

## 폐쇄성해역에 있어서의 새로운 수질개선책에 관한 연구

국 승 기\*

A Study on the New Method for Water-Purification in a Semi-enclosed Bay

*S. G. Gug*

**Key Words** : 조석잔차류(Tidal Residual Current), 해수교환(Tidal Exchange), 입자추적법 (Euler-Lagrange Method), 저면조도(Bottom Roughness), 수질정화(Water Purification)

### Abstract

Water pollution in a semi-enclosed sea area such as a bay due to stagnancy of water has been a serious water environmental problem. Recently, some kinds of new methods to activate the tidal exchange between an inner bay and an outer sea area by control of a tidal residual current have been proposed. However, these methods have several problems, that is, I). deterioration in a natural view due to building of huge structures, II). increase of risk of navigation in case of a submerged structure, III). limitation of sea area where a tidal current can be controlled and IV). difficulty in removing those structures in case of occurrence of an unexpected impact on water environment.

In this paper, a new method is proposed, which can solve all the above problems, to purify water quality in a semi-enclosed bay by creation and control of a pattern of a tidal residual current. The tidal residual current is controlled by unsymmetric structures, which change the properties of resistance according to the direction of flow, arranged on the sea bottom. In this study, several numerical and hydraulic experiments of tidal current and particle-tracking for various arrangements of bottom roughness in a semi-enclosed model bay were carried out. As a result of experiments, it becomes clear that it is possible to generate a new tidal residual current and to activate a tidal exchange by only operation of bottom roughness arrangement.

---

\* 정회원, 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

### 1. 서론

연안역에는 내만이나 어항 등 폐쇄성 해역이 많이 존재하고 있지만, 이러한 해역에서는 외해와의 해수교환이 일어나기 어려워서, 만내수의 정체에 의한 만성적인 수질악화가 심각한 문제로 되어 있다. 그러나 만전체에 대하여 계속적으로 수질개선 대책을 강구하는 것은 쉽지 않아서, 새로운 방법의 개발이 요망되어진다. 이러한 현황에 입각하여, 근년, 방파제나 만구부의 형상을 조작하는 것에 의해 만내부의 유황을 제어하여, 해수교환의 활발화를 꾀하고자 하는 방법들이 제안되어 있다. 예를 들면, 上嶋들<sup>1)</sup>은 만내 또는 만구에 방파제와 같은 구조물을 설치하는 방법을, 村上들<sup>2)</sup>은 만구부의 방파제의 형상을 바꾸는 방법을, 더욱이 大谷들<sup>3)</sup>은 만구부의 양쪽에 조류를 박리시키는 구조물을 설치하는 방법을 제안하고 있다. 또한, 小松들<sup>4)</sup>은 흐름의 방향에 의해 저항이 다른 2차원 구조물을 측벽부에 설치하여, 해안선을 따라 일방향류를 생성하는 방법을 제안하고 있다. 그러나, 이 방법들은 장대구조물을 건설하는 것에 의한 경관상의 문제나, 잠재한 경우에는 선박의 항행의 안전성의 문제나, 또한 만구부의 개랑에 의한 방법이나 측안에 방향성이 있는 구조물을 설치하는 방법에서는 유황제어의 가능한 범위가 구조물의 주변에만 제한된다고 하는 문제가 예상되어, 친수 공간으로서의 역할이 큰 해역이나 만전체 등의 넓은 영역에 대한 수질개선책으로서의 여전히 문제가 남는 것으로 생각되어진다. 또한, 전체에 공통되는 문제점으로서, 만일 예상과 다른 효과가 발생한 경우에 간단히 구조물을 제거하는 것이 불가능하다는 것을 들 수 있다. 본연구에서는, 상술한 문제점을 모두 해결하고, 흐름의 방향에 의해 저항특성이 다른 비교적 소규모의 구조물(이하 "저면조도"라고 한다)을 해저면에 침설하는 것에 의해서, 만내에 발생하는 조석잔차류를 제어한다고 하는 방법을 제안하고, 그 효과에 대하여 수치 계산에 의해서 검토하여 보았다.

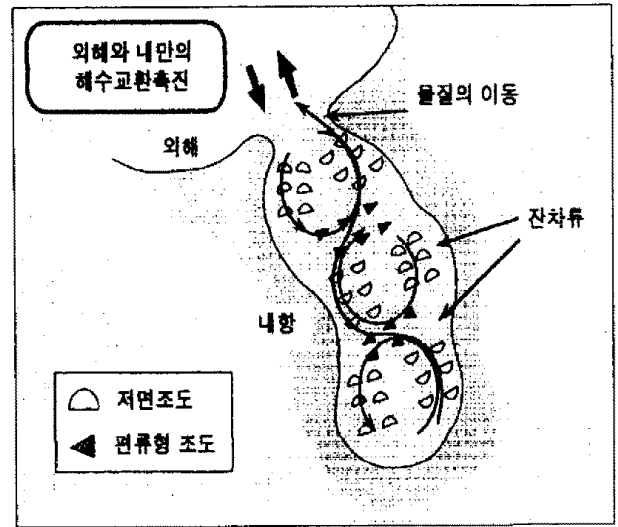


Fig. 1 Creation and Control of Tidal Residual Current by Bottom Roughness

### 2. 저면조도의 영향의 평가방법

본연구에서 제안하는 방법은, Fig. 1에 표시한 바와 같이 흐름의 방향에 의해서 저항이 다른 3차원 저면인공조도를 만내의 해저면에 배치하여, 일주기 평균으로 얻어지는 조석잔차류를 창조·제어하고자 하는 것이다.

이 방법은, 만내에 있어서 저면조도를 기본적으로 자유로이 배치하는 것이 가능하기 때문에, 해수교환이 유리하게 되도록 조석잔차류의 패턴을 자유로이 디자인하는 것이 가능하게 된다. 조도형상을 강구함에 따라서 큰 조도차가 획득 가능하여, 효율 좋게 조류를 제어하는 것이 기대되고 있다.

금회의 검토에 사용된 평면 2차원 모델에 의한 조류 시뮬레이션에서는, 해저마찰에 의한 저면 전단력은 다음의 식과 같이 평가된다.

$$\frac{\tau_b}{\rho} = \gamma_b^2 U |U| \tag{1}$$

여기서,  $\tau_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$  : 저면전단력 벡터,  $\gamma_b^2$  : 해저마찰계수,  $U = (U, V)$  : 수심평균 유속 벡터,  $\rho$  : 해수의 밀도이다.

해저마찰계수는 驚見<sup>5)</sup>에 의해서 정리된 과거의 대표적인 관측결과로부터,  $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 의 Order로 폭넓은 값이 얻어졌다. 그래서 급회에는 통상 사용되어지고 있는  $\gamma_b^2 = 0.0026$ 을 기준치로하여 이용했다.

小松<sup>6)</sup>은 3차원 형상의 저면조도의 주방향의 저항특성을 조사하기 위하여, 개수로의 흐름에 설치된 저면조도에 작용하는 항력을, 순류(저항이 작은 방향의 흐름)과 역류(저항이 큰 방향의 흐름)의 양방향에 대하여 조도의 높이에 대한 상대수심 및 레이놀즈수를 다양하게 변화시킨 수리조건하에서 측정하였는데, 유효한 조도형상 중의 하나인 1/4구형의 경우,  $\Delta C_d \approx 1.0$  정도로 되는 것이 확인되었다. 그래서, 해저조도를 설치한 경우에는 방향에 의한 해저마찰계수차가 전체 조도의 기여에 의한 것으로 가정하여, 다음식에서 해저조도를 설치한 경우의 해저마찰계수차  $\Delta\gamma_b^2$ 을 산정했다.

$$\Delta\gamma_b^2 = \frac{n}{A_b} A \frac{\Delta C_d}{2} \quad (2)$$

여기서,  $n$  : 면적  $A_b$ 당 조도의 설치계수,  $A$  : 흐름에 직각한 면에의 조도의 투영면적,  $\Delta C_d$  : 조도의 항력계수차이다.

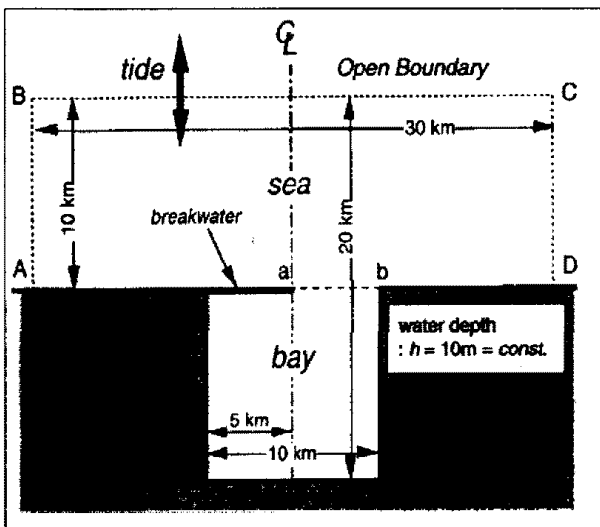


Fig. 2 Plane View of a Model Bay

본 연구에서는 만 및 항만을 대상으로 하고 있기 때문에, 해역을 항행하는 선박의 안전성에 대한 배려도 중요한 조건이 된다. 그래서, 저면조도 높이의 한계는 수심의 2할 정도로 하여 산정하면, 수심  $h = 10$  m의 해역에서는 조도높이는  $h = 2$  m로 된다. 이 조건에서 1/4구형조도를 이용한 경우  $A = 6.3 m^2$ 으로 되고, (2)식에서 34 m사방에 1개의 조도를 배치한 경우에서  $\Delta\gamma_b^2 = 0.0027$ , 23 m사방에 1개를 배치한 경우에서  $\Delta\gamma_b^2 = 0.0062$ 로 된다. 따라서, 여기서는 순류방향에  $\Delta\gamma_b^2 = 0.0026$ , 역류방향에  $\Delta\gamma_b^2 = 0.0053$  혹은  $\Delta\gamma_b^2 = 0.0088$ 을 적용하여 저면조도의 배치에 따른 효과를 시뮬레이션에 취급하여 넣는 것으로 했다.

### 3. 조류시뮬레이션

방향특성을 가진 저면조도의 배치에 의해, 조석 잔차류의 패턴을 변화시킬 수 있는가 어떤가를 확인하기 위하여, Fig. 2에 표시한 모델만에 있어서 ADI (Alternating Direction Implicit) 법에 의한 평면 2차원 조류시뮬레이션을 행하였다. 기초식은 Komatsu et al<sup>7)</sup>과 같은 것을 이용했다. 계산 조건은, 계산시간 간격 :  $\Delta x = \Delta y = 500 m$ , 시간격자간격 :  $\Delta t = 15 sec.$ , 와동점성계수 :  $\nu_t = 100.0 m^2/sec.$ , 코리올리계수 :  $f = 0$ 로 했다. 경계조건은, 개방경계 B-C에서 진폭 :  $a = 1.0 m$ , 주기 :  $T = 12hrs 25min$ 의 정현파를 부여하고, 개방경계 A-B, C-D에서  $U = 0$ ,  $dV/dx = 0$ 을, 측면경계상에서는 No-slip 조건을 부여했다.

만내에만 저면조도를 배치한 경우를 검토의 대상으로 하여, Fig. 3에 표시하는 CASE-1 ~ 4와 CASE-0로서 조도를 배치하지 않은 경우의 5 CASE에 대하여 계산을 행하였다. 조도의 배치의 방법은, Fig. 3에 표시한 Area-A, B에 대하여서는 화살표 방향을 순류방향으로, 예를 들면 Area-A에서는 유속의  $y$ 축의 정방향성분에 대하여  $\gamma_b^2 = 0.0026$

를, 부의 방향에 대하여  $\gamma_2^2=0.0053$ 을 부여하여 저항차를 나타내고 있다. 단, CASE-4에 대하여서는 역류에 대하여 다른 CASE보다 큰 저항차를 부여하여  $\gamma_2^2=0.0088$ 를 이용했다. 또한, Area-C는 조도를 설치하지 않은 지역이다.

1주기분의 조류의 계산결과를 평균하는 것의 의해 얻어진 조석잔차류와 그 유선의 계산결과를 CASE-0, 1, 4에 대하여 Fig. 4에 나타낸다. CASE-1에서는, CASE-0에서 기존에 만내에 존재하고 있던 만스케일의 순환류가 강화되고 있는 것을 알 수 있다. 여기서는 표시하지 않았지만 CASE-2, 3에서는, CASE-4의 결과와 만내부로 침입하고 있다. 이것은, 조도의 배치를 강구하는 것과 저항차가 큰 형상을 가진 저면조도를 개발하는 것이, 조석잔차류를 보다 효율 좋게 창조·제어 가능하다는 것을 시사하고 다. 또한, CASE-1과 같이 만내의 순환류를 강화하는 것 뿐만 아니라, CASE-2, 3, 4와 같이 만구부근의 외해의 순환류를 변화시켜서 만내에 침입시켜 만내의 순환류와 합류시키는 것이 외해와의 해수교환을 보다 활발화시키는 것으로 예상된다.

#### 4. Euler-Lagrange 법에 의한 해수교환율의 평가

##### 4.1 Euler-Lagrange 법과 해수교환율

다음으로, 저면조도에 의한 조석잔차류의 창조·제어 가 해수교환에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위하여, 만내에 표식입자를 배치하여 입자추적계산(Euler-Lagrange Method)을 행하였다. 각 시각에 있어서 입자의 위치 Vector는 (3)식에 의해 계산된다.

$$X(t+\Delta t) = X(t) + \Delta t \cdot U(X(t), t) + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot DU(X(t), t) \tag{3}$$

여기서,

$$\frac{DU_i(X(t), t)}{Dt} = \frac{\partial U_i(X(t), t)}{\partial t} + U(X(t), t) \cdot \nabla_H U_i(X(t), t) \tag{4}$$

$X(t), U(X(t), t)$ 는 각 시각의 입자의 위치벡터와 그 위치에 있어서 속도벡터,  $\nabla_H = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 이다.

전술의 3에 있어서 각 CASE에 대하여 얻어진 1주기분의 조석데이터를 근거로 하여 표식입자의 이동이 계산되었다. 계산시간간격은 입자의 이동거리가 1 Mesh이상이 되지 않도록  $\Delta t=150\text{sec}$ 로 설정했다. 경계부근의 처리는, 벽면에서 입자는 완전 반사하고, 개방경계에서 유출된 입자는 다시 계산영역내에 돌아오지 않는 것으로 하였다. 또한 난류확산·이류분산에 의한 효과는 금회의 계산에는 고려하지 않았다. 난류의 해수교환율에의 영향에 대하여 Awaji<sup>8)</sup>에 언급되어 있으며, 그것에 의하면 난류는 입자의 확산에 영향을 주지만 1주기간에서의 해수교환율에는 별로 강한 영향을 주지 않는다고 보고되어 있다.

해수교환율을 평가하는 경계선은 Fig. 2에 표시하는 만구부의 라인 a-b로 한다. 표식입자를 라인보다 만내측의 전해역에 1 Mesh (500m x 500m)당 25개, 계 10,000개를 배치하여, 최강낙조시에서 부터 1조석간에 걸쳐서 각 입자의 궤적을 계산한다. 수리<sup>9)</sup>는 조석의 1주기간에 경계선보다도 외측에 나온 입자가 대표하는 체적이 최대가 되는 때(통상은 최강낙조시 부근)의 체적을  $V_{\max}$ , 1주기 후의 최강낙조시에 외측에 남아있는 입자가 대표하는 체적을  $V_{\text{res}}$ 로 하여, 해수교환율을 다음식에서 정의하고 있다.

$$EX = \frac{V_{\text{res}}}{V_{\max}} \tag{5}$$

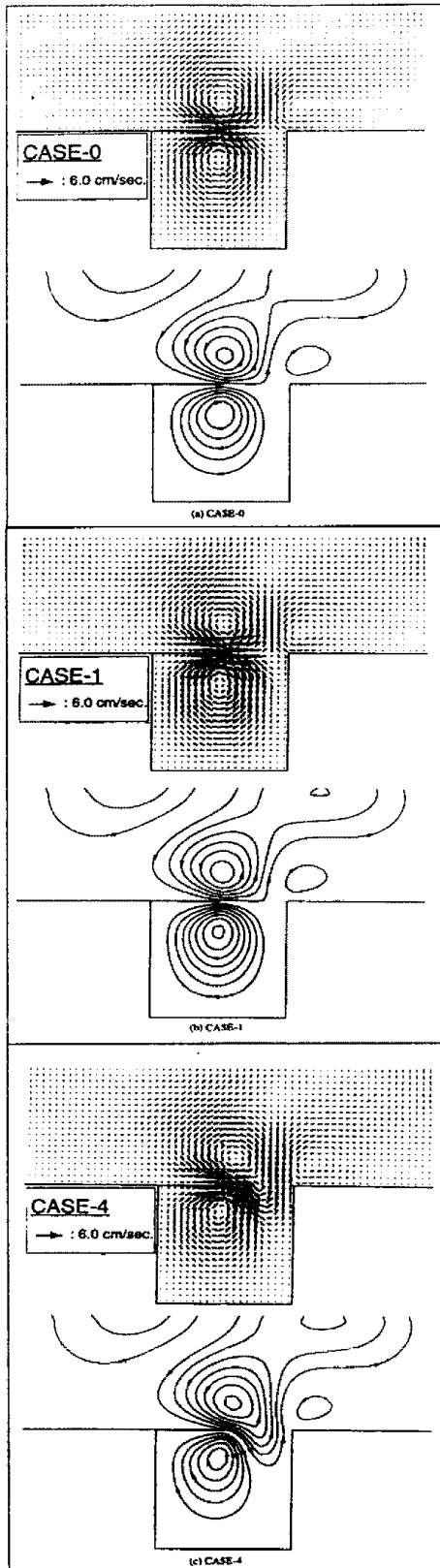


Fig. 4 Vector & Streamline Fields of Calculated Tidal Residual Current

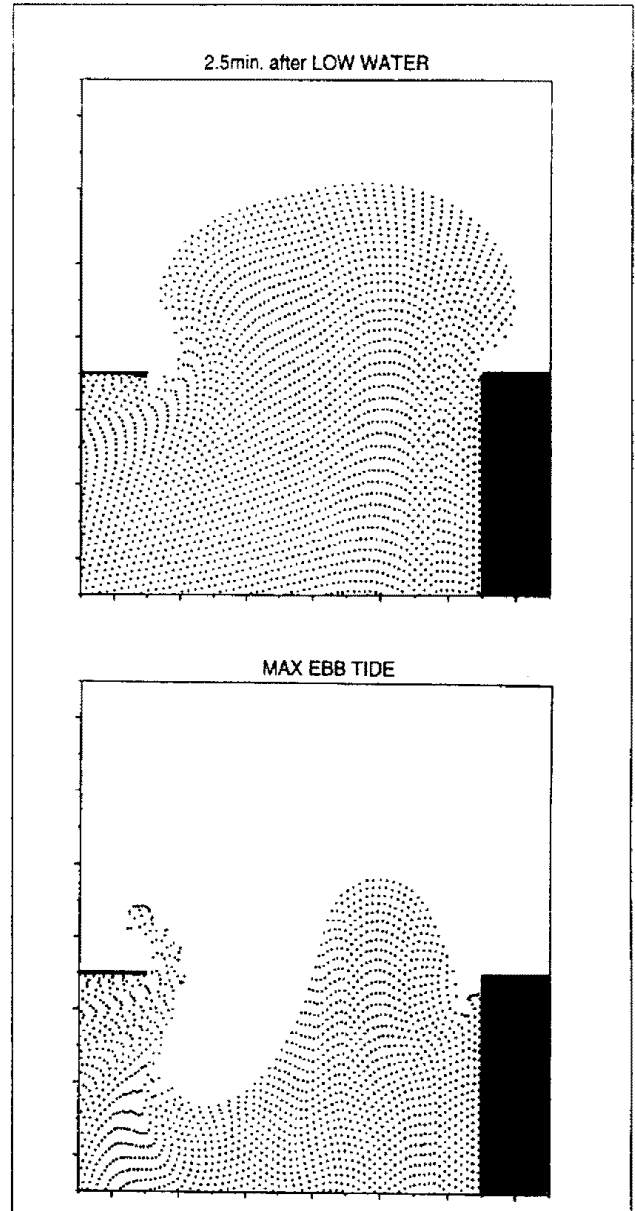


Fig. 5 Calculational Results of Particle-Tracking Simulations in CASE-4

(Upper : when  $V_{max}$  is attained, Lower : when  $V_{res}$  is occurred)

본연구에서는, 이 해수교환을 EX에 의해 저면조도의 효과를 평가했다.

입자추적 계산결과의 일례로서 CASE-4의  $V_{max}$  와  $V_{res}$ 가 얻어진 시각의 만구부근의 입자의 분포도를 Fig. 5에 표시한다.

Table 1 The Values of  $V_{max}$ ,  $V_{res}$  and  $EX$

CASE	$V_{max}$ ( $10^6 m^3$ )	$V_{res}$ ( $10^6 m^3$ )	$EX$ (%)
0	103.1	13.9	13.5
1	103.0	14.7	14.3
2	103.4	19.1	18.5
3	103.2	19.2	18.6
4	103.2	26.1	25.3

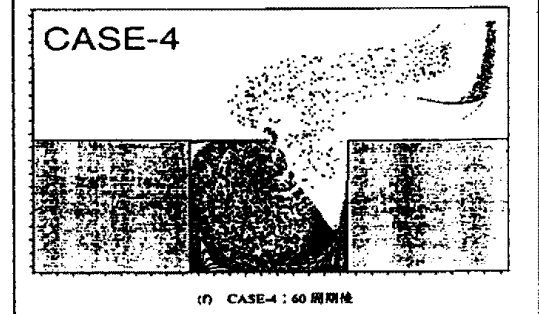
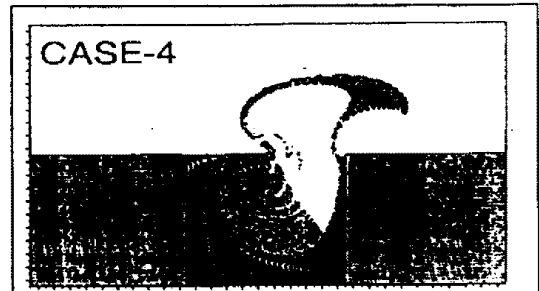
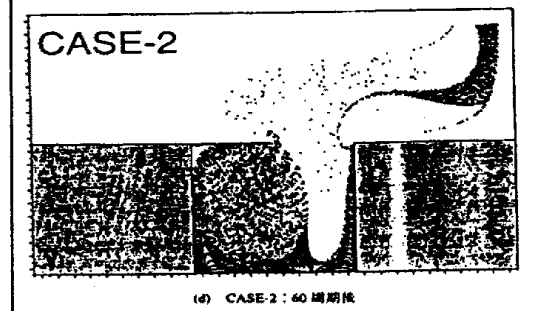
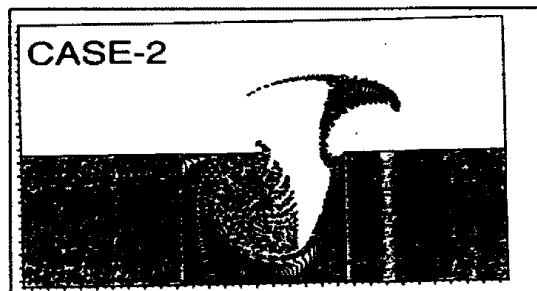
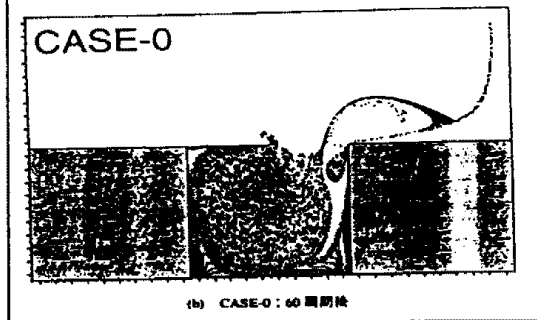
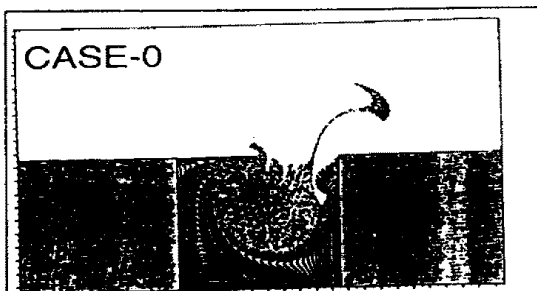


Fig. 6 Calculational Results of Particle-Tracking Simulations [after 15, 60 Cycles]

또한, 각 CASE에 있어서 얻어진  $V_{max}$ ,  $V_{res}$ , 해수교환율  $EX$ 의 값을 Table 1에 표시한다. 그 결과에 의하면, CASE-4가 더욱더 해수교환이 활발화되고 있으며, 해저조도를 설치하지 않은 경우 (CASE-0)의 약 2배의 교환율이 얻어지고 있다. CASE-4는 조도를 배치한 면적은 더욱더 작지만 저항차를 다른 CASE보다 크게 설정하고 있는 것으로부터, 해수교환율을 크게 하기에는 만구부근에 국소적으로 강한 저항차를 부여하여 와도(渦度)의 발생을 촉진시키는 것이 중요한 것으로 추정된다.

#### 4.2 만내수의 체류에의 영향평가

다음으로, 만내수의 장기적인 교환능력에 대하여 비교하기 위하여, 입자추적계산을 60주기(약 1개월)간에 걸쳐서 행하였다. 초기시각에서부터 15주기후와 60주기후의 최대 낙조시의 입자 분포를 CASE-0, 2, 4에 대하여 Fig. 6 (a)-(f)에 표시한다. 또, 초기시각에 만내에 배치된 전입자중 각주

기의 최후의 시각(최강낙조시)에 만내에 존재하고 있는 입자의 잔존율의 시계열 변화를 Fig. 7에 나타낸다.

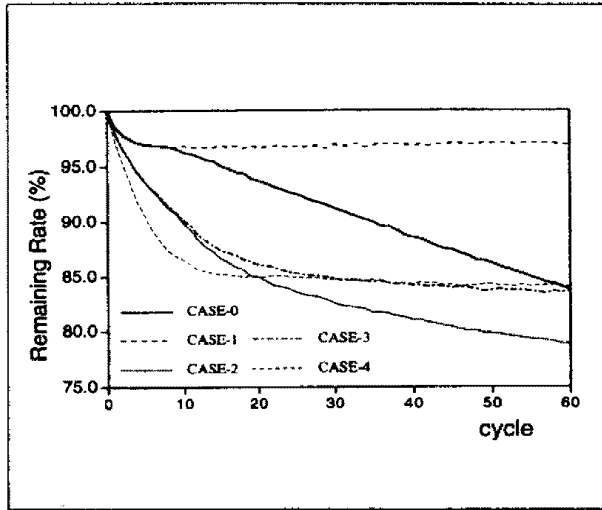


Fig. 7 Time Series of Remaining Rate

이것들의 결과를 비교하여 보면, 비교적 초기의 단계에서는 해수교환율이 큰 CASE-4에서 만내수를 외해에 유출시키는 능력이 크지만, 10주기를 지나면 외해에의 유출이 적어지게 된다. 20주기정도부터 그 이후는 오히려 CASE-2의 편이 잔존율이 내려가고 있어서, 장기간에 걸친 교환능력은 더욱더 우수해지고 있다는 결과로 되었다. CASE-2가 만구에서 만내부 깊숙히 조도를 배치하고 있는 것과 CASE-4가 만구부근에만 강한 저항차를 부여하고 있는 것을 고려하여 보면, 폐쇄성 해역의 해수교환의 촉진에는 만구부의 해수교환능력을 끌어올림과 동시에 만전체에 걸친 스케일의 순환류에 의해서 만내부의 해수를 만구부근에 운반하는 기능의 2가지가 필요하다는 것을 알았다.

### 5. 저면조도의 잔차류 생성효과에 대한 실험적 검증

#### 5.1 실험방법

앞장에서는 저면조도에 의한 해수교환의 효과를

수직실험적으로 검증하여 왔지만, 본장에서는 실제에 저면조도를 왕복류 수로에 설치하여, 만안쪽에 투입된 염료의 농도의 시간적인 변화를 관측하는 것에 의해 저면조도의 잔차류 생성 능력 및 해수교환 촉진능력의 확인을 시도하였다.

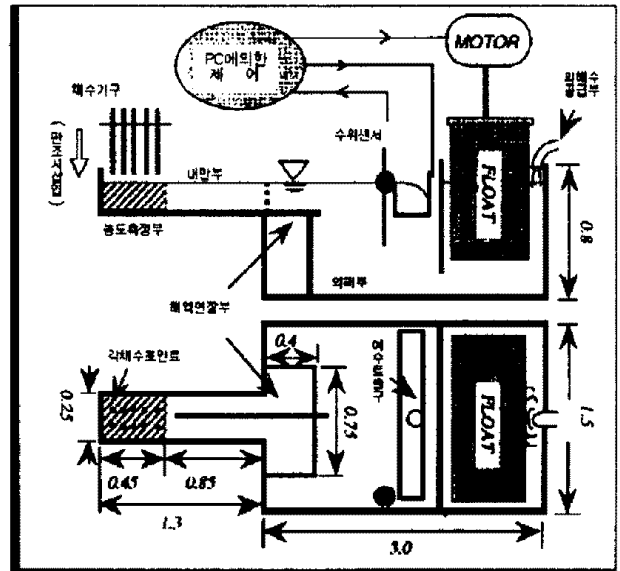


Fig. 8 Experimental Flume (Unit : m)

실험장치는 Fig. 8에 표시한 것과같이 폭 0.25m, 높이 0.25m, 길이 1.30m의 아크릴제의 내만부와 폭 1.5m, 높이 0.8m, 길이 3m의 스텔레스로 된 외해부로 구성되어 있다. 외해부의 끝에 있는 플로트를 상하로 움직이게 하여 조석을 발생시켰다. 또한, 아크릴판(0.4m×0.75m)을 연장부로 하여 만구부근의 외해부에 붙여서, 외해부의 저면이 만내와 같은 높이로 되도록 했다. 더욱기, 예비실험에 있어서 외해부의 흐름의 불안정성이 만내의 해수교환에 커다란 영향을 미치는 것이 문제로 되었던 점, 또한 만이 좁고 길기 때문에 폭방향으로 혼합하기 쉬운 점을 고려하여, 내만과 외해의 유황을 정비하도록 하는 의미에서, 중판(0.2m×1.2m, 두께 : 0.5mm)를 내만에서 외해에 걸쳐서 설치하여 실험을 행하였다.

저면조도가 가지는 잔차류의 생성능력 및 해수교환능력을 확인 하기 위해서, 만안쪽부의 착색수 농

도의 시간변화를 조도를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우로서 비교했다. 실험 개시전에 만안쪽으로부터 0.45m의 장소를 판에 의해서 가로막고, 만안쪽부에 형광염료(알오레세인 나트륨 약 0.01g)를 투입·혼합하는 것으로 착색을 행하였다.

그 후, 조석발생과 동시에 가로막이 판을 제거하고, 정기적으로 만내부의 물을 채수하는 것에 의해 형광염료의 농도의 시간적인 변화를 계측했다. 채수와 만조시에 만내부의 10개소에 있어서(Fig. 8 참조) 동시에 행하고, 그것들의 평균치를 만안쪽의 농도로 하였다. 농도는 분광 광도계에 의해 측정하고, 초기농도를 100으로하여 각 시각의 염료의 잔류율을 산정했다.

각 조도배치에 대하여 3회 같은 실험을 행하여, 그 평균치를 최종적인 결과로 했다. 또한, 외해에서 염료가 정체하지 않도록 외해 배후부에서 수도수를 공급하여, 공급량과 같은 량의 물을 여수 토출구로 배출시켰다. 실험에 이용한 저면조도는 小松<sup>6)</sup>의 연구결과에서 유효한 조도형상의 하나인 1/4구형조도로서(Fig. 9 참조), 상대수심을  $h/k=5$ 로 했다. (조도높이 :  $k=2.1\text{cm}$ , 평균수심 :  $h=10.5\text{cm}$ ) 또한, 조석의 주기는 60초, 진폭 2cm로 하고, 외해에서의 수도수 공급량은 45 ml/sec.가 되도록 설정했다.

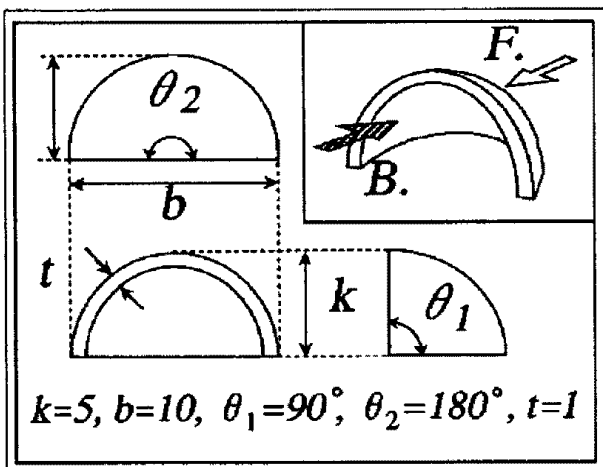


Fig. 9 Quarter Sphere Type Bottom Roughness used in the Experiment (Unit : cm)

### 5.2 실험결과와 고찰

본실험은 만내의 인공섬이나 매립지 주위에 생기는 수로상의 해역에 한방향 흐름을 만들 수 있는 경우에 상당하며, 중판을 인공섬 측벽으로 간주하고 있다.

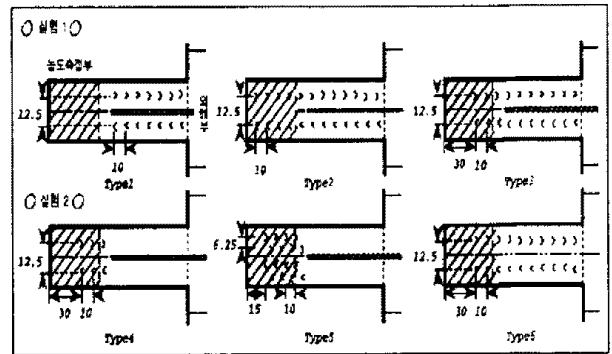


Fig. 10 Arrangements of Bottom Roughness in the Model Bay (Unit : cm)

중판을 중심으로 반시계 방향의 흐름이 생기도록 Type 1-3 (Fig. 10 참조)과 같이 저면조도를 배치하여, 조도를 설치하지 않은 경우와 비교했다.(실험 1) 만내 농도 잔류율의 시계열을 Fig. 11에 나타낸다. Type 1은 중판주위에만 조도를 배치한 것이고, 이 경우 만내부의 농도변화는 조도를 설치하지 않은 경우와 거의 같았다. 착색된 만내부의 물의 유동을 관찰하면, 창조시에는 저면조도에 있어서 저항이 작은 해역인 Fig. 10의 중판 상부측 해역에 외해로부터 투명한 물이 유입하고, 낙조시에는 저항이 작은 중판 하부측 해역으로부터 착색수가 유출되는 것이 관측되었다.

이것으로부터 중판을 중심으로 하여 반시계 방향의 조석잔차류가 틀림없이 생기고 있다고 생각되지만, 만내부의 농도에 거의 영향이 발견되지 않은 점에서, 조석잔차류가 중판 만내측 말단부근에서 작은 스케일로 형성되기 때문에 만내부의 해수교환을 촉진하기까지는 도달하지 못했던 것이라고 생각되어진다. 그래서 Type 2에서는 조도를 만내부까지 배치하여 실험을 행하였다. 그 결과, 10주기 이



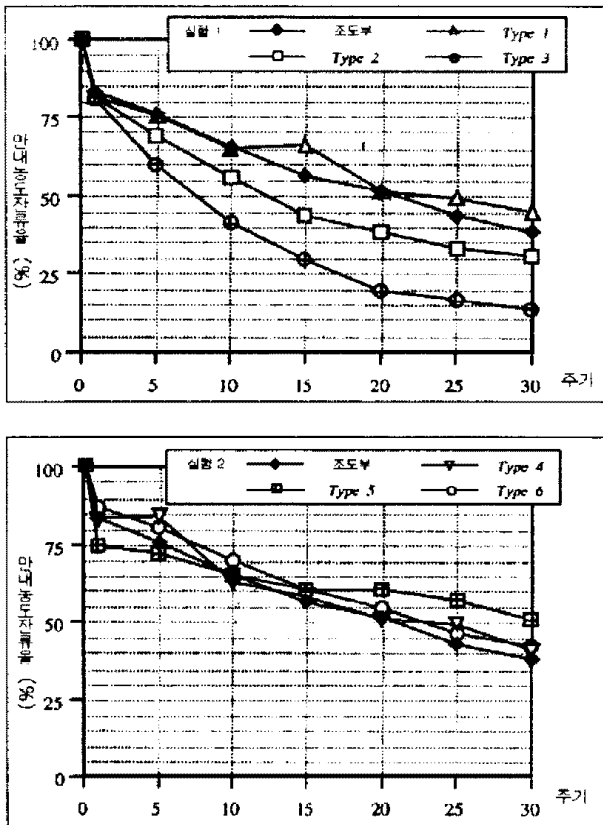


Fig. 11 Time Series of the Remaining Rate in the Bay

후에서는 만내 농도가 조도를 설치하지 않은 경우나 Type 1과 비교하여 상대적으로 약 25%정도 감소했다. 이 실험에서도 반시계방향의 유동이 관측되었지만, 만내부에 있어서 저면조도간에 착색수가 체류하고 있는 것이 관측되었다. Type 3으로서, Type 2의 조도배치에서 부터 최만내부의 조도만을 제거하여 실험을 행하였다. 그 결과, 20주기 이후에서는 조도가 설치되지 않은 경우와 비교하여 60-65%의 농도가 더욱더 저하하다고 하는 결과가 얻어졌다.

다음으로, 중판이 없는 만내부에 있어서 저면조도만으로 평면적인 조석잔차류를 만들기 위해서 Type 4-6 (Fig. 10 참조)과 같은 조도배치로 실험을 행하였다. (실험 2) Type 4는 Type 3의 배치에서 중판 주위의 조도를 제거한 형이고, Type 5는 조도차를 크게 하기위하여 조도의 배치를 좌우 2열의 갈지자로 배치하였다. 또한, Type 6는 실험 1에서 더욱더 효과가 있었던 Type 3의 배치에서 중판을 제거한 경우로 되어 있다. 목시관찰에서, 이

실험에 있어서는 어떤 배치패턴에 대하여도 착색수가 북방향에 똑같이 되어, 장소적인 분포를 가지는 것은 없었다.(Fig. 11) 이것으로부터 길고 좁은 만에 있어서 길고좁은 잔차환류의 형성은 쉽지 않다는 것이 미루어 짐작할 수 있다.

## 6. 결 론

본연구에서는 해저조도에 의한 조석잔차류의 창조·제어가 해수교환에 미치는 효과에 대하여 수치실험 및 실내실험을 통하여 검증하였다.

먼저 방향특성을 가진 해저조도를 만내에 배치하는 것에 의해서 조석잔차류의 패턴을 Control가능하다는 것이 조류 시뮬레이션으로부터 확인되었다. 또한, 해수교환을 활발화시키는 것도 가능하다는 것이 입자추적계산을 통하여 확인되었다. 이것은, 종래 장소적으로 일정하게 부여되었던 해저마찰계수의 공간적인 분포의 중요성을 시사하고 있는 것이다.

본연구에 있어서 검토는 비교적 단순한 지형을 가지고 성층화의 영향도 없다고 가정된 모델만에 있어서의 것이기 때문에, 비교적 유리한 조건하에서 검토가 이루어졌다고 할 수 있다. 실용화를 향하여서는 실제의 폐쇄성 만내에 있어서의 검토 및 3차원 시뮬레이션에 의한 성층의 영향을 취급하여 넣은 검토가 행하여질 필요가 있다고 생각되어진다.

또한, 저면조도의 잔차류 생성 능력 및 해수교환 능력을 확인하기 위하여 왕복류 수로에 있어서 실험으로 부터 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

1) 수로형상의 길고 좁은 해역에 한방향 흐름을 생성시키는 경우에는, 조도의 배치방법에 의해 조도가 설치되지 않은 경우와 비교하여 해수교환을 활발화하는 것이 가능하며, 저면조도에 의한 잔차류 생성효과와 해수교환 촉진효과가 확인되었다.

2) 만내의 해수교환을 촉진하기 위해서는, 만내부에 도달하는 스케일을 가진 조석잔차류를 생성하도록 조도를 배치하는 것이 필요하다.

3) 길고 좁은 만에 있어서 길고 좁은 잔차환류를 만드는 것은 쉽지않다.

## 참고문헌

- 1) 上嶋英機, 橋本英資, 田辺弘道, 宝田盛康 : 流況制御構造物設置による流況制御技術の効果検証實驗 - 세토내해大型水理模型による別府灣での實驗結果 -, 海岸工學論文集, 38, pp.851-855, 1991.
- 2) 村上和男, 管沼史典, 宮崎啓司, 山田邦明, 清水勝義 : 潮汐エネルギーを利用した海水交換促進に関する水理模型實驗, 水工學論文集, 37, pp.411-418, 1993.
- 3) 大谷英夫, 高山百合子, 石野和男, 勝井秀博, 宝田盛康 : 流況制御のための灣口渦と水平循環流に関する實驗的研究, 海岸工學論文集, 42, pp.1221-1225, 1995.
- 4) 小松利光, 川崎昌三, 朝位孝二, 藤田和夫 : 人工粗度をを用いた恒流の生成に関する研究, 水工學論文集, 39, pp.589-594, 1995.
- 5) 鷺見榮一, 橋間元徳 : 沿岸海域における海底摩擦係數の評価, 公害資源研究所集報, 12(2), pp.63-74, 1982.
- 6) 小松利光, 矢野眞一郎, 小橋乃子, 鞠承淇, 藤田和夫 : 流れの方向により抵抗特性の異なる人工粗度の開發, 水工學論文集, 41, pp.705-710, 1997.
- 7) Komatsu et al : On the Estimation of Dispersion Coefficient for 2-Dimensional Simulations in a Bay, Proc. of 9th APD-IAHR Cong., 3, pp.345-352, 1994.
- 8) Awaji, T. : Water Mixing in a Tidal Current and the Effect of Turbulence on Tidal Exchange through a Strait, J. Phys. Oceanogr., Vol. 12, pp. 501-514, 1982.
- 9) 今里哲久 : 海水交換の概念と交換率, 沿岸海洋研究ノート30周年記念特別号, pp.111-123, 1993.