

부유식 방파제의 위치에 따른 유동 및 난류구조 해석 Analysis of Flow and Turbulence Structure for Rectangular Floating Breakwater

정광효¹, 이민규², 윤종성³
Jung Kwang Hyo¹, Lee Min kyu² and Yoon Jong sung³

1. 서 론

근래, 급속히 진행된 산업화로 인해 육지의 환경 및 자원이 부족해진 요즘 해양 공간의 활용에 대한 연구가 활발히 진행되는 것이 최근의 추세이다. 항만 시설을 보호하고 해양 공간의 효율적 활용을 하기 위해 반드시 필요한 것이 방파제이다. 방파제는 대표적으로 케이슨식 방파제나 경사식 방파제 같은 중력식 방파제를 들 수 있으나 이들 중력식 방파제는 뛰어난 방파기능 대신 만내의 해수유동을 저하시켜 수질을 악화시키고 해빈 침식 등의 많은 악영향을 항내에 야기 시킨다. 중력식 방파제의 이러한 단점을 해결하기 위해 해저지반이나 수심에 제약이 없고 수질악화의 문제가 없는 부유식 방파제가 개발되어 왔고, 많은 연구가 이루어져 왔다. Fugazza and Natale(1988)는 실험값과 선형모델을 비교하여 에너지 손실과 부유식 방파제의 반응을 나타내었다. Williams and Abul-Azm (1997) 과 Williams 등(2000)은 직사각형 단면의 부유식 방파제의 동수역학적 특성을 나타내기 위해 선형 포텐셜 이론을 적용하였다. Chen 등(2002)은 영역분해법 (domain decomposition approach)을 결합한 Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 방정식을 이용하여 부유식 구조물의 와동구조와 흐름 분류 형태에 대한 수치해석을 실시하였다.

그러나 이러한 부유식 방파제 주변의 전체적인 유속 및 난류구조의 관측이 어려운 관계로, 지금

까지 부유식 방파제 혹은 잠제 등의 방파제에 대한 연구는 주로 반사-투과율에 대한 문제와 파랑 차단 성능 문제 정도에 머물러 있는 실정이다. 부유식 방파제의 설치 시의 유동에 관한 연구, 특히 PIV를 이용한 유속 및 난류구조, 와의 특성 등과 관련된 연구는 국내·외를 통틀어 거의 없는 실정이다. 이 PIV 시스템은 수조에 미세입자를 살포하여 입자의 이동을 파악함으로써 유동 형태를 관측하는 방법으로 흐름에 영향을 전혀 주지 않고 정확한 관측 데이터를 얻을 수 있는 매우 우수한 방법으로 알려져 있다.

한편 파동장에서의 구조물의 설치에 따른 유동 및 파동특성의 해석을 위해 VOF법을 이용한 상용프로그램인 CADMAS-SURF (沿岸開發技術研究中心, 2001 이하 CADMAS-SURF)이 개발되어 널리 사용되고 있다. 그러나 CADMAS-SURF를 이용하여 난류장을 포함한 유동장을 모의할 경우에 기존 난류모델의 부정확성과 불안정성으로 인해 계산이 불가능한 경우 많았다.

따라서 본 연구에서는 PIV 시스템을 이용하여 부유식방파제 설치에 따른 유동 및 난류구조에 대한 특성을 파악하고자 하였다. 아울러 Fully nonlinear 방정식에 기초하여 VOF법과 결합한 수치모델을 이용하여, 수치실험결과와의 비교를 통해 부유식방파제 설치에 따른 유동 및 난류구조에 대한 메카니즘의 해석을 시도하고자 하였다.

1 공학박사, Texas A&M University post-doctor

2 인제대학교 토목공학과 대학원

3 인제대학교 토목공학과 교수

2. PIV 시스템

PIV 시스템은 속도장의 시각화를 위해 사용된다. PIV 시스템을 이용할 때 사용되는 광선 소스는 YAG 레이저이다. 이 레이저는 532 nm 파장에서 최대 출력 에너지 400mJ/pulse이고 펄스 주기는 10ns, 각각의 헤드에 10Hz의 반복율을 가진다. 수조에 살포하는 입자는 평균 직경 57 μ m, 비중 1.02를 가진다. 3-mm 직경 레이저 빔에서 얇은 광선판을 발생시키기 위해서 사용되는 광선판(light sheet) 렌즈는 두 개의 구형 렌즈와 하나의 원통 렌즈로 이루어져 있다. 카메라는 1280 \times 1024 화소, 최대 프레임이 8 Hz 인 디지털 CCD 카메라이다. 카메라는 컴퓨터에 의해 제어되는 3D 트레버스에 설치된다. 카메라의 105mm 초점 렌즈는 f2/8로 설정하고 카메라는 실험동안 4 Hz로 작동된다. PIV 시스템은 조파 제어 신호와 조파계의 자료 포착이 동시에 이루어진다.

수리실험에서 90 쌍의 그림들이 PIV 시스템의 유속 측정을 위해 총 8 단계로 각각의 단계에 이용되었다. 시스템의 유속 결정을 위해 double-frame/single-pulsed 교차-상호 관계법이 사용되었다. 4개의 FOV는 구조의 각 모서리의 부근에서 속도를 내기 위해 배열되었다. FOV의 크기들은 FOV 1과 FOV 2는 142 \times 113mm², FOV 3과 FOV 4는 57 \times 47mm²이다. FOV 1과 2의 면적은 FOV 3과 4의 6배이다. 와류와 난류측정을 위해 면적이 큰 FOV 1과 2가 사용되고 카메라의 선명도가 제한되었기 때문에 면적이 작은 FOV 3과 4를 이용하여 보다 선명하고 정확한 유속 자료를 얻을 수 있다. 특히 난류 에너지 값은 높은 공간선명도를 필요로 하기 때문이다. 좌표 시스템은 자유수면의 높이에서 Z=0이고 구조물의 중심에서 x=0인 것으로 설정하였다. PIV 시스템의 속도 벡터들은 La Vision사의 상용 소프트웨어를 이용하여 계산하였다. 복잡한 2-D Fourier transform은 두 개의 작은 면적(interrogation window)으로부터 계산되었고 그것의 복잡한 공역(conjugate)으로 인해 결과가 증가되었다. 그리하여 역함수 FFT는 cross correlation function을 산정하는데 적용되었다.

계산은 최초 64 \times 64 화소의 큰 윈도우 사이즈에서 시작하고 32 \times 32 화소로 된 작은 크기로 축소되었다. 유속 벡터가 계산된 다음 중앙의 필터는 가상벡터의 확인과 삭제에 위해 적용되었다. 빈 공간은 보간 벡터들로 되어 있고 속도의 비현실적인 변화들을 줄이기 위해 3 \times 3 smoothing 필터를

사용한다. FOV 1과 2에서 3.6 \times 3.6mm²과 FOV 3과 4에서 1.48 \times 1.48mm²의 공간선명도가 일치한다. 첫 번째와 두 번째의 레이저 펄스사이에서의 시간 간격 (Δt)는 FOV 1과 2에서 3.0 ms와 FOV 3과 4에서 1.5 ms로 측정 하였다.

3. 수치모델

자유표면을 갖는 흐름장에 대한 수치계산법으로는 Macker입자를 추적하는 MAC법(Harlow 등, 1965), Lagrange좌표계에 의한 ALE법(Hirt 등, 1972)등이 널리 알려져 있지만 Hirt and Nichols(1981)가 제안한 VOF법(Volume Of Fluid)법이 범용성이 높고, 복잡한 자유표면을 표현하는데 매우 우수한 방법으로 알려져 있다. 이 VOF법은 岩田 등(1994)이 잠재에 의한 쇠파해석을 위해 처음으로 적용하였고 그 이후에 CADMAS-SURF가 여러 연구자들의 공동연구로 개발되었다. 본 연구에서는 기존의 연구에서와 마찬가지로 2차원 비압축성 점성유체에 대한 Navier-Stokes방정식과 자유표면 해석모델인 VOF을 결합한 기초방정식을 채용하였다. 아울러 유장장 및 난류장의 계산을 보다 정확하게 하기 위해 $k-\epsilon$ 난류모델을 이용하여 난류 및 와동점성계수의 계산을 실시하였다. 이하에서는 본 수치모델의 기본이론에 대해 간략히 기술한다.

3.1 기초방정식

유체를 2차원 비압축성의 점성유체로 가정하면 기초 방정식은 연속방정식과 Navier-Stokes 운동방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = S_p \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial wu}{\partial z} = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \nu_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - D_x u + S_u - R_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial ww}{\partial z} = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \nu_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - D_z w + S_w - R_z - g \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, t 는 시간, x, z 는 수평, 연직좌표, u, w 는 x, z 방향의 유체입자의 속도, ρ 는 유체의 밀도, p 는 압력, ν_e 는 분자동점성계수와 와동점성계수의

함, g 는 중력가속도를 나타낸다. 그리고 D_x, D_z 는 에너지감쇠대를 위한 계수이며, S_ρ, S_u, S_w 는 조파소스항을 나타낸다.

또한, 항력항 R_x, R_z 를 항력계수 C_D 를 적용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_x = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta x} u \sqrt{u^2 + w^2} \quad (4)$$

$$R_z = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta z} w \sqrt{u^2 + w^2} \quad (5)$$

여기서, $\Delta x, \Delta z$, 는 수평, 연직방향의 격자간격이다.

3.2 VOF 함수의 이류방정식

본 연구에서는 자유표면을 추적하기 위해 현재까지 가장 유용한 방법으로 알려져 있는 VOF법(Hirt and Nichols, 1981)을 이용하고 있다. VOF함수 F 는 일정 물리량인 유체의 체적율로서 $0 \leq F \leq 1$ 의 범위를 가진다. $F = 1$ 일 경우는 유체셀로, $F = 0$ 일 경우는 기체셀로, $0 < F < 1$ 일 경우는 표면셀로 각각 판단하여 자유수면을 추적하게 되며, 다음의 이류방정식에 의해 VOF함수가 이류된다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial uF}{\partial x} + \frac{\partial wF}{\partial z} = S_F \quad (6)$$

여기서, $S_F = Fq(z, t)$ 는 조파소스를 위한 소스항이다.

3.3 무반사모델

정상상태의 파동장을 얻기 위해서는 장시간의 해석이 필요하게 되며, 이 때 해석영역의 양단으로부터 반사파를 제거하기 위하여 무반사모델의 적용이 요구된다. 따라서, 본 수치모델에서는 CADMAS-SURF에서 기술하고 있는 것과 마찬가지로 Sommerfeld의 방사경계조건과 에너지감쇠대를 적용하여 무반사조건을 설정하였다.

(a) Sommerfeld 방사경계조건

개경계조건으로 Sommerfeld 방사경계조건은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + C \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

여기서, ϕ 는 유속 등의 물리량, C 는 파속이다.

(b) 에너지감쇠대

에너지감쇠대는 식 (2)와 식 (3)의 운동방정식에 이하의 식 (8) 및 식 (9)의 유속에 비례하는 감쇠항을 부가한다.

$$\text{- 방향유속의 감쇠항} = -D_x U$$

$$D_x = \theta_x \sqrt{\frac{g}{h}} (N+1) \left(\frac{x-x_0}{l} \right)^N \quad (8)$$

$$\text{- 방향유속의 감쇠항} = -D_z U$$

$$D_z = \theta_z \sqrt{\frac{g}{h}} (N+1) \left(\frac{x-x_0}{l} \right)^N \quad (9)$$

여기서, h 는 수심, l 과 l_0 는 에너지감쇠대의 넓이와 개시위치, N 은 분포함수 차수, θ_x 와 θ_z 는 무차원계수이다.

3.4 난류모델

본 연구에서는 부유식방파제의 유동구조 및 난류구조를 보다 상세하게 해석하기 위해 실용성이 높고 여러 분야에서 사용되고 있는 $k-\epsilon$ 난류모델을 채용하여 난류항의 완결(closure)을 실시하였다. 난류모델의 기초방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial uk}{\partial x} + \frac{\partial wk}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \nu_k \left(\frac{\partial k}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu_k \left(\frac{\partial k}{\partial z} \right) \right\} + G_s - \epsilon \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u\epsilon}{\partial x} + \frac{\partial w\epsilon}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \nu_k \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu_k \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) \right\} + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_s - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (11)$$

$$G_s = \nu_t \left\{ 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (12)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (13)$$

$$\nu_k = \nu + \frac{\nu_k}{\sigma_k} \quad (14)$$

$$\nu_\epsilon = \nu + \frac{\nu_\epsilon}{\sigma_\epsilon} \quad (15)$$

이고, 난류방정식에서 포함되어 있는 경험정수는 표준 $k-\epsilon$ 난류모델에서 일반적으로 적용되는 $C_\mu=0.09, \sigma_k=1.00, \sigma_\epsilon=1.30, C_1=1.44, C_2=1.92$ 값을 이용하였다.

한편, 이상의 기초방정식에 의해 유동 및 난류장의 계산을 위해 벽면 및 수면부근에서의 전단류는 일반적으로 대수분포식을 채용하고 있다. 그러나 $k-\epsilon$ 난류 모델은 고 Reynolds형 모델이기 때문에, 점성의 영향이 큰 벽면과 수면부근에는 벽법칙(wall law)를 직접 채용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 대수분포식에서 구해지는 무차원량

$$y^+ = u^* y / \nu \quad (16)$$

에 기초하여 벽면 및 수면부근에서의 k, ϵ 에 대해서는 Patel 등(1985)의 실험적 함수형을 채용하여 수치 모델을 구성하였다.

특히, 난류모델의 구성에 있어서 난류량 k, ϵ 에 대하여 초기조건과 유입 경계조건을 설정하는데에는 특별한 주의가 필요하다. 난류방정식에 따르면, k 가 0일 때, ϵ 에 대한 생성항과 소산항은 singular가 된다. 또한, 식 (10)에서 난류생성항은 k 에 비례하므로, 만약 초기에 난류 에너지가 없다면 수치모델은 난류 에너지를 생성시키지 못하여 계산이 불가능하게 되는 문제점이 발생한다. 즉 초기조건과 유입 경계조건에 대한 적절한 도입이 필요하게 된다.

따라서 본 연구에서는 Lin 등(1998)의 연구에 대한 공부를 통해 난류량에 대한 초기조건 및 유입 경계조건의 함수를 도입하여 적절히 수치모델을 구성하였다. 이에 대한 자세한 내용은 그들의 연구를 참조하기 바란다.

4. 수치해석 및 결과 분석

4.1 수리실험 및 수치실험 조건

본 수치모델의 기초방정식의 이산화는 Staggered 격자계를 사용하고 격자폭을 자유롭게 설정할 수 있는 가변 격자폭을 사용한다. 그리고 VOF법

(Control Volume)으로 이산화하며 이류항 이외의 공간방향의 이산화에는 2차정도(精度)의 중심차분, 선형보간 및 면적보간을 사용하고 시간방향의 이산화는 Euler법을 기본으로 하고, 운동방정식과 연속식의 연성에는 압력항을 음적으로 평가하는 SMAC(Simplified Marker and Cell)법을 사용한다(沿岸開發技術研究Center, 2001).

Fig. 1에 나타나 있는 구조물은 수리 실험에서 사용한 부유식 구조물을 그대로 재현하였다. 수치실험은 수로의 총 길이(L)는 9.196m, 높이 1.0m, 수심 0.8m의 수치고동수로에서 실시하였다. 수로 끝에는 2파장의 감쇄 영역을 설치하였고 구조물 앞뒤 4cm 지점에 파고계를 설치하여 수위를 측정하였다. 격자는 구조물 주변으로 선형적으로 줄어드는 가변격자를 사용하여 적절히 구성하였다.

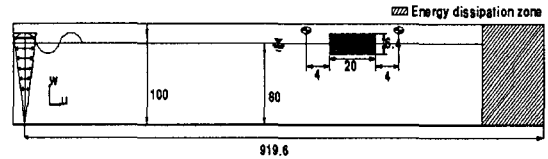
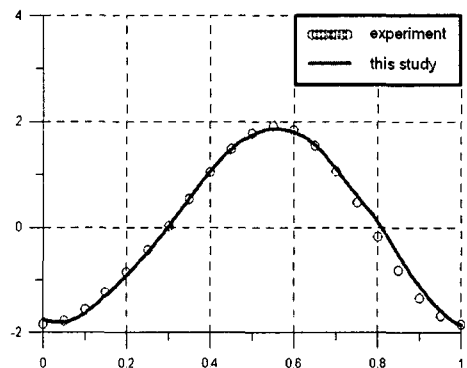


Fig. 1. Sketch of wave tank (unit : cm)

4.2 결과 분석

4.2.1 실험 결과와의 파형비교

부유식 방파제에 대한 해석의 타당성을 검증하기 위해 수리 실험 자료와 같은 조건으로 조파를 시켜 결과를 비교하였다. 파고계는 구조물 전·후면 4cm 지점에 설치하였으며 수치해석에 사용된 입사파는 $H_i = 4cm$, 주기 $T = 1.0sec$ 으로 된 규칙파를 사용하였다. Fig. 2에 나타나 있듯이 수리실험결과와 본 수치해석의 결과는 부유식 구조물의 전·후면 모두의 시간파형이 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 본 수치모델은 부유식방파제의 파동변형 특성의 해석을 위한 유용 수단으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.



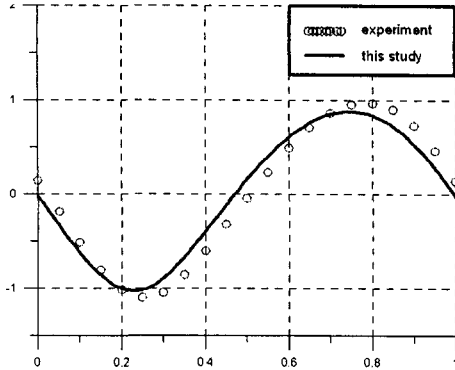


Fig. 2. Free surface profile measured at 4 cm in front of the structure (left side) and 4 cm behind the structure (right side).

4.2.2 부유식 방파제의 속도장

Fig. 3은 입사파랑이 수심파장비 $h/L_i = 0.51$ 이고 파형경사가 $H_i/L_i = 0.025$ 인 장파에 대하여 부유식 방파제 주변의 속도 벡터를 표현하였다. 유속 데이터는 파가 충분히 정상상태를 이루게 하기 위해 계산시간을 60초로 지정하여 마지막 3파장의 유속 데이터(57초, 58초, 59초, 60초)를 취득하여 평균한 값을 사용하였다. 방파제 주변의 유속 변화를 상세히 표현하기 위해 구조물 전후면의 끝으로부터 2.6cm의 범위에 대해 나타내었고 구조물 중심과 자유수면의 높이를 원점으로 하여 좌표를 표현하였다. 전 시간영역에서 구조물 모서리 부근에서 와가 발생하는 것을 볼 수 있다. Fig. 3(a)는 구조물 전면에서 파곡과 일치한다. 전면에서는 구조물 모서리 보다 하단 쪽에서 회전이 발생하고 후면에서는 모서리 부근에서 작은 크기의 회전이 발생한다. Fig. 3(b)에서 서서히 유속이 커지면서 전면의 수위가 상승한다. Fig. 3(c)에의 전면을 보면 구조물 측면에서 회전이 크게 발생하여 유속벡터의 방향이 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이 때 후면의 구조물 측면에서 회전이 작게 생성되기 시작된다. Fig. 3(d)에서 전면의 하단부와 후면의 측면에서 회전이 크게 발생하여 다시 Fig. 3(a)와 같이 방향이 바뀌는 것을 생각 할 수 있다.

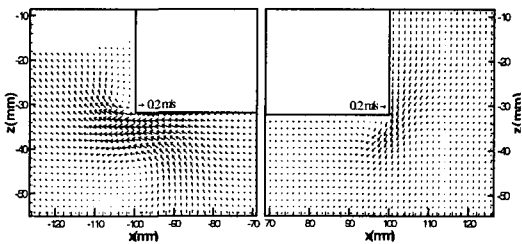


Fig. 3(a)

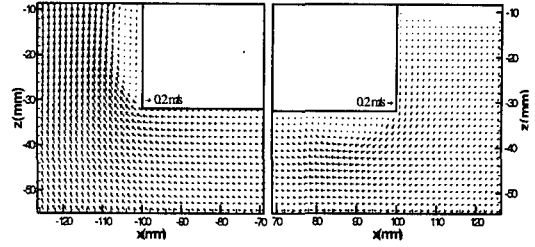


Fig. 3(b)

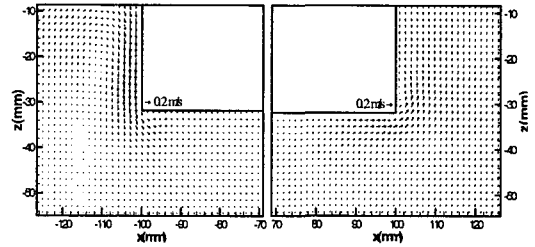


Fig. 3(c)

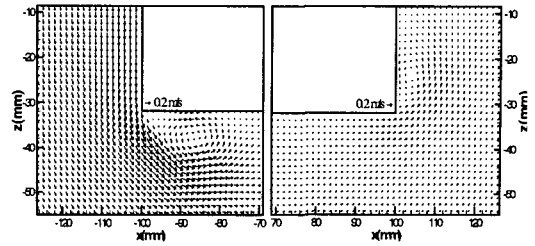


Fig. 3(d)

Fig. 3. Mean velocity. Left side is seaward and right side is leeward(a,b,c and d is phases for 0.0sec, 0.25sec, 0.50sec and 0.75sec).

Fig. 4는 구조물 전후의 유속분포에 대한수리실험결과와 수치실험결과를 비교한 것이다. 유속분포는 수치실험과 수치실험 모두 동일하게 구조물 전후 2cm 떨어진 지점에서의 시간별 연직분포를 비교하였다. 비교 결과, 본 수치모델에 의한 유속분포는 수리실험결과와 부분적으로 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 그림(4.a)에서 볼 수 있듯이 부분적으로 유속의 방향이 약간 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 상세한 유속분포의 정확한 재현을 위해서는 수치모델에 대한 보다 면밀한 검토와 공부가 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 검토를 진행 중에 있다.

4.2.3 난류 에너지의 분포

Fig. 5는 PIV의 위상 평균을 이용하여 측정된 난류 에너지를 나타낸다. 측정값은 FOV3과 4로서 얻어졌는데 난류 에너지의 생성과 발달에 대해 좀

더 정확하고 세밀한 결과를 얻기 위함이다. 위상은 0초부터 0.75초 까지 4개의 위상으로 나타내었고 1주기의 파의 난류 에너지를 표현하였다.

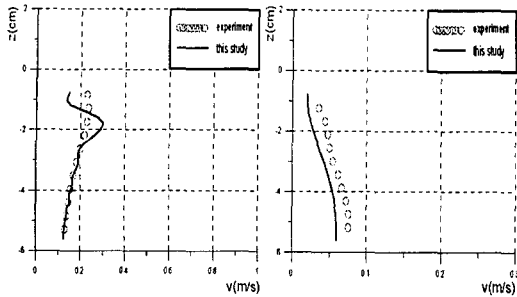


Fig. 4(a)

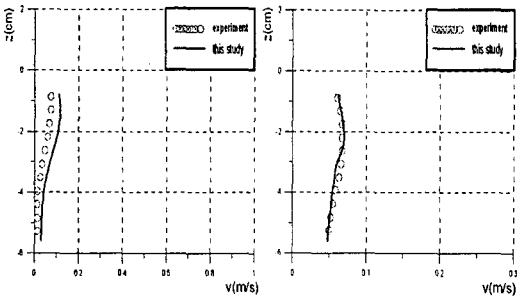


Fig. 4(b)

Fig. 4. Velocity profile for z value. Left side is seaward and right side is leeward(a,b is phases for 0.25sec, 0.50sec).

위에서 밝힌 바와 같이 더 세밀한 표현을 위해 구조물 전·후면의 2.6cm 까지 그림으로 나타내었다. 난류 에너지의 형상은 구조물 양쪽의 속도 벡터의 회전, 즉 와가 발생하는 부분과 일치한다. Fig. 5(a)에서 난류 에너지의 두 최대값은 구조물 전면에서 속도 벡터의 크기와 회전이 가장 강한 곳에서 생성된다. 이 같은 형상은 구조물 후면에서는 분명하지 않은데 이는 아마도 측정의 공간 분석과 작은 회전으로 비롯된 것이다. Fig. 5(b), (c), (d)에서 볼 수 있듯이 난류 에너지가 유속 벡터의 방향으로 점차 구조물 측면에서 생성되다가 (c)에서처럼 방향이 순환되면서 구조물 전면의 유속이 최소값을 가지면 난류 에너지 또한 최소값을 갖게 되고 다시금 유속이 커지고 구조물 하단에 회전이 크게 형성되면서 난류 에너지 또한 최대값을 갖게 된다. 전체 그림에서 볼 수 있듯이 난류 에너지의 분포는 대부분의 위상에서 구조물 전면이 후면보다 월등히 크다는 것을 알 수 있다. 이는 입사파에 의한 유속의 크기와 구조물에 충돌하

면서 생성되는 와가 후면보다 전면에서 크게 발생하기 때문이라 생각한다.

한편, 위상 0초에서 구조물 전면에서의 (-) 와가 모서리 부분에서 생성되고 후면에서도 (-) 와가 구조물 모서리 부분에서 생성되어 시간이 지남에 따라 구조물 전·후면에서 (+) 와는 파가 입사되는 방향으로 순환되고 차차 소멸된다. 난류 에너지의 형태는 전·후면의 와의 형태와 유사하다. 난류 에너지가 최대를 이루는 영역에서 와 또한 최대를 이룬다. (-) 와는 (+) 와가 소멸하는 동안 영역이 커지고 더 큰 값을 나타내었다. 와의 순환 형태는 구조물 전면에서 위로(+z)움직이고 후면에서는 전면 방향(-x)으로 움직이며 이는 급축소나 급확대되는 수로를 지날때의 유체흐름 형태와 유사하다. 난류 에너지의 형태는 와의 형태와 유사하며 (+) 와가 소멸하는 동안 난류 에너지의 소멸은 더 지속되었다. 이것은 (+)와 (-)와가 서로 영향을 주기 때문에 서로 상쇄된 것이라 여겨지며 이 때문에 와의 크기는 난류 에너지보다 더 빨리 소멸하게 한다.

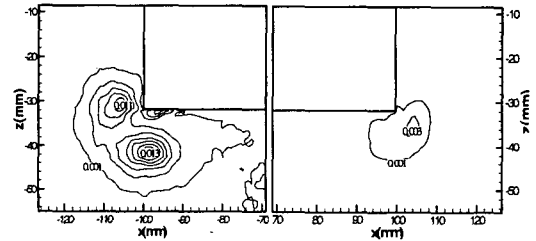


Fig. 5(a)

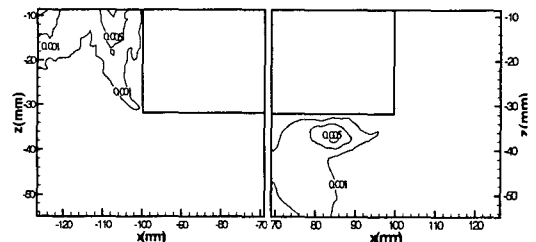


Fig. 5(b)

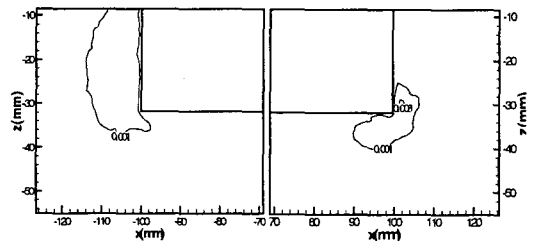


Fig. 5(c)

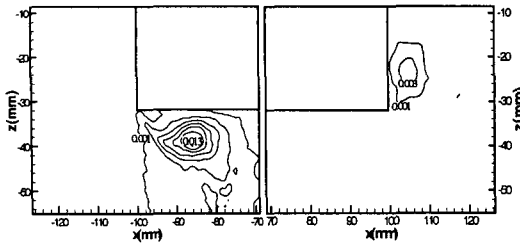


Fig. 5(d)

Fig. 5. Mean turbulent kinetic energy. Left side is seaward and right side is leeward(a, b, c and d is phases for 0.0sec, 0.25sec, 0.50sec and 0.75sec).

5. 결과 및 고찰

본 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 유속의 형태는 구조물 모서리 부근에서 회전 흐름이 강하게 형성되며 특히 위상 0초에서는 구조물 전면 모서리 부근에서 반대방향의 회전이 동시에 발생하여 분사 형태의 흐름을 볼 수 있다.

(2) 난류 에너지의 분포는 유속벡터가 큰 회전영역에서 매우 크게 발달하는 것을 볼 수 있으며 구조물 전면이 후면보다 매우 크게 나타났다. 일부 위상에서 구조물 후면에서의 형상이 잘 나타나지 않는 것은 작은 회전에서 비롯된 것이라 여겨지며, 난류 에너지의 분포가 대부분의 위상에서 구조물 전면이 후면보다 월등히 크게 나타나는 것은 입사된 파가 구조물에 충돌하면서 발생하는 와가 후면보다 전면에서 크게 발생하기 때문이라 생각한다.

(3) 본 연구에서의 수치모델에 의한 수치실험결과와 수리실험결과에 의한 부유식 구조물의 전후면 모두의 시간과형이 잘 일치하였으며, 본 수치모델은 부유식방

파제의 파동변형 특성의 해석을 위한 유용 수단으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 유속분포에 대해 수리실험과 수치실험을 비교한 결과, 본 수치모델에 의한 유속분포는 수리실험결과와 대체적으로 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 그러나 부분적으로 유속의 방향 및 난류량이 약간 일치하지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 상세한 유속분포의 정확한 재현을 위해서는 수치모델에 대한 보다 면밀한 검토와 공부가 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 검토를 진행 중에 있다.

참고문헌

- 沿岸開發技術研究センター (2001). “CADMAS-SURF 數値波動水路の開發研究”, pp.5-16.
- Chen, H.C., Liu, T, Chang, K.A., and Huang, E.T. (2002). “Time-domain simulation of barge capsizing by a Chimera Domain Decomposition Approach”, 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, KitaKyushu, Japan, May 26-31, p. 314-321.
- Fugazza, M. and Natale, L. (1988). “Energy losses and floating breakwater response, Journal of Waterway”, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 114, No. 2, 191-205.
- Lin, P. & Liu, P. L-F. (1998). “A numerical study of breaking waves in surf zone”, J. Fluid Mech. vol. 359, pp. 239-264.
- Patel, V. C., Rodi, W. and Scheuerer, G. (1985). “Turbulence models for near-wall and low Reynolds number flows : A review”, AIAA J., Vol. 23, No.9, pp.1308-1319.
- Williams, A.N. and Abul-Azm, A.G. (1997). “Dual pontoon floating breakwater”, Ocean Engineering 24, 465-478.