

## 수리모형(RMA-2)을 이용한 팔당호의 유속분포 모의실험

신동석·권순국<sup>1)</sup>  
국립환경연구원, <sup>1)</sup>서울대학교

### Simulation of Velocity Distribution in the Lake "Paldang" using the RMA-2 Model

Dong-Seok Shin and Soon-Kuk Kwun<sup>1)</sup> (National Institute of Environmental Research, Seoul 122-706, Korea ; <sup>1)</sup>Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon 440-744, Korea)

**ABSTRACT** : A numerical model of flow velocity in the standing water system is presented. This model(RMA-2), based on the 2-dimensional unsteady momentum and continuity equations, uses finite element techniques to simulate the distribution of velocity over a spatial location of lakes. The present model represents an improvement over existing numerical water quality models in that it can model the unsteady state and can, therefore, cope with time with a spatial location of standing waters such as lakes and large reservoirs. The model thus allows the engineer to do more accurate estimation of water flows and thus water qualities in standing waters where directions and velocities of the flow become more important for the simulation of the water quality than in running waters. Tests for the data collected in the lake "Paldang" indicates that the model works well under limited circumstances. However, to be more accurate estimation of velocity with the present model, accumulation of data for the measurement of velocities and renovation of geometrical conditions of the lake would be needed.

**Key Words** : RMA-2 model, numerical water quality model, simulation of lake hydraulics.

### 서 론

호수 및 하천 수질대책 수립에 가장 기본적인 사항은 현재 수질의 적절한 평가와 이를 바탕으로 한 정확한 장래수질 예측이다. 수질오염에서 대상오염물질인 유기물과 영양염류는 호소와 하천 내에서 여러 가지 복잡한 물리적, 화학적, 생물학적 변환과정을 거치는데, 정확한 수질예측을 위해서는 이러한 복잡한 과정을 반영할 수 있는 보다 합리적이고 과학적인 방법을 필요로 한다.

종래의 수질모형의 적용은 수리모형인 HEC-2와 정적 수질모형인 QUAL2E를 이용한 하천수질 예측이 대부분 이었고, 1990년대 이후에 이르러 분포형 동적 모형인 WASP 모형을 이용하여 호수 및 하천에서의 수질예측 적용사례가 발표되고 있다. 그런데, 수질모형 적용사례를 살펴보면 수리모형을 수행하지 않았거나 다른 연구자의 수리현상에 대한 결과를 무리하게 인용한 경우도 있으며<sup>1),2)</sup>, 부정류를 정상류로 가정한 사례도 있었다<sup>3),4),5)</sup>.

RMA 모형은 1973년 Resources Management Associates, Inc.의 Norton 등에 의하여 하천 및 하구에서의 유속분포를 예측하기 위한 유한요소 수치모형으로 개발되었고, King<sup>6)</sup>은 이를 수정·보완하여 RMA 모형이란 이름으로 UNIX Ver 4.0을 발표하였다. 그후 1990년 미국 공병단 수로시험장의 Thomas and McAnally 등에 의하여 많은 수정 및 보완이 있었다. 1993년에는 Brougham Young 대학에서 FastTABS 2.2라는 Windows용 전후처리 Tool을 발표하였으며, 현재 SMS Ver 5.0(1998)<sup>7)</sup>이라는 이름의 수리모형으로 사용되고 있다.

RMA 모형의 국내 적용사례는 많지 않으나<sup>8),9),10)</sup>, 신동석이 한강에 적용한 결과에서 나타난 바와같이 RMA-2모형은 수질모형(RMA-4)과 연계시 기존의 수질모형보다 시간 및 공간적으로 자세한 예측결과를 제시하기 때문에 상시 수질측정망 지점의 결정과 수질오염 사고시 오염물질의 확산 예측에 활용될 수 있음이 밝혀졌다<sup>9),11)</sup>.

본 연구에서는 수질모형 수행의 전처리로서 RMA-2 모

형을 이용하여 팔당 방류량, 남·북한강 및 경안천 유입량 그리고 팔당 광역상수도 및 광주취수장 취수량에 따른 팔당호 내부의 유속벡터를 제공함으로써 보다 정확하고 세밀한 팔당호 수질예측이 가능한 호소 수리기초자료를 제공하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 일반사항

RMA-2모형은 식(1)의 연속방정식과 식(2) 및 (3)과 같은 운동방정식을 지배방정식으로 하는 2차원 천수방정식을 Galerkin Method에 의하여 해석하는 유한요소모형이다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left( \epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ + g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left( \epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\ + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $u, v$ 는  $x, y$  방향의 유속성분,  $h$ 는 수심,  $t$ 는 시간,  $g$ 는 중력가속도,  $a$ 는 반조차,  $\epsilon$ 는 확산계수,  $\tau_x, \tau_y$ 는  $x, y$  방향으로 작용하는 마찰용력항으로 식(4), (5)와 같이 바닥마찰, 바람영향 및 Coriolis 효과를 나타낸다.

$$\tau_x = \frac{gu}{C^2 h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \phi - 2\omega v \sin \phi \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{gv}{C^2 h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \phi - 2\omega u \sin \phi \quad (5)$$

여기서,  $C$ 는 Chezy 계수,  $\zeta$ 는 경험적인 바람용력계수,  $V_a, \phi$ 는 풍속과 풍향,  $\omega$ 는 지구의 각속도,  $\phi$ 는 적용대상 지역의 위도를 나타낸다.

각 격자별 초기조건은 관리수위를 기준으로 하여 수위가 극치일 때  $x, y$ 방향의 유속을 각각 0으로 하여 계산하도록 되어있다. 이와 같은 초기조건은 실제 상태와 동일하지 않기 때문에 초기계산 결과는 그 오차의 영향을 받게 되어 정확성에 문제가 있으므로 일정 계산시간이 경과한 후의 결과가 이용되어야 한다. 경계조건은 크게 두 가지 유형으로서, 개방경계조건은 유속이나 수위, 유량 및 조석자료 등이 부여될 수 있으며, 하천수가 유입되는 하천유입경계에서는 유량 및 수위자료를 입력하게 된다.

Table 1. General characteristics of Paldang Lake<sup>12)</sup>

Watershed Area (km <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Surface Area (km <sup>2</sup> )	Mean Depth (m)	Resident Time (day)
23,800	244 × 10 <sup>6</sup>	36.5	6.7	5.4

기타 주요입력 자료 중 2차원 부정류 계산을 수행함에 있어서 입력되는 자료는 Manning의 조도계수, 난류확산계수, 계산시간 간격, 총 계산시간 등과 같은 물리적인 자료와 편향계수의 계산을 위해 필요한 위도 등이 있다. Manning의 조도계수  $n$ 은 바닥재료의 특성과 지형특성 등에 따라서 결정할 수 있으며, 난류확산계수는 와점성(eddy viscosity) 계수라고도 하며,  $P_e = \rho U \Delta x / E$ 와 같이 정의되는 Peclet number에 의해 지배된다. 여기서  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $U$ 는 요소(element)의 평균속도,  $\Delta x$ 는 흐름방향 요소의 길이,  $E$ 는 난류확산계수를 나타낸다. RMA-2는 Peclet number가 50이내에서 안정되는데 보통 난류확산계수는 모형의 안정성을 유지하는 범위에서 최대한 작은 값을 설정하도록 제안하고 있다.

팔당호의 지형자료는 환경처<sup>15)</sup>의 팔당호퇴적물준설사업 기본설계보고서의 수심측량성과(1:5,000)를 기초로 절점 및 요소의 좌표와 표고를 RMAGEN 부모형에 입력되었다. 입력된 지형자료가 1990년의 수심측량 성과이므로 10여 년 가까이 퇴적된 토사를 반영할 수는 없으나, 그 이후의 자료가 없으므로 부득불 과거의 자료를 그대로 사용하였다. 수면표고는 25.0m이며, 홍수위는 25.5m로 계획되어 있다. 평균 수심은 6.7m이며, 연평균 체류일수는 5.4일이다.

팔당호는 1973년 발전용으로 축조된 인공댐으로 총 저수용량은 244백만㎥이며, 국내 최대의 수도권 상수원으로서, 점차 팔당호 상류의 오염부하량이 증가할 것으로 예상되므로 이러한 현상이 수질유지에 여러 가지 형태로 영향을 끼칠 것으로 예상된다(Table 1).

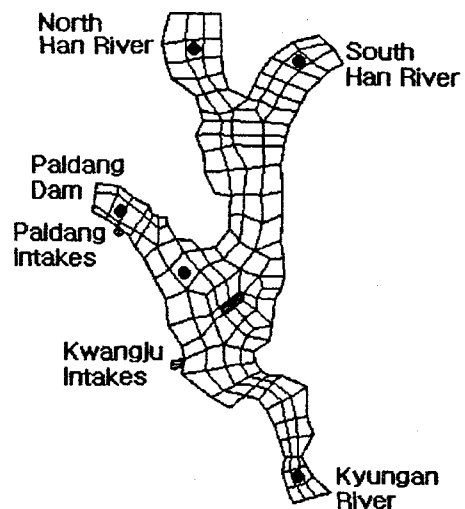


Figure 1. The schematic diagram of Paldang Lake

Table 2. Input and output flowrate of Paldang Lake in the year of 1997<sup>14)</sup>

[Unit : m<sup>3</sup>/sec]

Month	Boundary	North-Han River	South-Han River	Kyung-an River	Paldang Dam Discharge	Paldang Intakes	Kwang-ju Intakes
1		84.0	64.5	1.9	97.0	63.1	0.3
2		79.0	71.6	2.1	97.0	63.1	0.3
3		43.0	53.4	1.6	97.0	63.1	0.3
4		76.0	48.1	1.4	97.0	63.1	0.3
5		264.0	100.9	3.0	505.5	63.1	0.3
6		361.0	421.0	12.6	847.5	63.1	0.3
7		520.0	829.5	24.9	1466.5	63.1	0.3
8		139.0	486.7	14.6	153.4	63.1	0.3
9		76.0	297.6	8.9	201.9	63.1	0.3
10		159.0	78.2	2.3	101.7	63.1	0.3
11		86.0	74.6	2.2	103.3	63.1	0.3
12		116.0	94.4	2.8	172.9	63.1	0.3
Total		2003.0	2620.5	78.6	3941.0	757.2	3.6

계산 격자 구성

구성된 절점 및 요소의 개수는 각각 578 및 154개이며 (Fig. 1), 북한강 쪽으로는 양수교부터, 남한강 쪽으로는 양서면 용담리 기두원부터, 경안천으로는 광동교로부터 팔당댐까지를 대상으로 하는 평면 2차원으로 계산격자를 구성하였다.

결과 및 고찰

입력자료

유량입력자료는 1997년 1월부터 12월까지 팔당댐 방류량, 북한강등 3개 유입지점의 유입량과 팔당취수장 등 2개 취수장의 취수량이며 (Table 2), 평수량을 기준으로 유입량은 남한강이 55.0%(1,632만 m<sup>3</sup>/일), 북한강이 43.4%(1,286만 m<sup>3</sup>/일), 경안천이 1.6%(47만 m<sup>3</sup>/일)이다<sup>11)</sup>.

모형의 보정 및 검증

모형의 보정은 환경처<sup>2)</sup>의 팔당호 시험준설 영향조사 보고서의 1988년 유속측정 자료를 이용하여 수행하였다. 청평댐의 발전 방류량은 이 보고서에서 언급한 바와 같이 하루동안에도 시간적으로 변동되고 있으며, 5개 지점에서 동시에 관측한 것이 아니므로 측정자료의 연계성이 부족하여 유속측정값을 개별적으로 사용하기에 충분하지는 않으나<sup>2)</sup>, 팔당호에서의 유속·유향 관측자료가 전무하므로 부득이 사용하였다. 따라서 이러한 이유 때문에 보정에서는 각각

의 실측값과 계산값이 일치되도록 하지는 않았고 단지 팔당호 중앙에서의 유속만 일치시키도록 여러가지 계수의 값을 보정하였다.

환경처<sup>2)</sup>의 자료인 남·북한강 및 경안천 유입량과 취수장(팔당광역취수장 1, 2단계 : 260만 m<sup>3</sup>/일) 1곳의 취수량을 입력하여 계산한 결과, 1988년 측정된 유속에 비하여 남·북한강에서 대체로 2배 정도 큰 값을 보였으며 (Table 3), 그러나 경안천은 1/10 정도로 적은 값을 나타내었고, 팔당댐 부근과 소내섬 부근에서는 비교적 비슷한 유속 값을 보였다.

보정결과 난류교환계수는 팔당호의 하천특성이 반영되어 하천(여울)에 해당하는 2,500N·sec/m<sup>2</sup>이었고, 수심과 수초의 존재여부에 따라 조도계수가 다를 수 있으나, 전체 계산격자에 수초에 대한 디플트값을 사용(수초길이 50cm)한 결과 Manning의 조도계수는 0.030으로 추정되었다.

모형의 검증은 윤태훈<sup>13)</sup>의 측정자료를 이용하여 수행하였다. 이 논문에는 유속을 측정된 지점이 명확히 제시되지 않아 비교가 곤란한 점은 있었으나 보정시 사용한 지점을 그대로 준용하였다. 검증시 입력한 남·북한강 및 경안천 유입량과 방류량을 입력하여 계산한 결과, Table 4와 같이 북한강 및 경안천 유입지점에서는 차이가 있으나, 팔당댐 부근에서는 거의 일치하는 것으로 나타났다.

청평댐의 발전방류량 및 팔당호 방류량의 시간적인 변동과 측정된 유속이 동시 관측된 것이 아닐 뿐만 아니라 측정자료가 많지 않아서 실측값과 계산값 사이의 통계적 검

Table 3. Calibration of velocity in Paldang Lake<sup>2)</sup>

North-Han River		South-Han River			Kyung-an River			Sonae Island			Paldang dam			
Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.
138.3	0.032	0.057	68.2	0.010	0.028	2.0	0.099	0.004	135.2	0.034	0.015	208.7	0.045	0.057
211.3	0.049	0.090	231.9	0.034	0.095	7.0	0.118	0.011	122.5	0.028	0.030	478.4	0.101	0.130
144.6	0.034	0.066	132.9	0.020	0.061	4.0	0.101	0.019	158.0	0.037	0.038	419.0	0.090	0.114

Q : Flowrate, Obs. and Cal. : Observed and calibrated velocities

Table 4. Verification of velocity in Paldang Lake<sup>19)</sup>

[unit : m<sup>3</sup>/s, m/s]

North-Han River			South-Han River			Kyung-an River			Paldang dam		
Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.	Q	Obs.	Cal.
148.8	0.131	0.079	188.8	0.120	0.105	5.4	0.101	0.010	343.1	0.101	0.099

Q : Flowrate, Obs. and Veri. : Observed and verified velocities

중은 하지 않았으며, 측정지점 또한 명확하게 제시되지 않아 올바른 보정·검증되었다고 할 수는 없으나, 팔당댐 부근과 소내섬 부근에서는 두 논문<sup>2),13)</sup>의 실측값과 거의 근접하여 난류교환계수 및 조도계수를 각각 2,500 N·sec/m<sup>2</sup>와 0.030으로 결정하였다.

**예민도 분석**

모형의 지침서에는 여러 수치실험을 실행하여 각 요소들의 상대적인 중요도를 제시하고 있는데, 실제의 물리적인 현상을 정확히 모의하기 위해서는 정밀한 지형자료를 바탕으로 한 합리적인 격자 구성이 가장 중요하며, 경계 조건, 조도계수, 난류교환계수 등의 순서로 그 중요도를 표시하고 있다<sup>20)</sup>.

난류교환계수가 너무 크면 속도의 크기가 균일하게 분포하기도 하고, 와류현상을 표현하기 어렵고, 난류교환계수의 값이 너무 작으면 유속의 분포가 실제와는 다르게 나타나기도 한다. 난류교환계수의 값을 적절히 선택하기는 어렵지만, 물리적으로 난류의 교환은 유체의 운동량과 운동량이 작용하는 거리를 유체의 속도와 요소(element)의 표면적으로 나눈 값에 비례하므로 요소의 크기가 증가하거나, 유속이 빨라지면 난류교환율을 일정하게 유지하기 위해 난류교환계수도 커져야 한다. 또한 조도계수를 입력자료로 선택할 경우에는 지형특성을 적절히 고려하여야 할 것으로 생각된다.

RMA-2 수리모형의 예민도 분석을 위하여 보정계수인 난류교환계수(Eij : Turbulent Exchange Coefficient)와 조도계수(n : Manning's)를 각각 -40%, +33%씩 변화시켰을

때의 유속의 변화를 비교하였다. 유속을 이용한 예민도 분석에 사용한 위치는 Fig. 1에서 나타낸 팔당호 중앙이다.

난류교환계수를 40% 감소시키면 평균유속이 0.011m/s가 증가하고, 조도계수를 33% 증가시키면 평균유속이 0.004m/s가 감소하는 것으로 계산된다. 한편, Fig. 2에서 보듯이 봄철인 7월 이전과 가을철인 7월 이후의 유속변화가 차이가 나므로 이를 구분하여 표시하면 Table. 5와 같다.

이러한 계절적 차이는 댐 하류로의 방류량이 7월 이전에는 유입량에 비하여 많고, 7월 이후에는 방류량보다 유입량이 많음(Table. 2)으로 인한 정체(背水現象)영향 때문으로 판단된다. 일반적으로 조도계수가 증가하면 바닥과 수체의 마찰로 인한 저항 때문에 유속이 감소하고, 그 변화의 정도는 대상수계의 특성에 따라 약간씩 차이를 가진다. 민감도 분석 결과, 팔당호의 내부 유속은 조도계수보다는 난류교환계수에 더 민감한 것으로 나타났다.

**팔당호 유속의 예측**

보정된 난류교환계수와 Manning의 조도계수를 사용하여 1997년 유량자료로 모의발생한 월별 지점별 결과는 Table 6에 나타낸 바와 같다.

입력된 지형자료가 1990년의 수심측량 성과이므로 10여년 가까이 퇴적된 토사를 반영할 수는 없으나, 그 이후의 자료가 없으므로 과거의 자료를 그대로 사용하였기 때문에 1997년의 유량을 입력하여 계산한 유속의 값들이 정확하다고는 할 수는 없지만 팔당호 내부의 물의 흐름 방향과 지점별 상대적인 크기의 차이를 확인할 수 있었다.

Table 2와 Fig. 3에서 보듯이 물의 흐름은 7월까지의 유입량보다 방류량 및 취수량이 많으며, 흐름의 방향이 상류에서 하류방향으로 흐르는 정상적인 상태를 보이다가, 8월 이후 유입량이 많아짐에 따라 댐에서 블로킹의 효과 때문에 경안천 및 소내섬 쪽으로 역류를 하는 것으로 나타났다.

이러한 역류 현상은 유입량과 유출량이 평형을 이루는 12월까지 지속되는 것으로 계산되었으며; 특히 소내섬을

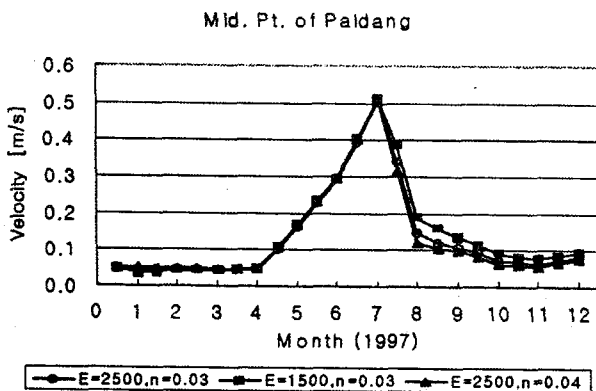


Figure 2. Change of velocities in mid-point of Paldang Lake with different Turbulent Exchange Coefficient and Manning's n values

Table 5. Sensitivity analysis for velocity with changing Turbulent Exchange Coefficient and Manning's n values

[unit : m/s]

Division	Control E=2500 n=0.030	E=1500 n=0.030	E=2500 n=0.040	Remark
Before July	-	+0.001	+0.003	+ : Increased
After July	-	+0.025	-0.014	- : Decreased
Annual Mean	-	+0.011	-0.004	

Table 6. Calculated velocity of Paldang Lake in the year of 1997. [Unit : m/sec]

Month	Area North-Han River	South-Han River	Kyung-an River	Paldang dam	Middle of Paldang Lake
1	0.033	0.025	0.007	0.035	0.046
2	0.031	0.028	0.003	0.034	0.047
3	0.019	0.024	0.006	0.034	0.044
4	0.031	0.021	0.004	0.034	0.046
5	0.115	0.048	0.022	0.132	0.164
6	0.165	0.192	0.025	0.233	0.291
7	0.247	0.392	0.048	0.415	0.511
8	0.065	0.205	0.019	0.085	0.150
9	0.033	0.120	0.002	0.063	0.109
10	0.063	0.031	0.004	0.037	0.073
11	0.036	0.031	0.002	0.036	0.062
12	0.047	0.038	0.005	0.050	0.080

Locations of area are indicated by Figure 1. with the black circles.

중심으로 반시계 방향으로 회전하는 현상이 이 시기에 뚜렷하게 나타났다. 따라서, 팔당호 수질예측시에는 이러한 현상이 고려되도록 주의하여야 할 것으로 판단된다.

또한 청평댐에서의 방류량이 하루 24시간 사이에 발전으로 인한 변동을 보이며, 팔당댐 방류량보다 유입량이 상대적으로 많은 시간에 소내섬을 중심으로 회전하는 현상이 발생한다면, 경안천의 물이 남한강 유입수와 혼합될 가능성이 훨씬 높아지므로 팔당광역 상수취수원의 취수시간을 조정하는데 활용될 수도 있을 것으로 판단된다. 이에 대한 해석은 RMA-4를 이용한 수질예측시 자세히 제시할 예정이다.

유속의 크기는 완충지역 역할을 하는 경안천 유입부인 남쪽보다는 방류량과 취수량에 영향을 받는 팔당호 북쪽이 10배 정도 크게 계산되었다. 정확한 유속의 예측을 위해서는 팔당호의 수심측량자료의 보완이 필요하며, 더불어 모형에 이용하여 보정 및 검증, 예측을 하기 위해서는 유량, 유속 등의 수리자료가 수질자료와 함께 축적되어야 할 것

이다.

요 약

팔당호의 수심측량자료와 1997년의 유출·입 유량을 이용하여 RMA-2 수리모형의 팔당호 유속자료를 모의실험한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 팔당호에 대한 RMA-2 수리모형의 민감도 분석결과 조도계수보다는 난류교환계수가 유속의 변화에 더 민감한 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 2) 팔당호에 RMA-2를 적용한 결과, 유속의 크기는 완충지역 역할을 하는 경안천 유입부인 남쪽보다는 방류량과 취수량에 영향을 받는 팔당호 북쪽이 10배 정도 크게 계산되었으며, 팔당호 내부의 물의 흐름은 7월까지의 흐름의 방향이 상류에서 하류방향으로 흐르는 정상적인 상태를 보이다가, 7월 이후 유입량이 많아짐에 따라 댐에서의 차단효과 때문에 경안천 및 소내섬 쪽으로 역류를 하는 것으로 나타나 팔당호 내부의 물의 흐름 방향과 지점별 상대적인 크기를 비교할 수 있었다.
- 3) 팔당호 내부의 역류 현상은 유입량과 유출량이 평형을 이루는 12월까지 지속되며, 특히 소내섬을 중심으로 반시계방향으로 회전하는 현상이 이 시기에 뚜렷하게 나타나, 수질이나 퇴적현상을 예측할 경우 이들을 반드시 고려해야 할 것으로 판단된다.
- 4) RMA-2모형에 의하여 좀더 정확한 유속을 예측하기 위해서는 실측유속 및 지형자료의 갱신 및 축적이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Ryu, M. J., K. S. Kim, Y. M. Cho, W. M. Heo, S. K. Kang, D. S. Shin, Y. S. Park, Y. N. Yun and T. K. Kim. (1993). An appraisal study for moving Seoul waterworks intakes to

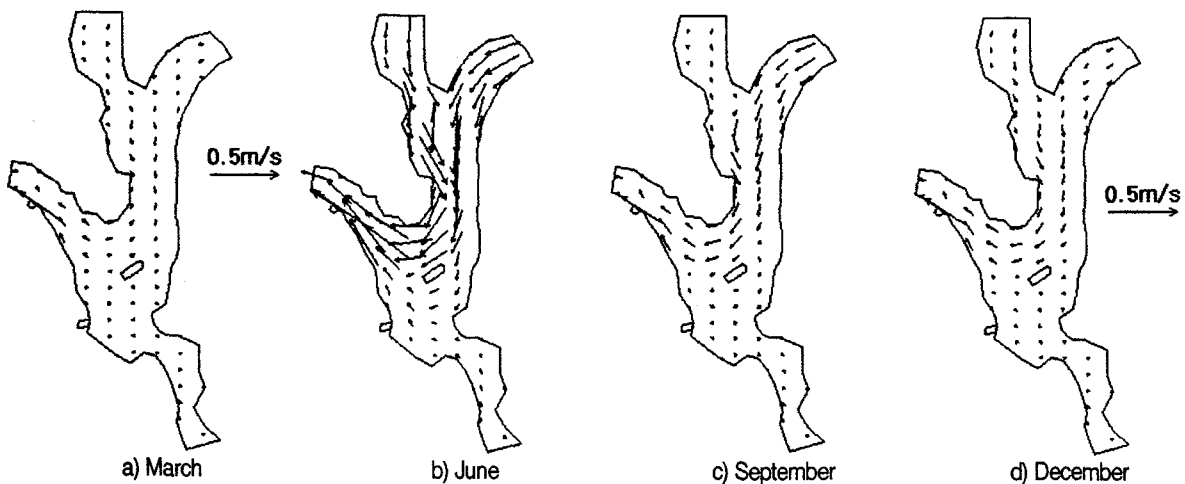


Figure 3. Computed velocity vectors of Paldang Lake in the year of 1997

- North Han river, Seoul Development Institute, 277pp.
2. Ministry of Environment. (1990). The research report for test dredging of Paldang Lake, 498pp.
  3. Kim, S. H. (1990). Prediction of the water quality in a tidal river using steady state model, Seoul National University Master Thesis : 1~3.
  4. Sung, K. J. (1993). Comparing water qualities between some river models, Seoul National University Master Thesis : 1~3.
  5. Office of Han river management. (1993). The report for countermeasure of water quality protection in Han river, City of Seoul : 269~378
  6. King, Ian P. (1993). User's Guide for RMA-2, 28pp.
  7. SMS, (1998). <http://www.ecgl.byu.edu/software/sms/info/smsinfo.html>
  8. Park, Y. W., J. S. Kim, Y. H. Goo and S. K. Kwun. (1997). Prediction of the variation of tidal characteristics due to the construction of seadike using finite element model, J. of Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal, 4(1) : 22~33.
  9. Shin, D. S. (1995). Prediction of the velocity of the Han river using the RMA-2 model, Proceedings of Annual Symposium of Korean Society of Agricultural Engineers : 59~63.
  10. Im, H. K. (1997). Analysis of meandering river flow using finite element method, Seoul National University Master Thesis, 75pp.
  11. Ryu, M. J., Y. M. Cho, H. M. Cho, E. M. Kwun, and D. S. Shin. (1994). A study for the adequate management of water quality on Han River, Seoul Development Institute, 271pp.
  12. Ryu, J. K. (1998). Proceedings of environmental policy symposium in memory of Kangwon Province Environmental Prize, Kangwon National University : 29~46.
  13. Yoon, T. H. and M. K. Kim. (1994). Numerical Modeling for estimating the velocity of Paldang Lake, J. of Korean Society of Civil Engineers, 14(2) : 317~324.
  14. Office of Paldang Dam Management. (1997). Operational diary for spillway gate.
  15. Ministry of Environment. (1993). The primary design report for dredging of Paldang lake, 526pp.