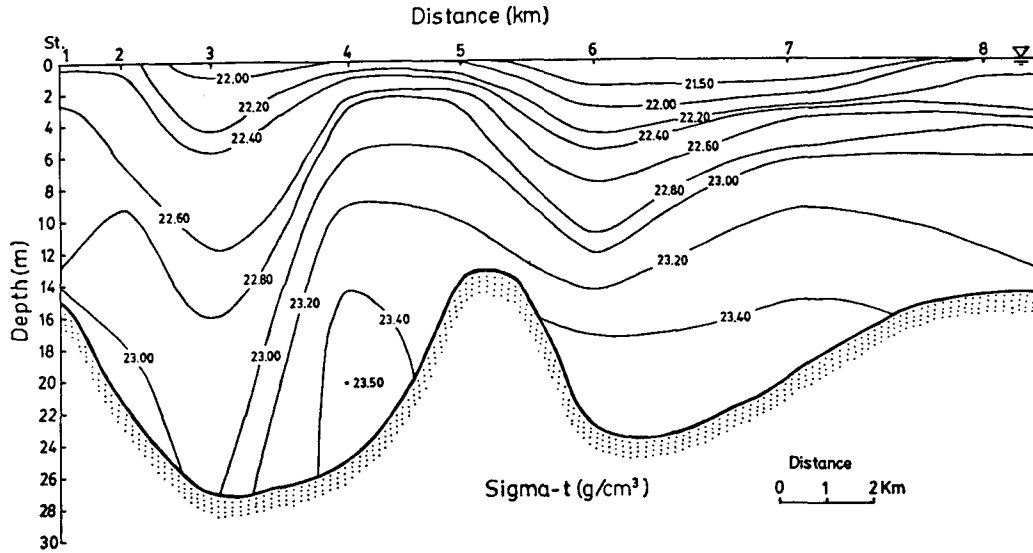


Fig. 14. Sigma-t distribution in flow direction.

하구에서 관측선에 의해 조사한 수온, 염분의 관측 정점을 나타낸다. 이들 자료를 토대로, Knudsen table에 의하여 구한 현장밀도  $\sigma_t$ 의 연직분포는 Fig.14에 나타낸다.

이 결과에 의하면, 하구부근에서의 성층은 안정하며, 섬진강으로부터 유출된 하천수에 의해 희석된 하구수와 모도수도를 통하여 빠져나오는 광양만 내수가 여수해만으로부터 유입되는 외양수와 만나, St.5(하구로부터 약 6 km 거리) 및 여수신항의 북동쪽 외측인 St.8(하구거리 20 km) 부근에 강한 밀도 전선이 형성되어 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

정상염수쇄기가 존재하는 경우의 하구에서의 수리 조건을 지배하는 parameter를 실험적으로 검토하고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 하구부근에서의 계면기울기는, 상층밀도 Froude 수가 클수록 급하여지며, 하구를 조금 나은 위치에서 최대가 된다.
- (2) 약층두께는 층평균 Richardson 수의 함수이다. 또한 약층두께의 흐름방향의 변화율은 담수유량이 많을수록 크다.
- (3) 하구에서의 밀도 Froude 수는 반드시 1은 아니며, 상층수심에 의해 변화한다.

(4) 하구의 수위상승량은 상대밀도차에 비례하는 경향이 있다.

섬진강 하구에서의 현지관측조사는 앞으로도 계속하여, 수온, 염분은 물론, 측류, 하천유량 등에 이르기까지 광범위한 자료를 수집하여 추후 이에 대한 보다 상세한 해석과 검토를 행할 계획이다.

사 사

본 연구는 문교부 학술진흥재단 일반연구비의 지원에 의하여 이루어졌다.

참고문헌

Crapper, P.E. and Linden, P.F., 1974. The structure of turbulent density interfaces, *J. of Fluid Mechanics*, 65: 45-63.

Dermissis, V. and Partheniades, E., 1985. Dominant shear stresses in arrested saline wedges, *J. of Waterway, Port. Coastal and Ocean Eng., ASCE*, 3(C4): 733-752.

Knauss, J.A., 1978. Introduction to physical oceanography, Prentice-Hall Inc., 10-15.

Stommel, H. and Farmer, H.G., 1952. Abrupt change in width in two layer open channel flow, *J. of Marine Research*, Vol. 11, No. 2: 205-214.

富水政英, 1976, 海洋波動—基礎理論と觀測成果—, 共立出版(株), 東京: 528-569.

須賀堯三, 1979, 感潮河川における鹽水くさびの水理に関する

- 基礎的研究, 土木研究所報告書, 1357: 1-255.
- 玉井信行, 1980, 密度流の水理, 技報堂出版(株), 東京: 127-149.
- 福岡捷二, 福岡祐介, 守屋祥一, 新壓高久, 1892, 河口密度流の流動機構と鹽水くさびの河口条件, 土木學會論文集, 327: 61-71.
- 中辻啓二, 1984, 表層密度噴流の混合機構と擴がりに関する基礎的研究, 大阪大學大學院工學博士學位請求論文, 大阪, 日本: 1-104.
- 日本土木學會, 1985, 水理公式集, 東京: 57-62.
- 室田明, 1986, 河川工學, 技報堂出版(株), 東京: 157-164.