大韓土木學會論文集
第14卷 第2號 · 1994年 3月
pp. 317~324

水 工 學

팔당호의 수치 순환모형

Numerical Modeling of Circulation in Lake Paldang

윤태훈* · 김민규**
Yoon, Tae Hoon · Kim, Min Kyu

Abstract

The circulation of Lake Paldang is analysed numerically as an ultimate goal to develop a vehicle predicting the dispersion and concentration of pollutants and sediment flowed into the lake. In finite difference formulation of 2-D depth averaged governing equations, Abbott's 3-time level scheme is employed and for nonlinear terms time centering iteration technique in time and space is used. Model parameters for shear stresses and eddy diffusivities are determined through measured data in and near the lake. Predicted velocities for steady flow are shown to be close to the measured velocities and further improved by taking into account of wind effect. This indicates that the wind effect is needed for proper circulation analysis and it calls for the inclusion of the wind effect. Simulated results of unsteady flow caused by flood inflows and release through Paldang dam are found to characterize the flow features quite well as expected. This implies that the developed model can be used as a tool to analysing the circulation in the lake.

요 지

팔당호의 순환이 수치적으로 해석되었으며 이는 팔당호에 유입되는 오염물과 토사의 확산과 농도의 예측도구의 개발을 위한 단계이다. 2차원 수심적분 지배방정식의 차분화에는 Abbott의 3-단계시간 수치기법과 비선형항에는 시간,공간적으로 중앙처리한 반복기법을 사용하였다. 모형의 매개변수인 전단응력과 와확산계수는 관측자료를 이용 결정하였다. 평상시 정상류의 유속 계산결과는 바람의 영향을 고려했을 때 실측치에 보다 근접하는 것으로 나타나 이는 정확한 순환해석을 위해서는 바람의 영향을 포함시킴이 필요함을 시사한다. 홍수파의 유입과 팔당댐 방류로 인한 부정류에 대한 모의는 물리적으로 타당한 결과를 제공하여 본 연구의 모형은 바람의 영향을 포함한 부정류 순환현상의 예측도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서 론

팔당호는 수도권의 상수원인 점에서 그 중요성이 매우 높다. 그러나 그 중요성에 비하여 팔당호에 관한 연구는 비교적 미흡한 상태이다. 팔당호가 상수원으로 그 기능을 다하기 위해서는 양질의 수질을 유지하는 것이다. 수질에 영향을 주는 인자는 팔당호에 유입되는 유량과 이에 의하여 운반 유입되는

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수
** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 조교

유사와 각종 오염물, 호수 주변에서 비점원상태로 유입되는 오염물질, 바닥에 깔려있는 저니 등이다. 이들 인자와 관련된 저수지 수질변화의 중요한 요소의 하나는 호수내의 흐름이다. 이러한 흐름이 수질에 미치는 영향은 용존성 물질과 토사 그리고 저니의 부상, 이송, 확산 및 침전의 형태로 나타난다. 호수에서 수질악화의 주요 요인의 하나가 부영양화 현상이다. 수질관리와 개선 입장에서 흐름에 의한 저니의 부상과 확산, 항구적인 수질관리의 대책으로 그 퇴적층이 상당한 깊이로 추산되는 저니의 제거 작업과 문제가 되고 있는 골재 준설시 이들의 이송확산, 부영양화, 그리고 오염이 심한 경안천과 같은 하천이 저수지로 유입함으로 인한 저수지내의 순환과 오염유입물의 확산, 남·북한강의 특히 홍수시 동반 유입되는 유사의 이송과 퇴적, 유입되는 유사가 농약 등과 같은 오염물의 운반인 점, 수도권 생활용수의 취수로 인한 주변수역의 순환현상과 취수시 부유물의 수반 등에 관한 현상의 이해와 예측에 관한 연구가 팔당호를 적절하게 관리하는데 필요하다. 따라서 이들 모든 현상의 해석에 가장 기본적인 지식이 저수지의 순환, 수위변동 및 유속에 관한 정보를 제공하는 동수역학 순환모형이다.

2. 팔당호의 수문수리와 지형특성

팔당호는 발전과 상수취수로 방류량이 비교적 많은 하천성 호수로 체류시간은 평균 5.3일로 매우 짧다. 호수의 길이는 남·북한강 합류점에서 팔당댐까지 약 5.4 km에 달하고 폭은 평균 500 m 정도이며 하류 넓은 지역에서는 1.7 km 정도에 이른다. 댐축조후 20년간 계속된 유사의 퇴적과 세굴로 하상표고의 변화가 심하다. 팔당호 남쪽호안과 북한강 서쪽하안의 수심은 4 m 정도이고, 경안천의 수심은 평균 2 m이며 최대수심은 댐에서 22 m이다. 평균수심은 7 m 정도로 얕은 편이어서 연직방향의 혼합은 수평방향에 비하여 짧은 시간에 일어난다. 팔당호의 유역면적은 약 23,608 km^2이며 저수지의 수위 25.5 m에서 저수용량은 244×10^6 m^3에 달한다. 유역의 연평균강우량은 1,240 mm이고 이에 따른 연간 하천유입량은 유출율 57%에 달하는 $16,674\times10^6$ m^3에 이른다.[2]

3. 기존 순환모형의 고찰

저수지 순환을 예측하기 위해서는 부정류 3차원 모형이 필요하다. 지금까지 개발된 3차원모형은 크게 자유수면모형과 고정수면모형으로 분류될 수 있다. (1) 자유수면모형(free surface model)[8,11]은 비교적 널리 사용되어 왔으며 해의 안정성을 보장하기 위하여 최대 허용 시간증분(Δt)은 수면 중력파가 인접 공간격자로 전파되는데 소요되는 시간($\Delta x/\sqrt{gh_{max}}$, h_{max}: 수역내 최대수심)보다 짧아야 한다. 따라서 3차원 자유수면모형은 대규모 저수지나 짧은 거리에서 지형변화가 심해 공간격자를 크게 할 수 없는 수역에서는 과대한 계산시간으로 그 적용의 제한을 받는다. 이러한 3차원 자유수면모형의 단점을 보완하기 위하여 two mode free surface model[8,11]과 같은 수정모형이 개발되었다. (2) 고정수면모형(rigid-lid model)[8,11]은 자유수면모형과는 달리 비교란된 자유수면에서의 연직속도를 영으로 가정한 모형이다. 이는 수면중력파와 관련된 운동과 시간축척을 제거함으로써 큰 시간증분을 허용하여 계산시간이 상대적으로 짧은 모형이다.

3차원 순환모형은 계산수역의 유속을 자세하게 제공하나 과대한 계산시간과 복잡한 차분과정을 필요로 한다. 한편 2차원 수심적분 모형[6,7]은 수심방향의 균등한 유속분포를 가정, 수심에 관해서 적분한 2차원 순환모형이다. 이는 3차원 모형에 비해 계산시간이 짧고 차분과정이 간단하다. 이러한 수심적분 모형은 수심적분된 유속과 수위를 제공하나 흐름의 연직변화를 예측하지 못하는 것이 단점이다. 그러나 팔당호는 평균수심이 7 m로 상대적으로 작아 연직방향의 혼합이 짧은 시간에 전수심에 걸쳐 이루어져 물리적 특성(예로 수심방향의 유속분포)이 균일하게 되므로 수심적분 모형으로도 팔당호의 순환을 상당한 정확도로 해석 가능한 것으로 판단되어 본 연구에서는 2차원 모형이 개발된다. 저수지순환에 관한 국내의 연구는 팔당호의 유속과 수위를 K-Cythere 모형으로 해석한 연구[2]가 있으며 이는 2차원 Saint-Venant 방정식을 사용한 모형이다.

4. 2차원 순환모형

4.1 지배방정식

본 연구에서 취급할 수심평균된 2차원 천수방정식은 다음과 같은 가정을 전제로 한다. (1) 유체의 밀도는 일정하다. (2) 코리올리스 상수 f는 일정하다. (3) 압력은 정수압분포이다. (4) 호수의 길이에 대한 수심이 상당히 작을 경우(D/L≪1) (5) 하상전단응력의 영향이 미치는 $d=\pi\sqrt{2\eta/f}$로 정의되는 마찰영향깊이와 수심의 비가 1보다 작은 경우(D/d≪1), 이 호수는 천수영역으로 간주된다. 이러한 가정과 각 변수의 수심 평균화 과정 그리고 수면 및 바닥면 경계조건을 도입하여 정리하면 수심 평균유속으로 나타낸 2차원 천수방정식을 얻게 된다.

연속 방정식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial[(\eta+h)U]}{\partial x}+\frac{\partial[(\eta+h)V]}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=fV-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{g}{C^2H}$$

$$U\sqrt{U^2+V^2}+\frac{\lambda U_w}{H}\sqrt{U_w^2+V_w^2}$$

$$+A_H\left\{\frac{\partial^2(U)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2(U)}{\partial y^2}\right\} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}=-fU-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{g}{C^2H}$$

$$V\sqrt{U^2+V^2}+\frac{\lambda V_w}{H}\sqrt{U_w^2+V_w^2}$$

$$+A_H\left\{\frac{\partial^2(V)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2(V)}{\partial y^2}\right\} \qquad (3)$$

여기서 η: 평균수면인 기준면에서 수면까지의 연직거리, h: 기준면에서 바닥까지의 연직거리, U, V: x, y 유속 성분, U_w, V_w: x, y 풍속 성분, $\lambda=C_D\cdot\rho_{air}$ (C_D: 공기 수면간 항력계수, ρ_{air}: 공기의 밀도), A_H: 유체의 와확산계수, C: Chezy 상수, H(=h+η): 전수심이다.

4.2 차분화 과정

지배방정식의 차분화는 Abbott의 3-단계시간 수치기법에 비선형항을 시간과 공간적으로 중앙처리한 반복기법을 사용한다.

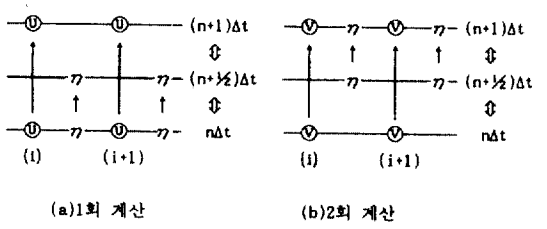

그림 1. 3-단계시간법에 의한 수위와 유속계산방법.

(1) Abbott의 3-단계시간법은 (n+1)Δt 시간단계의 미지변수를 구하기 위해 두번의 계산을 수행한다. 즉, 1회 계산에서는 유속 U를 nΔt−(n+1)Δt구간에서 그리고 수심은 nΔt−(n+½)Δt구간에서 음해법으로 결정하고, 2회 계산에서는 유속 V를 nΔt−(n+1)Δt에서 그리고 수심은 (n+½)Δt−(n+1)Δt에서 음해법으로 구한다. 이를 도식적으로 표시하면 그림 1과 같다.[6]

(2) x, y에 관한 비선형항($\phi\frac{\partial\phi}{\partial s}$)의 차분화에서 변수 φ의 미분항은 식 (4), (5)와 같이 priessmann 기법으로 나타내고 변수 φ는 시간과 공간격자 중앙에서 정의하는 중앙처리($\phi^*=\phi^{n+1/1}_{s+1/2}$ 첨자 s: 공간좌표)하여, 2계의 정확도를 유지할 수 있도록 하였다. 따라서 비선형항 차분식의 절단오차는 $O(\Delta t^2, \Delta x^2, \Delta y^2)$로 향상시킬 수 있다.

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}=(1-\varphi)\frac{\phi_s^{n+1}-\phi_s^n}{\Delta t}+\varphi\frac{\phi_{s+1}^{n+1}-\phi_{s+1}^n}{\Delta t} \qquad (4)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial s}=(1-\theta)\frac{\phi_{s+1}^n-\phi_s^n}{\Delta s}+\theta\frac{\phi_{s+1}^{n+1}-\phi_s^{n+1}}{\Delta s} \qquad (5)$$

여기서 $\varphi(0\le\varphi<1)$과, $\theta(0\le\theta<1)$는 가중인자로, 본 모형에서는 수치해의 안정도 증가와 오차확산을 제어할 수 있도록 0.5를 사용하였다.[5] 반복기법에 사용되는 중앙시간단계의 변수(φ*)는 nΔt와 (n+1)Δt단계의 평균값을 사용하며 수렴조건($(\phi_{S,n+1}-\phi_{S,n})\ll\varepsilon$)을 만족할 때까지 반복계산된다.

팔당호 순환현상을 조사하기 위한 수치해석기법의 특징은 다음과 같다. 첫째, Abbott의 3-단계시간법의 기본이론을 선정하여 계산이 수행되는 동안 모든 시간구간에 대해서 흐름영역의 정보가 수심(η)에

저장되어 x-와 y- 두방향의 계산을 분리시켜 수행하더라도 총괄적 정보가 서로 교환, 전송되므로 해의 일관성이 유지되며 둘째, Abbott[6]이 사용한 비선형항의 지체(lagging)처리를 시간과 공간적으로 중앙처리하여 해의 정확도를 향상시키고 오차의 확산을 억제 하였다.

세째, 중앙처리된 변수의 계산에 반복기법을 적용하여 보다 정확한 해를 얻고자 도모하였으며

네째, 해의 진동으로 인한 파동형 유속분포가 연속방정식을 만족시키는 것을 격자망 자체에서 억제하기 위하여 공간교호(space steggered)격자망을 사용하였다.

4.3 정사각형수역에서의 검정

개발된 모형의 적용성을 조사하기 위해 2차원 정사각형 수역에 본 수치기법을 적용하여 x-,y- 두방향에 대한 일관성을 조사하였다. 검정에 사용된 식은 정확해가 주어진 조건에 부합되게 하기 위하여 바람에 의한 전단항과 와확산항을 제외한 식을 사용하였으며 검정수역의 크기는 길이가 150 km인 정사각형이다. 고체벽면의 경계조건은 무활조건(no slip condition)을 사용하였다. x-, y- 두방향 유속과 수심의 계산결과는 정확해와 일치하여 비선형항의 중앙처리기법의 타당성이 입증되었다. 자세한 검정방법과 결과는 참고문헌[4]에 수록되었다.

5. 모형의 검정

팔당호의 수역을 남북으로 107(100 m)개, 동서로 77(50 m)개의 격자로 나누어 격자망을 구성하였으며

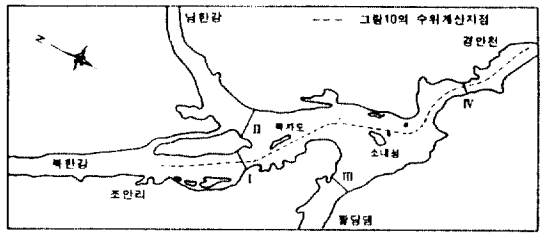

그림 2. 팔당호의 유속측점지점.

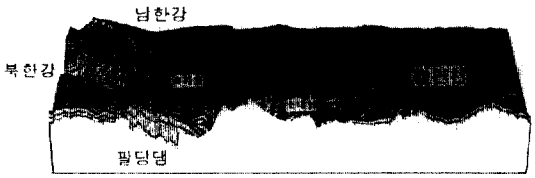

그림 3. 팔당호의 3차원 지형도.

마닝조도계수는 0.039를 사용하였고 바람에 의한 항력계수 C_D는 0.0023을 사용하였다. 계산에 사용된 평수시 팔당호 유입량은 남한강 188.8 cms, 북한강 148.8 cms, 그리고 경안천 5.4 cms이며 팔당댐 방류량은 343.1 cms이다.[2] 팔당호의 평균풍속과 풍향은 양수리 자동기상관측소의 92년 3~9월중 풍속과 풍향자료를 이용하였으며 탁월풍은 평균 16 m/s의 남서풍이다.[3] 그림 3은 1990년 국립환경연구원에서 실시한 팔당 상수원보호 종합대책에 관한 연구(1차년도) 부록에 수록된 호저지형측량자료를 지역변수이론(regional variable theory)을 사용한 보간법인 Kriging보간법에 의해 3차원으로 도시한 것이다.

5.1 정류 순환

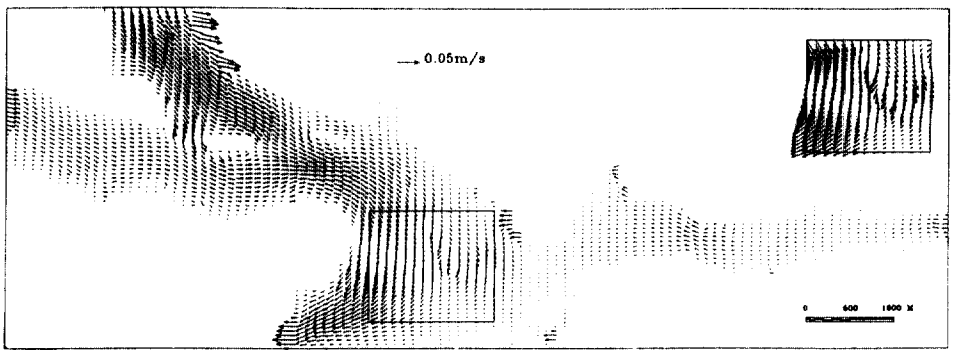

그림 4. 평수시 유속분포도.

모형에 사용된 계수는 다음과 같다. 코리올리스 계수($f=2\omega\sin\phi$, ω는 지구자전 각속도, ϕ는 위도)의 위도에는 37°42′의 값을 사용했다. 호저마찰계수는 마닝조도계수 n=0.039로부터 Chézy계수를 결정($C=1/nH^{1/6}$)하여 호수의 불규칙한 수심의 변화에 따른 마찰저항의 변화를 반영하였다. 또한 수평방향의 와확산계수의 결정에서 Lick[8]은 수평방향의 와확산계수는 시간과 공간적으로 독립적인 값으로 1~10 m^2/s 사이의 값을 사용하고 호안과 같이 수심이 얕은 지역에서는 작은 값을 사용하도록 제안하였다. 본 수치실험에서는 와확산계수의 결정을 위하여 1~10 m^2/s 사이의 값을 조정하여 계산한 결과 3 이하와 7 이상에서는 수심이 얕은 곳에서 과대한 유속이 계산되어 와확산계수를 5 m^2/s로 하여 전체수역에 대한 대표값으로 사용하였다. 모형에 사용된 이들 계수는 정류에 대한 순환해석으로부터 계산된 유속(그림 4)과 관측유속을 비교하여 결정하였다[4]. 유속관측지점은 그림2에 표시된 바와 같다. 각 측점에서의 유속관측은 유속계에 의하여 2점법으로 관측되었다.

5.2 바람의 영향을 포함시킨 순환

바람에 의한 호수내 순환을 조사하기 위한 검정단계로 양수리에 설치된 자동기상측정장치로부터 전송된 92년 9월의 풍속자료를 수치실험에 적용, 계산된 결과를 1992년 9월에 실시한 현장 유속 측정결과와 비교함으로 항력계수 C_D를 0.0023으로 결정하였다. Wu[10]는 바람에 의한 항력계수를 풍속의 함수로 나타냈는데 풍속이 15 m/s보다 클 때 C_D를 0.0026으로 제안하였다. Reid와 Whitaker[9]는 호수내 수초, 구조물 등이 수면응력에 미치는 차폐효과를 고려하여 수초,구조물 등이 있을 경우에는 없을 때보다 작은 항력계수를 사용하도록 제안하였다. 팔당호의 수역은 대체로 세장하고 호안은 산으로 둘러쌓여 있어 차폐효과가 고려된 항력계수가 사용되어야 하며 본 모형에서는 항력계수 $C_D=0.0023$을 사용하였다. 그림 5는 바람이 부는 경우 계산된 팔당호내 유속벡타도이며, 표 1은 동일 조건에서 현장 유속관측자료와 계산결과를 비교한 것이며 유속관측과 계산지점은 그림 2에 표시한 바와 같다. 표 1에서 수심이 깊은 팔당댐 주위(지점 III)와 남한강 수역(지점 II)의 계산유속이 관측유속보다 작게 산정되는 것은 바람에 의한 수면에서의 물입자의 궤도운동이 호저면까지 영향을 주지 못하여 작은 수심적분유속을 계산하기 때문이다. 또한 수심이 얕은 경안천(지점 IV)에서는 반대의 효과가 발생하여 수심적분된 계산유속은 관측유속보다 약간 크게 산정된다.

6. 개발모형의 적용-부정류 순환해석

남한강의 충주 다목적댐은 첨두발전용수와 방류수를 하류 역조정지댐에서 일정한 량으로 조정방류하므로 팔당호 유입량은 일정하다. 그러나 북한강

표 1. 바람이 불 때의 관측유속과 계산유속(m/s)

유속관측지점	지점 I	지점 II	지점 III	지점 IV
관측유속	0.131	0.120	0.104	0.101
계산유속	0.135	0.085	0.092	0.120

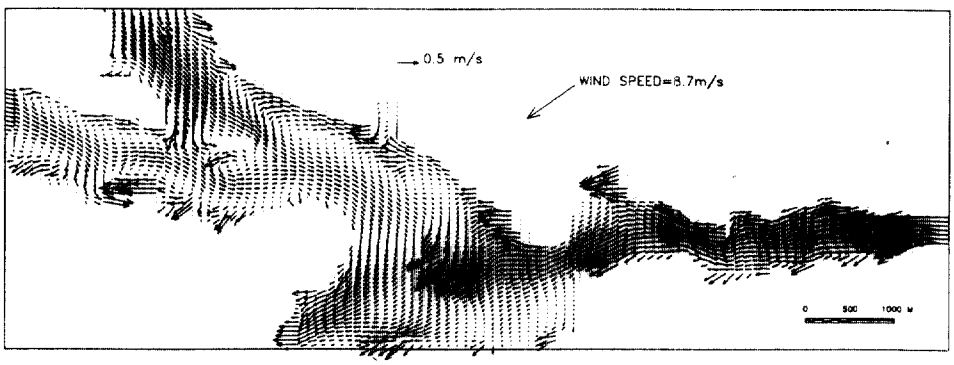

그림 5. 평수시 유속분포도 (바람이 있는 경우).

청평댐의 발전은 16 : 00~23 : 00의 시간대에 첨두 발전을 하므로 팔당호 유입량이 시간에 따라 변하는 부정류이고 홍수시 유입량 또한 부정류이므로 팔당호의 순환해석은 부정류에 대한 해석기법을 필요로 한다.

부정류에 대한 팔당호의 순환을 해석하기 위해서 1992년 7월27일 21시부터 7월 28일 09시까지의 홍수시 충주, 청평 및 팔당댐의 수문자료[1]와 풍속자료를 사용하여 각시간대별로 흐름의 변화상황을 계산하였다. 각 댐수문에서의 방류자료는 팔당호의 순환해석을 위한 입력자료로 직접 활용할 수 없기 때문에 북한강 청평댐과 남한강 충주댐의 방류수문곡선을 계산시점까지 추적하였다. 홍수추적은 동역학파방정식을 양해적방법으로 수행하였으며 공간증분에는 1 km를, 그리고 시간증분에는 15분을 각각 사용하였다. 또한 경안천의 유입유량은 관측된 자료가 없는바 풍수량을 유입유량으로 가정하였다. 이렇게 계산된 유입수문곡선을 팔당호 순환모형의 남한강과 북한강 그리고 경안천의 유입유량자료로 활용하였다. 부정류흐름에 대한 상세한 해석결과는 참고문헌 (4)에 주어지며 그림 6에 보인 바와 같이 흐름상황이 크게 변하는 시간대의 결과는 그림 7~10과 같다. 그림 10은 계산시간별로 변화되는 팔당호내 수위를 도시한 것으로 수위 계산지점은 북한강유입구(조안리)에서 소내섬까지 호수중심선을 따라, 그리고 소내섬에서 경안천 유입구까지이며 이는

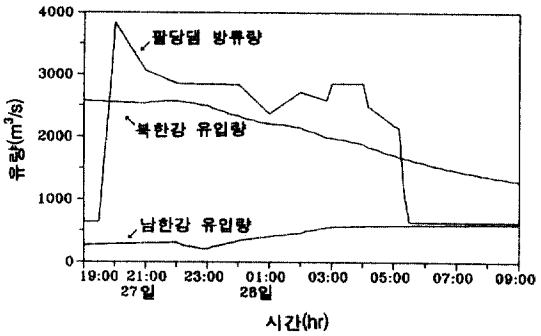

그림 6. 팔당호의 유입, 방류수문곡선(1992. 7. 27~28).

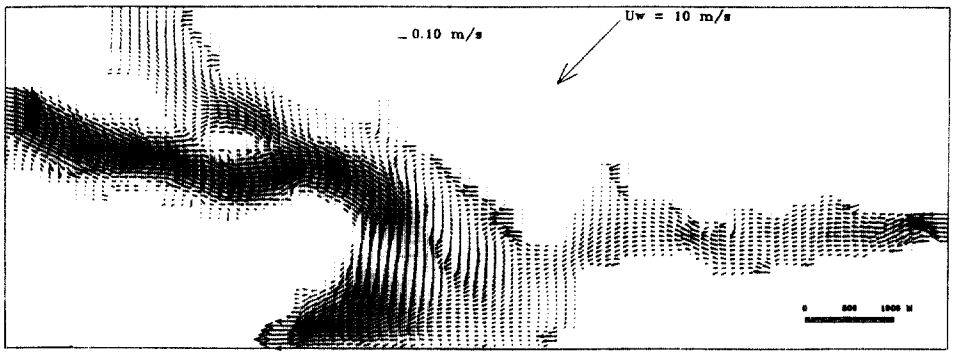

그림 7. 유속분포도(7월 27일 21 : 00).

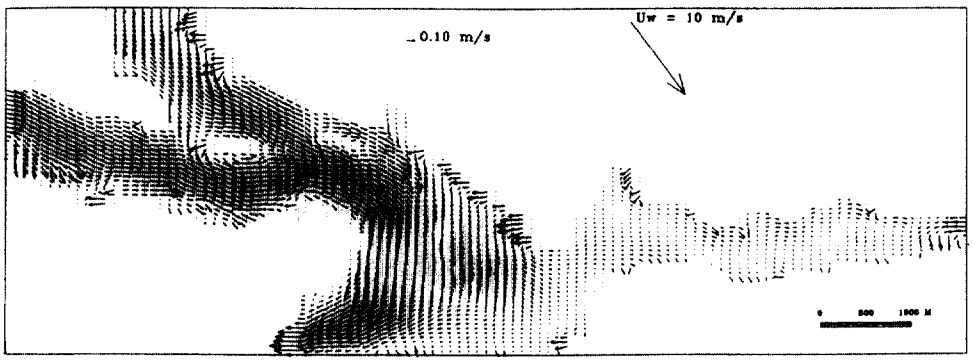

그림 8. 유속분포도(7월 28일 06 : 30).

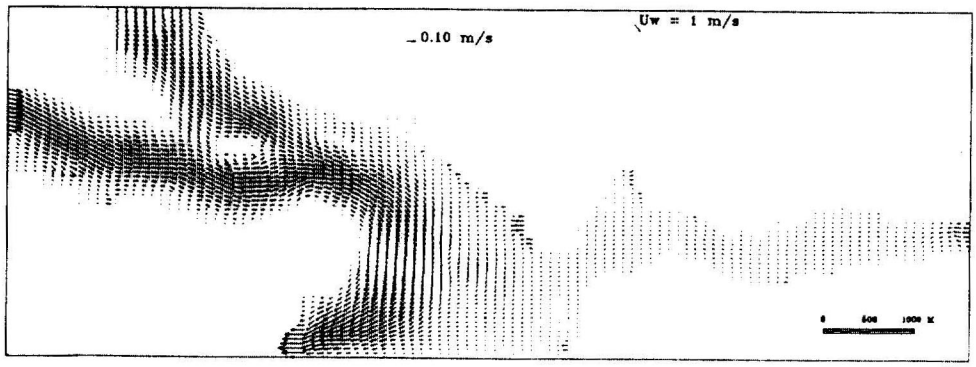

그림 9. 유속분포도(7월 28일 09 : 00).

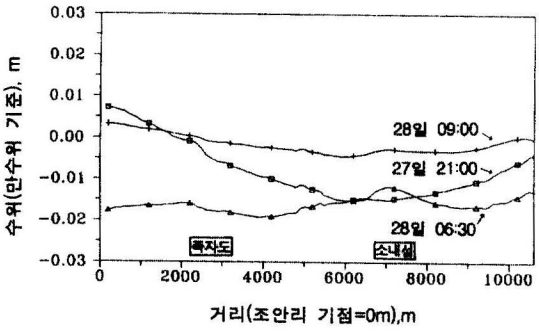

그림 10. 계산된 팔당호의 수위

그림 2에 절선으로 표시한 바와 같다.

27일 21 : 00(그림 7)에는 남한강의 유입량이 작은 반면 북한강 유입량은 크고 팔당댐 방류량도 큰 상태이다. 또한 10 m/s의 강한 바람이 북서쪽으로 불어 팔당호내에는 비교적 큰 유속과 와가 형성되고 수심이 얕은 팔당호 동쪽호안과 남한강 남쪽하안 그리고 북한강 서쪽하안을 따라 소규모 와가 형성되어 있다. 그리고 수심이 작은 경안천의 흐름은 초기 경안천 유입량도 큰 상태이지만 남북방향의 강한 바람으로 팔당호쪽으로 큰 유입흐름이 발생된다. 이러한 흐름은 팔당댐이 방류를 중단하는 28일 06 : 00까지 계속된다.

28일 06 : 30(그림 8)에서 팔당댐의 방류량이 급격히 감소하고 남한강의 유입량이 증가하기 시작하면서 남한강의 유입흐름의 일부는 족자도 북쪽을 따라 북한강에 합류하여 유입된다. 이러한 효과로 북한강의 수면경사는 급격히 감소하고 남한강의 수면경사는 북한강의 수면경사보다 급하게 된다. 따라서 팔당호내의 흐름은 남한강의 유입흐름방향을 따라 팔당호내에 대규모 와를 형성한다. 이렇게 형성된 와의 영향과 팔당댐 방류 중단 그리고 지속되는 남·북한강의 유입으로 소내성 부근에 일시적인 적체현상으로 국부적인 수위상승이 일어난다. 이 수위상승과 10 m/s의 강한 바람이 남서쪽으로 불어 경안천내에는 역류현상이 나타난다.

28일 09 : 00(그림 9)에서 흐름은 남, 북한강의 유입량과 팔당댐 방류량이 평수시 상태를 회복하여 전반적인 호수내 순환은 평수시 흐름상태를 보인다.

7. 결 론

수도권의 상수원인 팔당호에서 각종 오염물과 유사의 확산 및 이송을 예측하기 위한 기초단계로 호수내 순환을 해석하는 동수역학 모형이 개발되었다. 지배방정식(2차원 수심적분 천수방정식)의 차분화 기법은 Abbott의 3-단계시간 수치기법에 비선형항을 시간과 공간적으로 중앙처리한 반복기법을 사용하였다. 본 수치기법은 검정을 통하여 수렴성이 비교적 우수한 점과 x-, y- 두 방향에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 수치모형에 사용한 매개변수로 마닝조도계수 $n=0.039$, 와확산계수 $A_H=5\ m^2/s$, 그리고 바람에 의한 항력계수 $C_D=0.0023$을 사용하였으며, 이들은 팔당호에서 실시한 측정자료와 계산결과를 비교하여 결정되었다.

수치실험은 정상류와 부정류의 두 흐름조건에 대하여 실시되었다. 팔당호내 정상류해석에서 모형에 의한 결과는 실측치와 잘 맞으며 바람에 의한 수면전단응력을 포함시킴으로써 계산유속이 실측유속에 보다 근접하는 결과가 얻어졌다. 이 사실은 바

람이 팔당호와 같이 수심이 얕은 수역에서는 순환에 중요한 인자임을 시사한다. 경안천수역의 순환은 바람, 남·북한강의 유입량, 팔당댐의 방류에 크게 지배됨이 밝혀졌다. 홍수파 유입과 댐의 방류로 인한 팔당호 부정류의 해석은 물리적으로 타당한 결과를 제공하여 부정류 순환의 파악에 유용한 수단이 될 수 있다. 본 연구에서 개발된 2차원 수심적분 수치모형은 바람의 영향을 포함한 팔당호 부정류 순환 현상의 예측도구로 가능한 것으로 판단된다.

8. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구비(과제번호 91-07-00-08)지원에 의하여 수행된 연구의 일부로서 동 재단에 감사를 드린다. 또한 자료와 관측에 대한 장비협조를 해주신 국립환경연구원 호소수질연구소 유재근소장(현 수질연구부장)에 감사를 표한다.

참고문헌

1. 팔당 수력발전소, 댐수문 조작일지, 1992
2. 국립환경연구원, 팔당 상수원보호 종합대책에 관한 연구(1차년도), 1988
3. 중앙기상청, AWS양수리 수집자료, 자료실, 1992
4. 윤태훈, 팔당호의 순환과 유사의 모형개발, 한국과학재단 목적기초 1차년도보고서, 1992
5. Abbott, M.B. and Basco, D.R., *Computational Fluid Dynamics*, 1989, John Wiley & Sons.
6. Abbott, M.B. and Marshall, G., "A Numerical Model of a Wide Shallow Estuary", *13th Congress of the Int. Assoc. for Hydr. Res.*, Vol. 3, pp. 61-67, 1969
7. Grubert, J.P., "Numerical Computation of Two-Dimensional Flows", ASCE, *J. of Waterway Port Coastal and Ocean Div.*, Vol. 102, No. WW1, Feb., 1976
8. Lick, W., Numerical Modeling of Lake Currents, Mon. Weather Rev., pp49-74, 1976
9. Reid, R.O. and Whitaker, R.E., "Wind-Driven Flow of Water Influenced by a Canopy", ASCE, *J. of Waterway Port Coastal and Ocean Div.*, Vol. 102, No.WW1, Feb., 1976
10. Sellers, B.H., *Engineering Limnology*, Pitman, 1984
11. Sheng, Y.P. and Lick, W., A Two-Mode Free-Surface Model for the 3-Dimensional Time-Dependent Flows in Large Lakes, U.S. Environ. Prot. Agency, 1979

(接受 : 1993. 11. 9)