

조석효과에 의한 항구 모델 주위의 유동 및 물질전달에 관한 실험적 연구

서 용 권* · 문 중 춘** · 강 중 대***

(95년 5월 30일 접수)

Experimental Study on the Fluid Flow and Material Transport Around a Harbor Driven by the Tidal Effect

Yong Kweon Suh* · Jong Choon Moon** · Jong Dae Khang***

Key Words : 조석효과(Tidal Effect), 물질전달(Mass Transport), 가시화실험(Visualization Experiment), 잔류유동(Residual Flow), 와류shedding(Vortex Shedding), 제트유동(Jet Flow)

Abstract

In this paper, we report the results of the experimental study on the flow and the mass transport around a square harbor driven by a tidal effect. The model harbor is composed of a uniform water-depth with a straight breakwater. The harbor is connected to the outer ocean by an entrance region having the same shape as the harbor. We investigated two cases, one having another breakwater in the place between the entrance region and the outer ocean, and the other without it. The surface and bottom flow patterns of the model container are visualized by using light particles and dye, respectively. It was shown that the inner harbor and the entrance region have well-organized, large vortical residual flows, and the material transport is excellent, compared with the case without any other breakwater. The material transport between the entrance and the outer region is however significantly different for two cases; when the breakwater is built between the two regions, the transport is far better than that without it, which is clearly contrary to our common sense that the breakwater would block the dispersion of the materials between the harbor and the outer ocean.

* 동아대학교 공과대학 기계공학과

** 동아대학교 생산기술 연구소

*** 한국중공업주식회사

1. 서 론

본 연구에서는 방파제가 있는 항구에 있어서 조석효과에 따른 항구 주위의 유동 및 물질전달 특성을 실험적으로 연구하였다. 항구를 적절하게 모델링하고, 이 모델을 요동운동시키는 방법을 써서 조석효과를 발생시켰으며, 이로 인해 나타나는 유체 유동과 물질전달 특성을 유동가시화의 방법을 사용하여 조사하였다.

최근에 해양 오염이 심각하며, 항구 연안의 오염도 그 중 하나이다. 항만의 오염 방지를 위해서는 항만 내의 부유물, 침전물 등의 오염물질이 집중되는 것을 막아야 하며, 이러한 오염물질을 항구 밖으로 가능한 한 신속히 배출시켜야 한다. 이것은 항구 주위의 시설물 또는 지형과 관련되며, 따라서 조석효과에 따른 유동과 관련하여 이들의 영향을 살펴보는 것이 중요하다.

대부분의 항구는 파도와 해일을 막기 위해 방파제(breakwater)를 가지고 있다. 이러한 목적으로 본다면, 방파제의 선박 출입구 폭은 작을수록 유리하다. 그러나 오염물질의 확산면에서 본다면, 그 폭이 너무 작아지면 곤란하다는 것이 상식적이다. 항구내 유동은 여러가지 원인으로 발생되며, 그것은 바람에 의한 파랑, 달과 태양의 인력으로 생기는 조석효과, 태양의 수온의 차이에 의해 발생하는 해류 등이 있으나, 조류에 의한 영향이 가장 지배적이다. 그 이유는, 해류는 연안에서 크게 영향을 미치지 못하고, 파랑 역시 조석효과처럼 항상 작용하지는 않기 때문이다. 조석효과가 일정할 때 방파제 출입구를 통과하는 유동은 폭이 작을수록 강해진다. 그러나 이러한 유동의 변화가 구체적으로 물질전달에 어떠한 영향을 미칠지는 확실하지 않다.

Yanagi¹⁾는 10m×20m의 직사각형 용기의 중앙에 격판(방파제 역할)을 설치하여, 격판 좌우측에 형성되는 잔류 순환유동(residual circulatory flow)을 실험적으로 연구하였고, 동일한 모델에 대해 Oonish²⁾가 수치해석적으로 연구하였다. 최근에는 Inohara 등³⁾이 일본 오오사카 항내의 유동과 그 제어에 대해 연구한 바 있다. 그러나, 이들의 연구는 상사칙을 고려하지 않았다. 그리고, 항구내에 형성되는 잔류유동에 대해 유체역학적인 관점에 입각

한 근본적인 이해가 필요하며, 나아가 방파제가 물질전달에 미치는 영향에 관한 체계적인 분석이 더욱 필요한 실정이다.

본 연구에서는 조석효과에 의한 항구 주위의 유동과 그 물질전달 등에 대해 실험적으로 연구한 결과이며, 연구된 결과가 항구의 설계 및 오염방지 대책 등에 기초적인 지식을 주는 것을 그 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험은 자유표면의 유동가시화와 용기 바닥의 유동가시화로 크게 나누어 진다. 실험장치는 실험 액체를 담은 용기, 그리고 이 용기를 고정시키는 테이블, 동력을 발생하는 전동기, 회전운동을 테이블의 요동운동으로 바꾸기 위한 벨트장치, 감속기어, 캠 베어링, 베어링 등으로 구성된다. 테이블의 요동운동에 따라 용기는 Fig. 1에서 나타난 'pivot centerline'을 중심으로 상하 요동운동을 하게 된다.

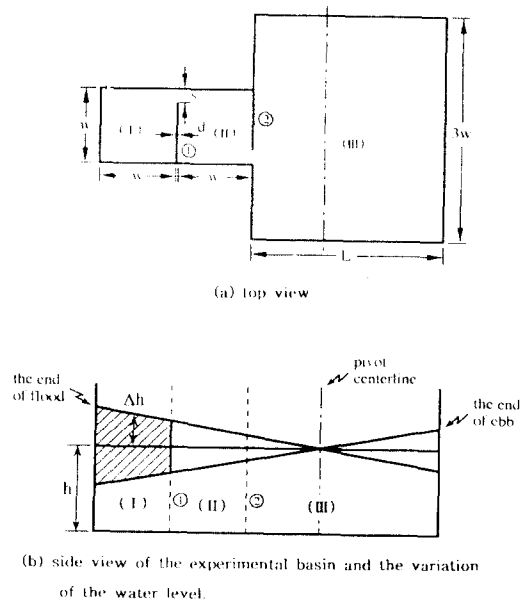


Fig. 1 Geometry of the experimental basin and the variation of the water level : $w = 20$ cm, $s = 4$ cm, $d = 0.5$ cm, $L = 50$ cm

테이블의 요동운동 주기는 전동기 회전수를 제어할 수 있는 전기제어장치에 의해서 조정 가능하며, 캠 베어링의 편심도 조절에 의해 테이블의 운동변위를 조정할 수 있다. 테이블의 진동을 줄이기 위해 테이블과 전동기는 분리하였다. 용기는 투명한 아크릴로 제작하였으며, 높이는 균일하다.

본 실험에 사용된 유체는 순수한 물이다. 자유표면 가시화를 위해 용기내의 유체표면에 폴리에틸렌 분말을 뿌려 사진을 촬영하였다. 속도분포와 와류를 관찰하기 위해서 카메라의 노출시간을 1/2초로 하였고, 물질전달을 관찰하기 위해서는 카메라의 노출시간을 비교적 짧은 시간인 1/15 초로 하였다. 바닥표면 가시화를 위해 바닥에 수성물감을 일정 간격으로 찍어 바른 후 어느 정도 건조시킨 뒤 모터를 가동시켰으며 유선이 선명하게 나타날 때 촬영하였다.

Fig. 1 (a)는 시편의 평면도이다. (I)은 항구(또는 내항), (III)은 먼 바다(또는 외항), (II)는 그 중간의 연결지역을 나타낸다. 분할판 ①과 분할판 ②는 각각 방파제를 모델화한 것으로 분할판 ①만 있는 경우와 분할판 ①과 분할판 ② 둘 다 있는 경우로 나누어 실험하였다. 분할판 ①과 분할판 ②는 자유롭게 탈착할 수 있다. 이밖에도 유동의 주기(T) 등이 실험의 변수이다.

3. 이 론

실험장치 설정에 앞서 실제적인 항구와 실험모델 사이의 기하학적 상사성과 역학적 상사성을 고려해야 한다. 이것은 실험에 의한 결과를 실제 유동에 적용하기 위해서는 꼭 필요하다. 임의의 형상을 가진 항구에 대한 유동해석은 이론적으로 어려울 뿐 아니라 수치해석적으로도 어렵다. 따라서 단순화된 지형과 균일한 수심을 가지는 특정적인 항구에 대하여 모형화하였다. 직사각형 모양의 항구가 바로 본 연구의 대상 모델이다.

Fig. 1 (b)에서 보는 바와 같이, 테이블이 요동운동함에 따라 용기 내의 수위는 조화적으로 (sinusoidally) 변하지만, 수위 분포는 거의 직선적이다. (이는 Froude 수가 매우 작은 결과이며 Froude 수의 실제 값은 뒤에서 제시된다.) 이 그

림에서, h 는 평균수심, $2\Delta h$ 는 (I)부분의 중앙에서 수심의 최대 변위이다. T는 밀물과 썰물이 한 번 반복되는 주기이다. 준정상상태로 가정하면, 밀물(실험장치의 왼쪽벽에서 수위가 상승하는 상황) 동안 (I)지역에서는 $2w^2\Delta h$ 만큼 체적이 증가한다. 따라서 한 주기 동안의 평균유량은 대략 $4w^2\Delta h/T$ 이다. 이 유량은 연속방정식에서 방파제 출입구(폭 s)를 통한 유량과 일치해야 한다. 방파제를 통과하는 유체의 평균속도를 V_g 라 하면 밀물동안의 평균유량은 shV_g 이다. 따라서 V_g 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_g = \left(\frac{w^2}{sh} \right) \left(\frac{4\Delta h}{T} \right) \quad (1)$$

원형과 모형의 사이에는 기하학적, 운동학적, 및 역학적 상사칙이 만족되어야 한다. 우선, 기하학적 상사칙은 아래와 같다.

$$\frac{w_p}{w_m} = \frac{s_p}{s_m} = \dots = r_g \quad (2)$$

여기서 r_g 는 축척비이며, 식 (2)는 수평 방향 길이에 대해서만 적용시킨다. (한편, 수직 방향의 길이 h 및 Δh 는 이 법칙을 따르지 않는 것으로 한다. 왜냐하면, 원형과 모형은 천수근사의 유동으로 가정할 수 있고, 따라서 수평 단면에서의 유동 양상은 수직 위치에 따라 변하지 않는 것으로 가정하기 때문이다.)

운동학적 상사칙을 만족하기 위해서는 밀물동안 유체입자의 이동거리가 수평 방향의 기하학적 상사칙을 만족하여야 한다. 방파제 출입구에 있던 유체입자가 밀물동안 이동해 간 거리를 x_t 라 한다면, 다음 식을 만족해야 한다.

$$(x_t)_p / (x_t)_m = w_p / w_m \quad (3)$$

한편 $x_t \approx V_g T$ 이고 (1)을 사용하면

$$\left(\frac{\Delta h}{h} \right)_m = \left(\frac{\Delta h}{h} \right)_p \quad (4)$$

으로 된다.

역학적 상사칙에 관련된 무차원 수는 레이놀즈 수 Re 와 Froude 수 Fr 이다. 그러나 본 유동

과 관계된 Fr 은 매우 작다. 예를 들어서, 실제 항구에서 $w = 1000\text{m}$, $s = 200\text{m}$, $h = 10\text{m}$, $\Delta h = 1\text{m}$, $T = 12\text{ hr}$ 일 때 $V_g \cong 5\text{cm/s}$ 이고 $Fr = V_g/\sqrt{gh} \cong 0.005$ 이다. 이것은 Froude수는 상사칙의 고려에서 제외할 수 있음을 의미한다. (물론, 모형에서도 Froude수가 매우 작은 경우에만 해서 이것이 가능하다.)

다음, 레이놀즈 수 Re 는 $Re = wV_g/\nu$ 로 정의할 수 있는데, 이에 따라 레이놀즈 상사칙은 아래와 같이 나타내어 진다.

$$\frac{T_p}{T_m} = r_g^2 \quad (5)$$

본 실험에서는 $w_m = 0.2\text{m}$ 이므로 $r_g = 2000$ 이고, $T_p = 12\text{hr}$ 인 경우 $T_m \cong 0.01\text{s}$ 를 얻게 된다. 이것은 앞에서 가정한 준정상상태의 가정에 위배되며, 더구나 Fr 이 커져서 곤란하다. 따라서, 레이놀즈 상사칙을 만족시키기란 매우 어렵다. 그리고 본 실험장치 ($h = 4\text{ cm}$, $\Delta h = 0.4\text{cm}$)에서 실제적으로 사용할 수 있는 T_m 의 범위는 $T_m = 3 \sim 30\text{s}$ 정도이다. 이 범위에서 $Fr = 0.02 \sim 0.2$ 정도이며 $Re = 3000 \sim 30000$ 이다. 원형과 모델에서의 레이놀즈 값이 다르다고 해서 실험결과가 전혀 가치 없는 것은 아니다. 비록 작은 스케일의 와의 거동과 같은 난류 특징은 당연히 다르지만, 큰 스케일의 잔류유동(residual flow)은 레이놀즈 수의 크기에 따라 크게 변하지 않는다고 가정할 수 있다. (본 연구의 주된 관심은 (I),(II) 지역이며, 여기서 말하는 큰 스케일의 잔류유동은 (I) 지역의 잔류유동이다.) 즉, 본 실험적 연구는 큰 스케일의 잔류유동과 이에 따른 분산효과를 예측하는 데 있어서 그 의의를 찾을 수 있다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험은 분할판 ②(Fig. 3 (a) 참조)가 있는 경우와 없는 경우로 크게 나누어 진다. 두 경우 각각에 대하여 자유표면 및 용기 바닥의 유동가시화를 수행하였다. 자유표면에서의 유동가시화를 통해 유선의 모양, 입자의 확산 등을 조사하였고, 바닥에서의 유동가시화를 통해 Ekman 층

의 유동 방향을 조사하였다. 본 실험에서 $h = 4\text{ cm}$, $\Delta h = 0.4\text{cm}$ 이며 $T = 13.33\text{s}$ 이며, 이에 따라, V_g , Re , Fr 을 구하면 각각 $V_g \cong 3\text{cm/s}$, $Re \cong 6000$, $Fr \cong 0.05$ 이다.

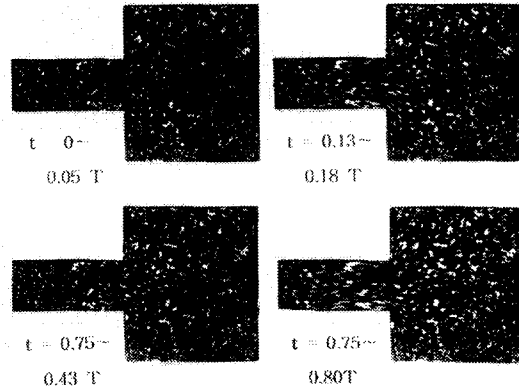


Fig. 2 Surface flow visualization without any plate

Fig. 2는 분할판 ①과 분할판 ②가 모두 없는 경우에 대해 자유표면의 가시화 실험의 결과이다. $0 \leq t < T/2$ 동안은 밀물이고, 썰물은 $T/2$ 에서 시작하여 T 까지 계속된다. Fig. 2의 $t = 0$ 에서 (III) 지역에서 (II) 지역으로 유입되는 유선의 형태에 비해, $t = 0.5T$ 에서는 (II) 지역에서 (III) 지역으로 유출되는 유선의 형태가 다소 방사형으로 흩어짐을 알 수 있으며 전체적으로 유동이 미약함을 알 수 있다. 더우기 이와 같은 경우에는 잔류유동이 전혀 존재하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 3 (a)와 Fig. 3 (b)는 분할판이 하나 또는 두개 있는 각각의 경우에 대해 자유표면의 가시화 실험의 결과이다. Fig. 3 (a)는 분할판 ②가 있을 때이고 Fig. 3 (b)는 분할판 ②가 없을 때이다. 먼저 분할판 ②가 없는 Fig. 3 (a)의 경우를 설명한다. (I) 지역은 밀물동안 분할판 ①의 선단에서 반시계방향의 와류가 계속적으로 생긴다. 이렇게 생성된 와류는 간헐적으로 쇠퇴하며 (I) 지역의 유동을 반시계방향으로 만들어 준다. (II) 지역에서는 반대로 썰물동안 와류가 쇠퇴하고 이에 따라 시

계방향의 와류가 형성된다. 이 때의 유동 형태는 밀물동안의 (I) 지역의 유동 형태와 흡사하지만 방향은 반대이다. 지역 (I) 및 (II)에 각각 형성된 잔류 선회유동은 서로 보강해 주는 역할을 한다. 예를 들면, 썰물동안에 지역 (I)의 반시계방향의 잔류유동은, 분할판 ①의 선단으로부터 (II)지역 쪽으로 형성되는 와류를 강하게 해 준다. (III) 지역에서는 썰물때 분할판 ①의 선단에서 생긴 와류가 거의 전달되지 않기 때문에 전체적으로 유동이 미약하고, 단지 시계방향의 느린 순환유동이 존재할 뿐이다.

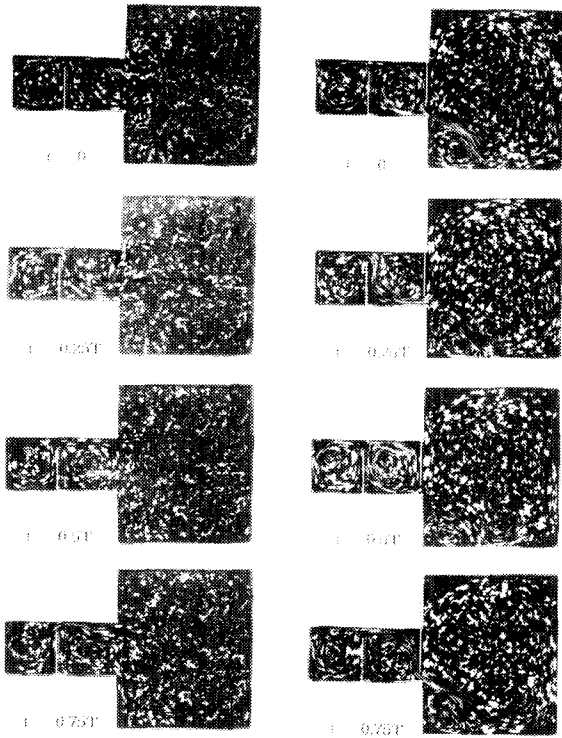


Fig. 3 Surface flow visualization using light particles

Fig. 3 (b)의 유동은 분할판 ①과 ②의 두 선단에서 와류가 발생되므로 Fig. 3 (a)의 유동보다 강하다. Fig. 3의 (a)와 (b)는 같은 조건에서 촬영한 것이지만 (b)에서 더욱 길고 선명한 유적선이 나타난다. 우선 (II) 지역은 밀물동안은 분할판 ②로 부

터, 썰물동안은 분할판 ①로 부터 시계방향의 쉼딩 와류를 받으므로, 썰물동안만 분할판 ①로 부터 시계방향의 쉼딩 와류를 받는 Fig. 3 (a)보다 더 강한 유동이 형성됨을 알 수 있다. 그리고 지역 (II)의 시계방향의 와류가 강함에 따라 밀물동안 분할판 ①의 선단에서 발생하여 (I) 지역으로 쉼딩하는 와류 또한 더 강해 진다. 따라서 Fig. 3 (b)의 (I) 지역은 Fig. 3 (a)의 (I) 지역보다 다소 더 강한 반시계방향의 유동을 보인다고 볼 수 있다. Fig. 3 (a)의 (III) 지역에 비해 Fig. 3 (b)의 (III) 지역은 훨씬 활발한 유동을 보인다. 그것은 썰물동안 분할판 ②의 출입구로부터 (III) 지역으로 형성되는 강한 제트유동 때문이다. 이러한 제트유동은 시간의 경과에 따라 선단에서 와류쌍(vortex pair)을 이룬다. 이 쌍은 제트 유동 아래쪽으로 시계방향의 큰 와류와 위쪽으로 반시계방향의 작은 와류로 이루어진다. 위 쪽의 와류는 (III) 지역의 반시계 방향의 큰 잔류유동을, 아래쪽의 와류는 구석 주위의 다소 강한 시계방향의 잔류유동을 형성시킨다. (III) 지역의 중앙부는 상대적으로 유동이 미약하고 따라서 주위보다 물질전달이 잘 이루어지지 못하고 있다. 그러나 이러한 특징적 현상은 실제 항구와 관련시켜 볼 때 별 의미가 없다. 왜냐하면 본 실험장치의 (III) 지역은 실제의 외항 구조와 다르기 때문이다. (즉, 실제에서는, 대부분의 경우, 지역 (III)을 둘러싼 상하측 및 우측 벽이 존재하지 않는다.)

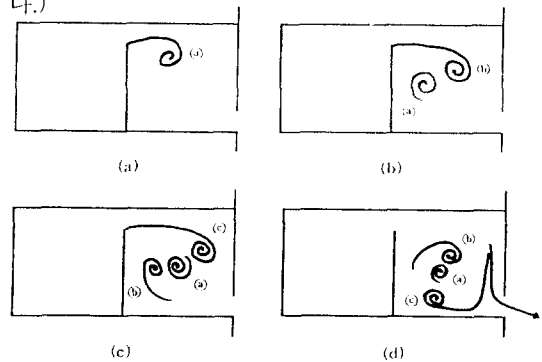


Fig. 4 Sketch of the migrations of the vortices shed from the plate ①

제트유동에 대하여 특별히 언급할 점은, 제트유동이 썰물이 끝날 즈음에 가장 강하다는 사실이다.

그 이유는 Fig. 4로부터 설명할 수 있다. 이 그림은 썰물동안 (II) 지역에서 나타나는 와류의 생성, 쇄빙 및 그 후의 이동을 스케치한 것이다. 와류 ㉓는 썰물이 시작될 무렵에, 와류 ㉔는 썰물이 가장 강한 시점에 각각 생성되었으며 와류 ㉕는 그 중간 시점에 생성된 것으로 하고 있다. 관찰 결과, ㉔는 그 전에 생긴 ㉓ 및 ㉕보다는 중앙부에서 더 멀리 떨어져서 회전하며, 썰물이 거의 끝날 무렵에는 분할판 ㉒의 선단 부근에 도착한다. 따라서, 그 일부가 (III) 지역으로 분출되면서 제트유동을 강하게 해 주는 것이다. (Fig. 3 (b)의 t=0와 t=0.75T 참조)

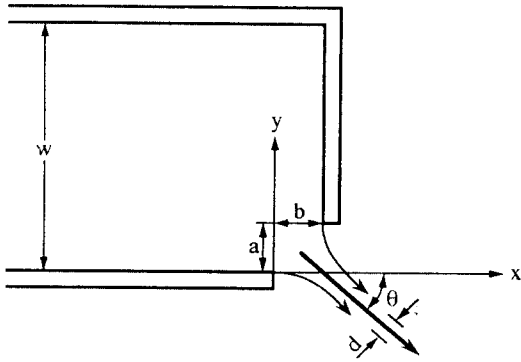


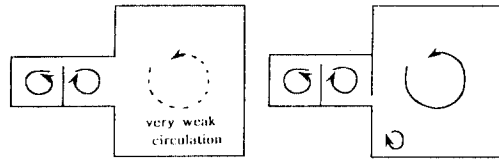
Fig. 5 Schematic illustration of the jet flow used by Gurevich(1996)

썰물동안 형성되는 제트유동은 아래쪽 벽을 기준으로 약 13~24° 정도의 각도를 유지함을 측정 결과로서 알 수 있었다. 이 각도는 이상유동의 이론적 결과를 통해 어느 정도 확인할 수 있다. Fig. 5는 Gurevich¹⁾가 고려한 채널이며 이 채널을 통해 분출되는 제트유동의 각도(θ)는 다음 두 식을 미지수 θ와 h에 대해 연립으로 풀어서 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{a}{w} = h \left[\frac{2}{\pi} \left(\frac{1}{h} - h \right) \tan^{-1} h + \cos \theta - \frac{1}{\pi} \sin \theta \ln \frac{1 + \sin \theta}{1 + \cos \theta} \right] \quad (6)$$

$$\beta = \frac{b}{w} = h \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{h} + h \right) \ln \frac{1+h}{1-h} + \sin \theta + \frac{1}{\pi} \cos \theta \ln \frac{1 - \cos \theta}{1 + \cos \theta} \right] \quad (7)$$

여기서 $h = d/w$ 이다. 본 실험의 경우, (II) 지역 주위의 각 치수에 의해 α와 β는 각각 0.2, -0.05이다. 이에 따라 구한 θ의 값은 14.22°로서 측정 결과의 범위에 든다. 측정결과가 이론적 결과 보다 평균적으로 더 큰 이유는, (II)지역에 형성된 시계 방향의 잔류유동 때문이라 생각한다. 그러나 이론적 모델에서 분할판 ㉑이 없는 점과, (III) 지역의 순환유동을 고려하지 않았다는 점 등을 생각할 때, 이론결과는 실험결과를 잘 예측한다고 볼 수 있다. 그러나, 아래쪽 벽의 위치와 (III) 지역의 크기에 따른 영향은 조사하지 않았다. Fig. 6은 잔류유동을 스케치한 것이다. 각 지역에서 와류의 중심은 용기 밑바닥의 작은 침전물의 모임으로써 알 수 있었다.



(a) without the plate ㉑ (b) with the plate ㉑

Fig. 6 Sketch of the residual steady flow

Fig. 7은 처음에 (I) 지역에 있던 폴리에틸렌 입자들이 시간의 경과에 따라 확산해 가는 모양을 한 주기를 단위로 촬영한 결과이다. Fig. 7 (a)는 분할판 ㉒가 없는 경우, Fig. 7 (b)는 분할판 ㉒가 있는 경우이다. 우선, Fig. 7 (a)를 보면, (I) 지역과 (II) 지역은 쉽게 혼합됨을 알 수 있다. 이것은 분할판 ㉑의 선단에서 좌우로 형성되는 와류의 영향으로 생각된다. 그러나 (II) 지역과 (III) 지역은 그 혼합이 매우 느리다. 이것은 (II) 지역의 시계 방향의 잔류유동이 (III) 지역과 거의 격리된 채 존재하며 그 상호작용이 미약함을 뜻한다. 기하학적으로는 분할판 ㉒가 없어 물질들의 상호 자유로운 왕래를 허용하고 있으나 실제로는 그렇지 못함을

알 수 있다. 반면에, Fig. 7 (b)에서는 분할판 ②가 있음에도 불구하고 (II) 지역에 있던 입자들이 제트유동을 타고 (III) 지역으로 활발히 이동함을 알 수 있다. 입자들이 지속적으로 빠져 나온다는 사실은 다른 입자들이 지속적으로 유입함을 의미한다.

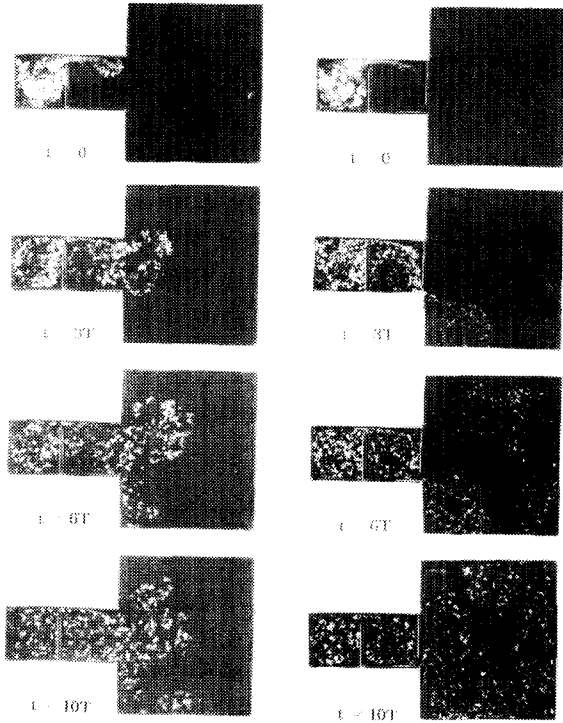


Fig. 7 Distribution of particles for ten periods located intially in the region(I)

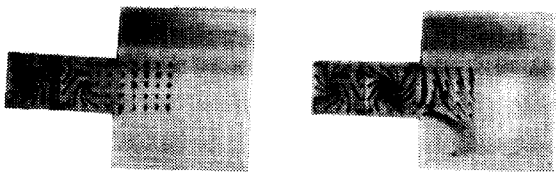


Fig. 8 Flow patterns during the tide and ebb near the plate ②

Fig. 8은 밀물과 썰물동안의 입자의 이동을 스케치한 것이다. 밀물동안(Fig. 8 (a))은 분할판 ②의 틈을 향해 방사선 모양으로 유체가 유입하고, 썰물동안(Fig. 8 (b))은 거의 일정한 각도를 유지하는 제트 모양으로 분출된다. 즉 밀물과 썰물동안의 유선의 모양은 확연히 다르다. 따라서 (II) 지역에 오염물질이 있다면 이것은 썰물동안 강한 제트류를 타고 멀리까지 이동되며, 밀물동안은 주위의 신선한 유체가 공급되는 것이다. (I) 지역과 (II) 지역은 서로 혼합이 잘 된다고 볼 수 있다. 따라서 결론적으로 말하면, 분할판 ②가 있음으로 인하여 (I) 지역의 오염물질이 더 쉽게 먼 바다로 배출된다.

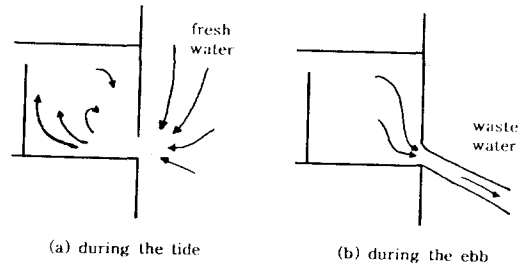


Fig. 9 Dye-spreading on the bottom surface of the basin showing the time-averaged flow in the Ekman layer

Fig. 9는 용기 바닥에서의 유동 형태를 가시화하였다. 그 형태는 각 지역의 중앙부를 제외하고는 한 주기 내에서 거의 변하지 않는다. Fig. 9의 (a)와 (b)에서 (I)과 (III) 지역은 반시계방향, (II) 지역은 시계방향으로 각 지역의 중심부로 향하는 속도를 갖는다. 이것은 중심부에서 Ekman pumping이 존재하는 것을 의미한다. 이로부터, 운동량이나 와도(vorticity)와 같은 유동의 스칼라는 각 지역의 중심에서 부터 멀어지는 방향, 즉 벽 쪽으로 서서히 이동한다고 볼 수 있다. 또한, Fig. 8의 (a)에서는 (III) 지역의 유동이 미약하지만 (b)에서는 (III) 지역의 용기 바닥에서 유동이 강함을 볼 수 있다. 이것은 앞서 논의한 바 있는 제트유동 때문이라 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 조류효과에 따른 항구내의 유동 및 물질확산 특성을 조사하였다. 실제 항구에서의 유동을 천수근사유동으로 가정하고, 상사칙에 대해 주위 깊게 검토한 결과, 실험모델은 레이놀즈 상사칙을 만족시키기 매우 어렵다는 것이 밝혀졌다.

분할판의 선단에서 발생하는 와류는 물질전달에 중요한 역할을 한다. 상식적으로 방파제는 조류를 방해하여 유동을 저하시킨다고 생각하기 쉬우나, 실제 유동은 방파제의 출입구에서 생기는 와동에 의해 순환유동은 훨씬 강해지고 혼합도 더 잘 되었다.

본 연구에서 고려한 항만과 같이, 외항으로 부터 다소 깊숙히 위치한 경우에는 외항과 접하는 지역에 방파제를 하나 더 설치함으로써 조석효과에 따른 물질전달이 훨씬 더 잘 이루어지게 할 수 있음을 예상할 수 있다. 그러나, 실제 항구에서는 선박의 출입문제 등을 고려해야 하는 문제가 남아 있다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 '94신진연구인력

(저자 문중춘에 대해) 연구장려금지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Yanagi, T, "Fundamental Study on the Tidal Residual Circulation-I", J. Oceanographical Soc. Japan, Vol. 32, pp 199-208, 1976
- 2) Oonishi, Y, "A Numerical Study on the Tidal Residual Flow", J. Oceanographical Soc. Japan, Vol. 33, pp 207-218, 1977
- 3) Inohara, K, Kawanaka, K, and Himeno, Y, "An Attempt of Controlling Large Scale Vortex Motions in Osaka Bay Current", Proc. 4th ISOPE Conf., Osaka, Japan, Vol.III, pp 421-426, 1994
- 4) Gurevich, M., "The Theory of Jets in an Ideal Fluid", Pergamon Press, 1966