

시화 조력발전 건설을 위한 국지 해양조석시뮬레이터 설계 Design of Regional Ocean Tide Simulator for Construction of Siwha Tidal Power Plant

최병호¹, 민병일², 이한수²

Byung Ho Choi¹, Byung Il Min² and Han Soo Lee²

1. 서 언

시화호(Fig. 1)에 254Mw용량의 조력 발전소의 실시 설계와 건설이 2004년 7월부터 착수 되게 되었다. 아마도 공정은 초기의 작은 가리섬의 조력 발전소 기초를 건설하기 위한 암반 터파기 공사와 더불어 실시 설계가 병행됨으로써 전체적인 공기를 단축하기 위한 시도가 이루어 질 것이나 터빈 발전기의 적기 조달이 또 하나의 공정에 영향을 주는 요소가 될 것이다. 현재 방조제는 이미 완공이 되어 있는바 방조제 건설이 기존 조석(방조제 건설전) 체계에 어떠한 영향을 주는가에 대한 평가(dead barrage condition)는 의미가 없는 일일 것이며 실제로 채택된 창조식 발전 모드에 따른 조지내외의 조석 양상의 재현(working barrage condition)에 관한 자세한 평가가 수치 시뮬레이션에 의하여 실시 설계 단계에서 정밀하게 검토되어야 할 부분이다. 이 경우에 조력 발전에 의한 통수 방법은 기 설정된 조석 저류지내의 창조식 발전을 위한 수위를 제약 수위로 하는 내외 수위차에 의존되는데 발전 또는 수문에 의한 조석 저류지내의 조량 배출이 관건이 된다. 이러한 조력발전 가동시의 상황이 조위에 어떠한 영향을 주는가를 상세하게 평가하기 위해서는 고해상도의 조석 수치 모형을 필요로 하는데 이 부분은 주로 기초 설계 단계에서는 간과되고 있다. 본 논문에서는 시화 조력발전 건설을 위한 국지 해양 조석 시뮬레이터의 초기 수립과정을 설명하고 이 시뮬레이

터가 최적 발전량 계산을 위한 용도만이 아니라 건설중에 가물막이 상황에서의 단계별 유황 상황을 실시간적으로 예보 함으로써 건설중의 관리도 구로서도 유용함을 제시하고자 한다.

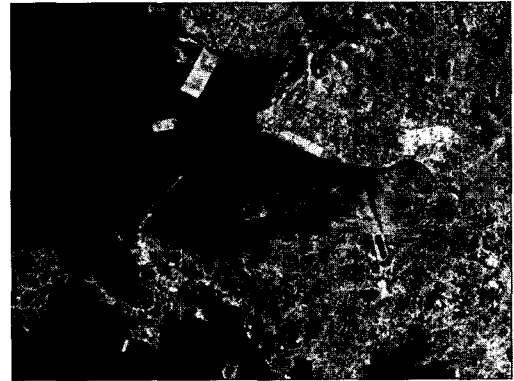


Fig. 1. 시화호 위성 영상

2. 시화 방조제 창조식 발전 모드

시화호 조력 발전소의 발전방식은 시화호 수위를 평균해수면 수준의 수위로 유지해야 하는 전제 조건을 고려하여 창조식 단류발전 방식이 채택되었으며, 발전시에는 수차발전기를 통하여 외해에서 시화호 내로 해수가 유입되고, 배수시에는 수차발전기와 수문을 통하여 시화호 외해로 해수가 배출된다. 사용될 발전기는 Bulb형 수차 발전기로 저낙차용으로서 하천 소수력 및 조력발전용으로

1 성균관대학교 토목환경공학과 교수

2 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

널리 적용되며, 프랑스 랑스조력발전소에 설치되어 30년 이상 지난 현재까지 가동 중이다. 또한 중국, 러시아 등의 조력발전소에도 설치, 운영중에 있다. 여기서 창조식 발전과 낙조식 발전의 큰 차이점은 시화 조석저류지내의 수위가 전자는 저조위와 평균수위정도로 변하게 조정되며 후자는 고조위와 평균수위사이가 발전수위가 된다는 점이다. 이와같은 기본적인 발전모드의 차이에 의해 창조식의 큰 단점은 시화조석 저류지내의 조간대의 평균수위 이상이 영구적으로 노출되어 조간대의 해양생태계(marine ecosystem)이 담수생태계(fresh water ecosystem)으로 변환된다는 점은 잘 알려져 있으며 또한 낙조 발전의 상부조량이 창조발전의 하부조량보다 훨씬커서 낙조 발전이 훨씬 경제성이 있는 발전모드인 것 역시 주지의 사항이다. 단적으로 말하면 시화조석 개발은 해수 유통을 촉진시켜 호수내의 오염 상황을 개선시킨 다는 취지이나 내부의 저매립 개발을 염두에 둔것은 명백한 사항이다. 이러한 제약점을 충분히 인식하면서 조력발전전에 관련된 시화조석저류지의 동수역학적인 이해와 관련된 모델링(generic modeling)연구의 탐구가 실시설계에서는 상세하게 이루어져야 한다.

3. 시화 해역 조석 시뮬레이터

김(2000)의 논문에서 수립된 황해 및 동중국해를 해상하는 격자(Fig. 2.(a))는 총 38,090개의 절점과 72,733개의 요소를 가지고 있는데 우리나라 주변지역 해양조석 모형의 3개의 기본 모형의 하나로 동중국해 육봉 경사면을 위해 경계로 하는 모형 영역을 갖는다. 이 격자를 기본으로 하여 시화 해역을 자세히 해상하는 약 285,000개의 요소(약 149,000개의 절점)를 가진 유한요소 격자(Fig. 2.(b))를 새로이 제작하고 기존의 격자와 합성하여 시화 해역을 자세히 해상하는 황해 및 동중국해 전역을 포함하는 격자를 제작하였다. 합성 과정은 기존의 격자에서 합성될 위치의 절점과 요소를 삭제하고, FEMEDITOR (김과 최, 2001)의 격자삽입 기능 (Insert Grid)을 이용하여 삽입한 다음, 두 격자의 경계부분의 요소와 절점을 수정하는 과정을 거쳐서 합성하였다.

성균관 대학교의 해안 · 해양 역학 연구실의 FEMEDITOR는 윈도우 환경에서 사용가능한 범용성 있는 요소생성, 편집, 입출력처리 프로그램으로 격자를 수정하고 재구성하는데 Windows/GUI에 쉽고 간편한 환경을 제공하고 격자의 제작으로는 직

선, 구형, 반원형 경계를 위한 일련의 절점의 지정, 화면상에서 직접 생성, 편집하는 수동격자제작 및 자동격자 생성 루틴을 이용한 격자 제작의 기능뿐만 아니라, 경계조건의 입력, FEM 모델링에 필요한 각종 형식의 입출력을 지원하여 유한요소 모형의 입력값을 쉽게 제작할 수 있다. 또한 수심 데이터베이스(최 등, 2002)를 이용한 수심입력, 요소의 방향검사, 절점의 Renumbering을 통한 격자의 최적화, 구면좌표계-직각좌표계 (UTM)의 상호 전환 등의 Module을 이용하여 복잡한 해안선 및 수심변화를 해상하는 최적의 시스템을 갖는 격자망을 구성할 수 있게 제작되었고 유한요소격자를 이용하는 장파 모형 및 천해파 모형인 FUNDY5 (Naimie와 Lynch, 1993), TEANL (Westerlink 등, 1988), ADCIRC, QUODDY4 (Naimie 등, 1998), TIDE3D (Walters와 Werner, 1991) 및 CGWAVE(엄, 2001)의 입력값 (절점, 요소, 입력 옵션)으로의 작성이 가능하고, 각 모형의 결과값을 쉽게 화면상에서 디스플레이 및 간단한 결과의 빠른 해석이 가능하며 모형의 결과값을 공개 그래픽 프로그램인 OpenDX (김, 2000)의 형식으로의 변환할 수 있는 Module이 내장되어 유한요소 결과의 가시화가 용이하게 설계되어 과거에 유한요소망의 형성에 많은 시간과 노력을 소비하던 단점을 극복하였다. 그러나 천해역의 복잡한 해안선과 수심변화를 잘 해상시키기 위해서는 FEMEDITOR 역시 수작업에 의한 해안선 정합 작업 등의 노력과 시간이 소요된다. 상용의 SMS(Surface Modeling System)에서의 요소망 형성 코드도 유사하게 활용될 수 있다. Fig. 2 에서는 시뮬레이터의 근간을 이루는 유한요소 모형의 격자체계가 제시되며 Fig. 2(d)에서는 현재 시화 갑문(8련) 주변의 약 8m정도를 갖는 메쉬가 제시된다. 이모형들의 운용은 Fig. 3 에 제시된 128cpu의 SGI2800 의 병렬 체계에서 운용되게 설계되었다. 초기 실험은 제한된 cpu로서 수행되었는데 이용가능한 모든 cpu를 사용하면 계산 효율은 상당히 증가될 수 있다. Fig. 4에는 병렬 체계에서의 CPU 할당에 따른 계산 영역의 분할이 제시되어 있는데 Metis 기법을 이용한 영역분할법은 효율적으로 계산부하를 균일하게 할당시키고 있다.

3.1 평균 조석 상황 초기 시뮬레이션

평균 조석 상황을 나타내는 M2조석주기를 통한 창,낙조시의 조류산정 결과가 Fig. 5에 제시된다.

Fig. 2(d)에 제시된 상세한 수문에서의 격자체계를 통한 창낙조가 잘 묘사되고 있어 작은 가리섬을 굴착하고 강시판 가물막이 공사등의 공정에 따른 흐름 변화 및 발전소 건설후의 발전수차 및 배수갑문을 통한 상세한 통수를 산정할 수 있다.

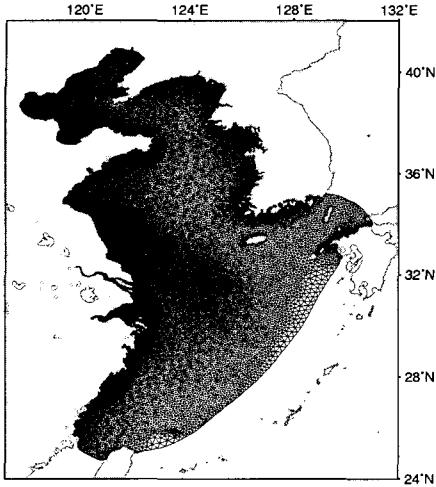


Fig. 2(a) 황해 및 동중국해 유한요소격자

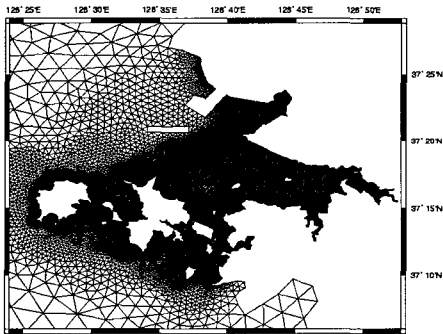


Fig. 2(b). 시화호 및 인근해 유한요소격자

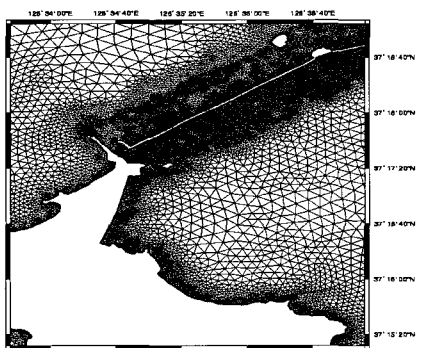


Fig. 2(c). 배수갑문 및 작은가리섬 유한요소격자

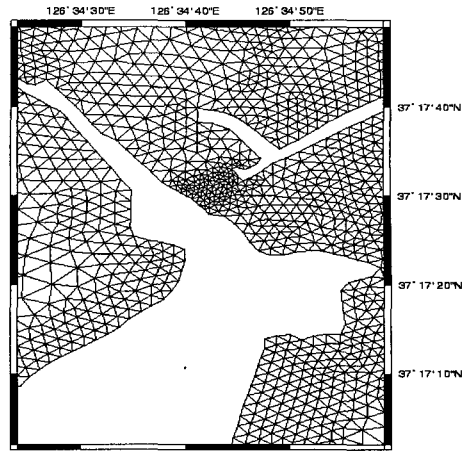


Fig. 2(d). 배수갑문 상세 유한요소격자

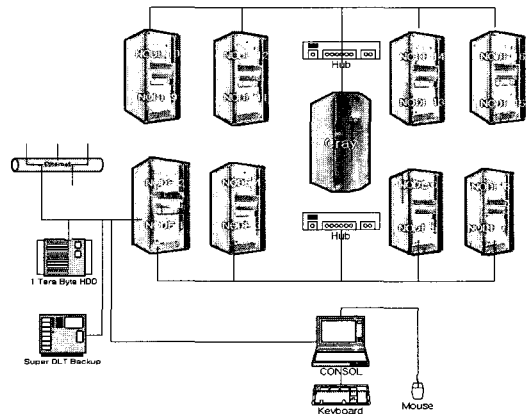


Fig. 3. 시화호의 국지 해양 조석 시뮬레이터의 운용을 위한 병렬형 SGI2800 시스템(128cpu) 2개의 Rack을 단위로 하여 CRAY META Router로서 연결되며 48Gb의 Shared RAM이 설치되어 있음

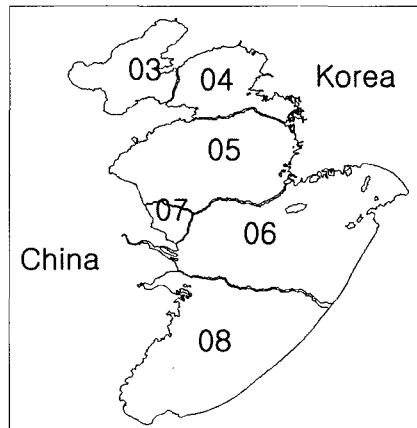


Fig. 4(a). 병렬체계에서의 cpu 할당

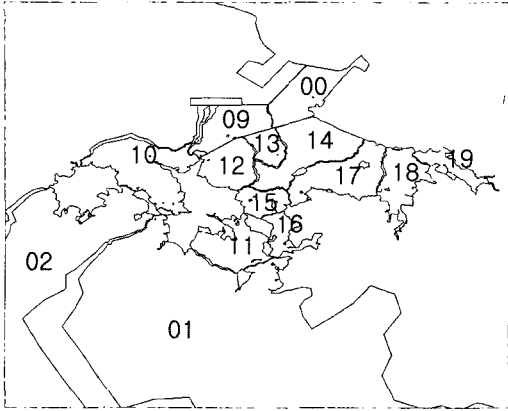


Fig. 4(b). 병렬체계에서의 cpu 할당

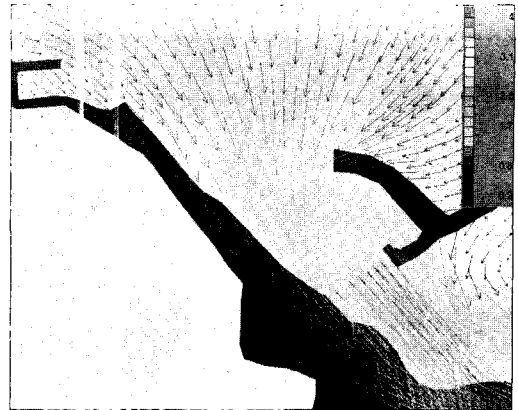


Fig. 5(e). 창조시 배수갑문에서의 조석 백터도

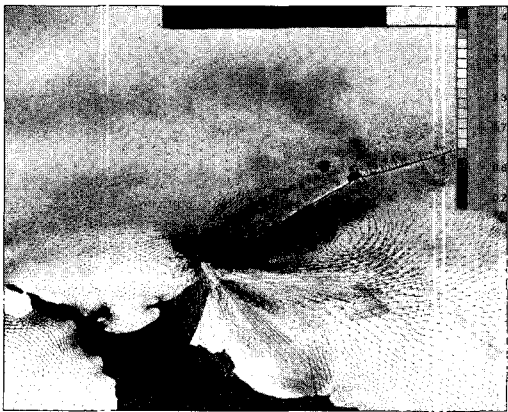


Fig. 5(a). 창조시의 조석 백터도

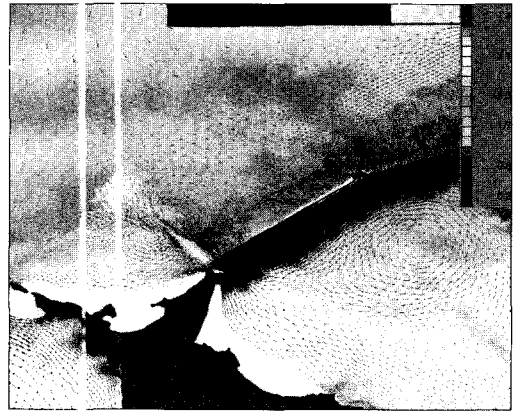


Fig.5(b). 창조시의 조석 백터도

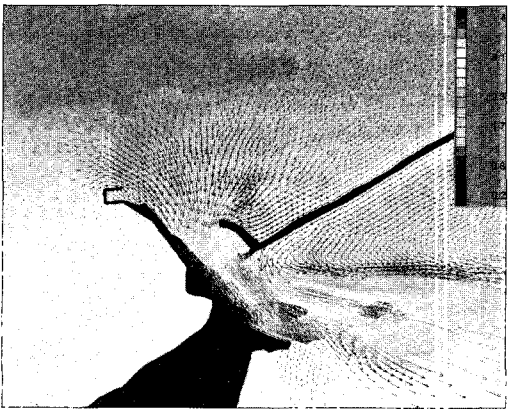


Fig. 5(c). 창조시 배수갑문에서의 조석 백터도

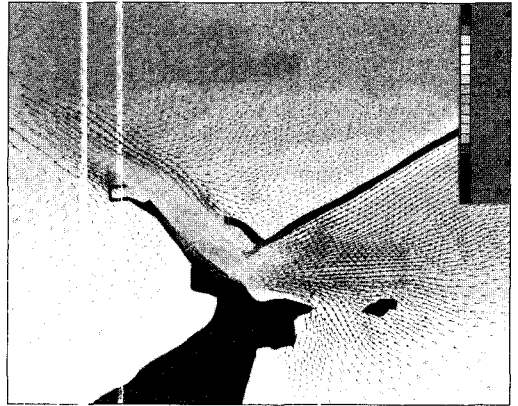


Fig. 5(d). 창조시 배수갑문에서의 조석 백터도

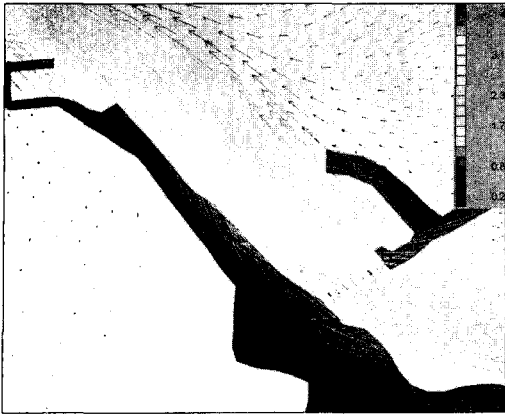


Fig. 5(f). 낙조시 배수갑문에서의 조석 벡터도

3.2 LPTM (Lagrangian Particle Tracking Model)

LPTM은 속도를 사용하여 Gaussian random-walk dispersion을 적용하는데, 시공간적으로 보간 된다. 다른 특징으로는, 항력 factor(drag factor), 침강속도(settling-velocity), 감쇠율(decay-rate) 등이 포함되어 있어, 필요시 추가되지만, 속도를 위하여 초기에 생략되어 있다. Gaussian random-walk dispersion은, Δt 시간 간격 동안 입자의 전 이동이 이류 성분(advective component)으로부터 유발되고, 확산 성분(dispersive component)은 부격자(sub-grid) flow 프로세스와 난류를 제시해야 한다(Table 1).

Table 1. LPTM의 주요오수와 수송위치 산정

종방향 확산(Longitudinal dispersion)
$\Delta D_L = \sqrt{(6 \cdot D_L \cdot \Delta t)} \cdot RAND_1^{1-1}$
횡방향 확산(Transverse dispersion)
$\Delta D_T = \sqrt{(6 \cdot D_T \cdot \Delta t)} \cdot RAND_1^{1-1}$
중간 확산 (Neutral dispersion)
$\Delta D_0 = \sqrt{(6 \cdot D_0 \cdot \Delta t)} \cdot RAND_1^{1-1}$
속도(Velocity)
$s = \sqrt{(u^2 + v^2 + w^2)}$
수송(Transport)
$y_{i+1} = y_i + (v \cdot \Delta t) + (\Delta D_L \cdot v/s) - (\Delta D_T \cdot u/s) + \Delta D_0$
$x_{i+1} = x_i + (u \cdot \Delta t) + (\Delta D_L \cdot u/s) - (\Delta D_T \cdot v/s) + \Delta D_0$
$z_{i+1} = z_i + (w \cdot \Delta t) + \Delta D_0$

이 경우에 D_L 은, model interface와 파라메터 파일에서 KD1으로서 언급되는 D_T 와 같다고 가정된다. D_0 는 수평방향에 대해서 KD2가 되고, 수직 중

간 이산(vertical neutral dispersion)에 대해서는 KDV가 된다. 항력, 침강속도, 감쇠율을 부여하는 경우는 3차원 시뮬레이션 결과를 적용하여 운용되게 설계 하였다.



Fig. 6(a). 입자의 초기 위치

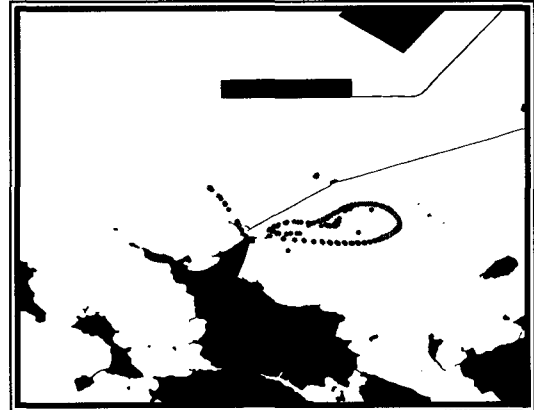


Fig. 6(b). 6시간 경과후 입자의 위치

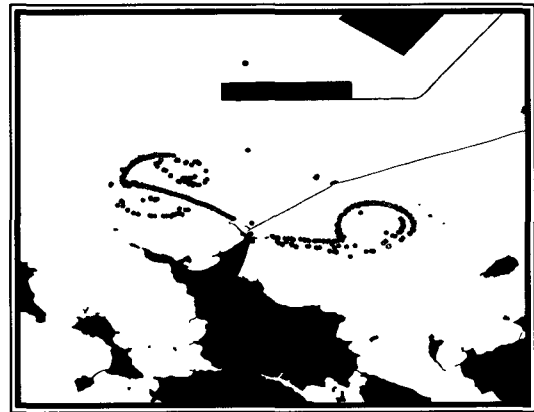


Fig. 6(c). 12시간 경과후 입자의 위치



Fig. 7(a). 94년 1월 말 방조제 하류부 세굴
가시화

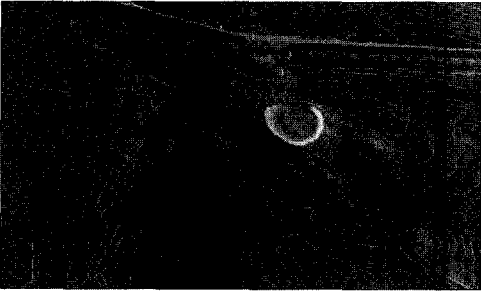


Fig. 7(b). 방조제 건설 후 현재(2003) 수심
가시화

3.3 관련 시뮬레이션 체계(Generic Simulation System) 구성 설계

광역모형의 산정체계가 병렬형으로 신속하게 동수역학 환경이 시뮬레이션 되지만 이와 병행하여 유황 산정결과를 출력 보관하여 퇴적 오염(확산)수질 모형등을 운용하기 위해서는 전역의 동수력장을 시화호 인근의 요소망을 재정렬 할 수 있도록 설계되어 이미 인천 연육교 해역 및 항주만 조석산정에 적용되었다. 일련의 계속되는 모델링은 다음과 같은 과업이 있다.

가) 시화해역의 3차원 동수역학, 유한요소 병렬 모형 : 3차원적 부유사모형, 확산모형과 연계하여 운용

나) 시화요소 근역모형에 의해 공사단계에 따른 유황 시뮬레이션과 완공 후 실시간 수위 예측 모형의 수립 : 이 경우 발전모드가 인입되는 Working barrier(permeable barrier)scheme이 인입되기 위해서 유한 요소를 더 세밀화 시킬 필요가 있다.

다) Fig. 7에 제시된 10여년 기간의 장기적 지형변화가 관측되었으므로 적절한 지형변화 예측모형(geomorphological bed simulation model)의 개발이 필요하다.

라) 시화호 육역의 수문 모형(hydrological model)과 연계되는 하구모형에 수립을 통한 수질

예측 모형의 수립

마) 상기모형의 수립과 운용과 관련된 모니터링 체계의 수립이 필수적인 사항이다. Bench Mark 될 수 있는 관측체계는 영국 Liverpool Observatory(리버풀만에 수립된 해양 생태 변화 예측 가능한 체계 개발을 염두에 둔 종합 관측체계) 및 미국만의 관측체계가 모범적인 사례로서 채택되어야 한다. Fig. 7과 Fig. 8에는 제안되는 관련 시뮬레이션 체계와 모니터링 체계가 제시되어 있다. 이러한 과업은 현존의 턴키방식의 골격 아래서 추진되기에는 예산상의 큰 제약이 있으므로 시행공사 또는 정부 수준의 예산지원 하에 장기적 프로그램으로 수행되어야 한다.

4. 결 론

현재 건설이 곧 착수되는 시화조력은 턴키 방식으로 건설사로 볼 때는 충분치 않은 예산의 제약으로부터 출발하고 있으며 기술적으로 난공사의 요소를 가지며 기존 배수갑문의 설계는 일일 가동상황을 기초로 하지 않는 점등의 애로점을 보유하고 있다. 그러나 성공적인 완공과 운용을 위해서 또 전회에서 경험한 국가적 실패를 극복하기 위해서는 선진수준의 모니터링체계와 미래예측 기법이 동원되어야 할 것이다. 이부분에서는 해안, 해양공학자의 기여가 기대되는 부분으로 향후 비공식적, 공식적인 토론, 학술회의를 통해 우리의 기술수준을 재고시키는 노력이 필요하다.

참고문헌

- 김경옥 (2000). 유한요소모형을 이용한 황해 및 동중국해의 조석산정, 석사학위논문, 성균관대학교.
- 김경옥, 최병호 (2001). 유한요소해양모형의 격자 생성 : FEMEDITOR, 대한토목학회 학술 발표회.
- 변상신 (2001). 고해상도 수치모형에 의한 한국 서해안 조석산정, 석사학위논문, 성균관대학교.
- 최병호, 김경옥, 엄현민 (2002). 한국 근해의 디지털 수심 표고 데이터베이스, 한국해양해양공학회지, 14(1), 41-51.
- 최병호, 이한수 (2004). 한반도 해안선 매핑을 위한 해안선 데이터 베이스의 작성 전략, 한국의 해안선 정립을 위한 워크숍 논문집, 81-87쪽