

물순환장치 가동에 따른 농업용저수지의 3차원 이송확산모의에 관한 연구

안재순¹, 이영신², 오대민^{3*}

¹(주)평화개발, ²한서대학교 환경공학과, ³주식회사 헥코리아

A Study on 3-Dimensional Advection-Diffusion Model Operating Density Current Generator in Agriculture Lake

Jae-Soon An¹, Young-Shin Lee² and Dae-Min Oh^{3*}

¹R&D Institute, PEACE Co.

²Department of Environment Engineering, Hanseo University

³Water-Environmental Research Institute, HECOREA Inc.

요약 본 논문은 국내 농업용저수지의 성층현상을 방지하고자 물순환장치를 설치하였을 때, 3차원 수리해석모델인 EFDC를 이용하여 부유물질 이송확산모의를 하였다. 이를 통해 물순환장치의 이송확산범위를 예측하고, 다양한 운전인자를 조절함으로써 최적의 운전인자를 도출하여 물순환으로 인한 내부변화의 영향을 최소화하고자 하였다. 3차원 이송확산모의 결과에 의하면, 30일 이후에 전 수층에 걸쳐 물순환이 시작되며, 100일 이후 저수지의 전체순환이 가능한 것으로 모의되었다. 또한, 연속운전보다 간헐운전이 저수지 전 구간에서 이송확산농도가 낮게 나타났으며, 안정적으로 전체순환이 일어났다. 물순환장치의 표층과 저층 혼합비율은 표층 혼합율이 높을수록 저수지 영향을 감소시킬 수 있으며, 3:1 동일조건일 경우, Case 8(50일운전:50일정지) 조건이 저수지의 내부영향을 최소화할 수 있을 것으로 나타났다.

Abstract This study analyzed a 3D hydrodynamic advection diffusion using the EFDC model (Environmental Fluid Dynamics Code) in the agriculture lake to prevent stratification when we install a water circulator. EFDC model was predicted the range of the water circulator and various operational parameters were derived for minimize the impact of the internal lake. Through EFDC simulation, water circulation is started overall circulation after 30days and a lake overall circulation showed that it was possible operated the water circulator after about 100days. Also, advection diffusion concentration was low in a lake when water circulator operate intermittent condition than continuous condition. And the entire circulation was stable in this condition. The S/B (Surface/Bottom) ratio can reduce the impact of lake as the surface water mixing a lot of. When the same condition (S/B ratio(3:1)), Case 8 (50days operation: 50days stop) of condition were able to minimize the impact of lake.

Key Words : 3D hydrodynamic advection diffusion, Water circulator, Agriculture lake, Stratification, S/B ratio

1. 서론

우리나라는 수자원 확보를 위해 농업용 저수지를 조성

하여 수자원이용량(337억톤)의 약 47%(160억톤)로 이용하고 있다[1]. 반면, 인공적으로 조성된 저수지는 자연정화기능에 취약하며 정체수역이 형성되기 때문에 체류시

본 논문은 환경부 「2011년 미래유망 녹색환경기술 산업화 촉진사업」의 연구지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Min Oh

Tel: +82-10-6206-2350 email: ohdm@hecorea.co.kr

접수일 12년 05월 10일

수정일 (1차 12년 06월 14일, 2차 12년 07월 04일)

게재확정일 12년 07월 12일

간의 증가, 성층현상 발생, 부영양화 등 다양한 수질 및 생태문제가 야기될 수 있다[2]. 또한, 정체수역의 형성으로 안정적인 저수지가 됨으로써, 내부순환이 활발히 진행되지 않으며, 저수지 내부에 빈산소층이 형성되어 혐기화가 진행되고 있어 수질이 점차 악화되기 때문에 이를 위한 해결책이 필요한 실정이다[3].

최근 들어 국내에 이러한 저수지 내부의 상태를 개선하기 위해 물순환을 유도하고 저수지 성층현상을 방지할 수 있는 물순환장치(DCG, Density Current Generator)를 저수지에 설치하여 저수지의 수질 향상에 대한 연구가 수행되고 있으며, 일본에서 해양오염을 방지하기 위해 시범적용을 하고 있다[3,4,5].

또한, 국내 저수지는 형상이 복잡하고 합류부의 폭이 넓어 주 흐름방향과 그 외 지역간의 체류시간과 유속 등 수체 거동이 매우 상이하기 때문에 1차원 혹은 2차원 모델을 통해 정밀한 해석이 어렵다.

특히, 저수지는 유속이 매우 낮아 확산이송과 혼합 등 물질의 전달과 반응특성이 다르고, 기상, 수문, 지형, 성층화 조건에 영향을 받기 때문에 공간적인 거동특성을 고려한 수치모의를 해야 한다. 이러한, 3차원 수치모델은 특성상 계산시간이 많이 소요되고, 수온 및 온도 보정 등 시행착오로 인한 제약이 있어 사용에 어려움이 있었다[2].

최근, 3차원 수치모델은 컴퓨터 기술발달로 인해 여러 학자들에 의해 발전되고 있으며, 특히, EFDC (Environmental Fluid Dynamics code) 3차원 수리동역학 모델은 수체의 복잡한 유동을 예측하는데 적합하여 국외 뿐만 아니라 국내에서도 저수지의 수온성층해석 및 모의

에 활용되고 있다[2], [6], [7,8].

따라서, 본 연구는 3차원 수리해석모델인 EFDC를 이용하여 물순환장치 가동으로 인한 부유물질의 이송확산 모의를 함으로써 물순환에 따른 저수지 변화의 영향범위를 예측하고, 운전인자 변화로 인한 다양한 인자를 도출하여 국내 유사한 저수지의 수질개선을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

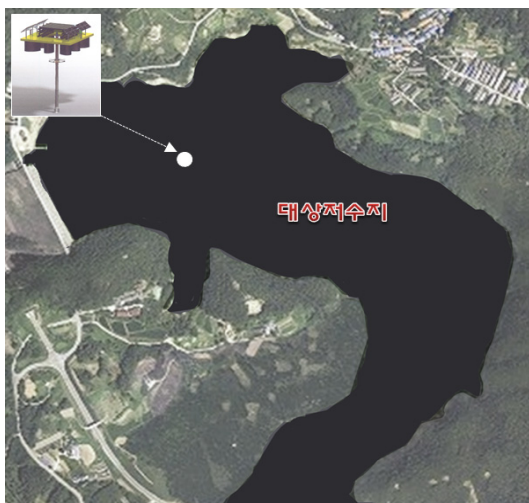
2. 모델의 모사

2.1 수리모델의 개요

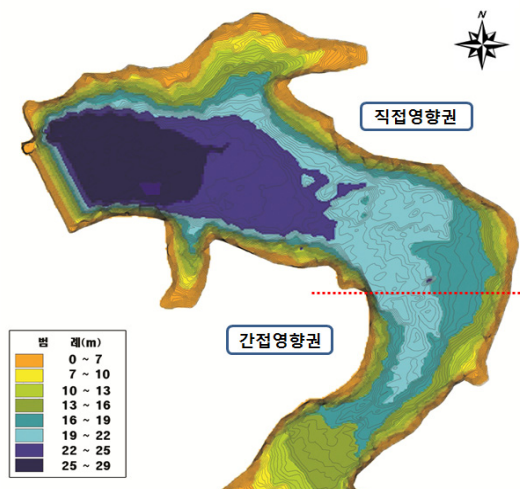
부유사 이송확산을 모의하는 모델 중 본 연구에서 사용되는 EFDC는 미국 환경청(EPA)에서 공인된 유동 및 물질수송을 모의하는 다변수 유한차분 수치모델이다[9]. EFDC는 수직, 수평적인 2차원 및 3차원 표현이 가능하며, 모델에 사용되는 격자체계는 수평적으로 직교(Cartesian) 또는 곡면(Curvilinear)좌표계를 사용하고 수직좌표계를 통해 최소격차로 지형표현이 가능하기 때문에 효율적인 수치해를 구하고 계산시간을 줄일 수 있다[9]. EFDC 모델의 이론과 수치해석은 Blumberg - Mellor 모델과 미국공병단의 Chesapeake Bay 모델과 유사하다. 지배방정식은 3차원 Reynolds 평균 연속방정식 (1), (2), 운동방정식 (3), (4), (5), 상태방정식(6), 물질보존방정식 (7), (8), (9)이다[10].

□ 연속방정식

$$\partial t(m\bar{\xi}) + \partial x(myH \int^1 u dz) + \partial y(mxH \int^1 v dz) = 0 \quad (1)$$



[그림 1] 대상 저수지
[Fig. 1] Study area in lake



$$\partial t(m\zeta) + \partial x(myHu) + \partial y(mxHv) + \partial z(mw) = 0 \quad (2)$$

□ 운동방정식

$$\begin{aligned} \partial t(mHu) + \partial x(myHuu) + \partial y(mxHvu) + \partial z(mwu) - (mf + u\partial xmy - u\partial ymx)hu = -myH\partial x(g\zeta + p) - my(\partial xh - z\partial xH)\partial zp + \partial z(mH - 1)Au\partial zu + Qu \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \partial t(mHu) + \partial x(myHuv) + \partial y(mxHvv) + \partial z(mwv) - (mf + u\partial xmy - u\partial ymx)hu = -mH\partial y(g\zeta + p) - mx(\partial yh - z\partial yH)\partial zp + \partial z(mH - 1)Av\partial zu + Qv \end{aligned} \quad (4)$$

$$\partial y p = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0 - 1 = -gHb \quad (5)$$

□ 상태방정식

$$\rho = \rho(p, S, T) \quad (6)$$

□ 물질보존방정식

$$\begin{aligned} \partial t(mHS) + \partial x(myHuS) + \partial y(mxHvS) + \partial z(mwS) \\ = \partial z(mH - 1)Ab\partial zS + QS \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \partial t(mHT) + \partial x(myHuT) + \partial y(mxHvT) + \partial z(mwT) \\ = \partial z(mH - 1)Ab\partial zT + QT \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \partial t(mHC) + \partial x(myHuC) + \partial y(mxHvC) + \partial z(mwC) \\ = \partial z(mH - 1)Kb\partial zC + \omega C + mHRc + QC \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, h, ζ : 바닥과 자유표면의 실제좌표거리, H : 전체수심 ($= h + \zeta$), u, v : 직교하는 곡선좌표계 x, y 에서의 수평유속, mx, my : 곡선좌표계 임의거리 $ds^2 = m^2xd^2x + m^2yd^2y$ 을 만족시키는 metric tensor의 대각성분의 제곱근, P : 압력, 수심 z 에서 평균수압 $\rho ogH(1 - z)$ 으로부터의 변위를 ρ 로 나눈 값, f : Coriolis force, Av : 수직난류점성계수, Qu, Qv : 운동량 source-sink 항, ρ : 밀도, T, S : 수온과 염분, b : 부력, C : 오염물 농도, QT, QS : 수온 및 염분의 source-sink 항, Ab : 수직난류확산계수,

ω : 침강속도, w : 변환된 무차원 연직좌표계 z 에서의 수직유속성분이다.

모델의 격자보다 작은 규모의 난류 혼합을 표현하기 위하여 사용된 수평난류점성항 및 난류확산항에서 수평난류점성계수는 격자크기와 유속 경사에 의해 결정되는 식(Smagorinsky, 1963)을 통하여 계산된다. 일반적으로 수평난류점성계수와 수평난류확산계수는 같다고 보고 계산 격자 크기가 작아질수록, 유속경사가 작을수록 수평난류점성계수가 감소하며 격자가 충분히 작은 경우는 무시될 수 있다[9].

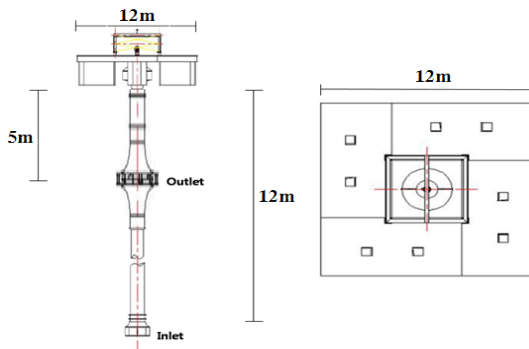
2.2 대상저수지

대상저수지는 농업용저수지인 충남 고풍저수지로 유역면적은 2,590.0ha, 수해면적은 1,293.8ha이다. 또한, 총저수량은 8,360.0천톤이며, 최고수심 29.0m, 평균수심 13.0m이다. 저수지의 수량조정은 방조제에 의한 수문조작으로 이루어지고 있다.

환경부 수질측정망 자료에 의하면 2006년 이래로 COD기준 연중 저수지 수질이 IV등급에 해당하여 농업용수 수질기준을 만족하고 있으나, 저수지 유역내에 밀집된 축산농가로 인한 오염가능성이 높기 때문에 수질관리가 필요한 저수지이다.

2.3 물순환장치

본 연구대상 저수지에 설치될 물순환장치는 그림 1에 나타낸바와 같이 최고 수심을 보이는 위치(N 36°47'27.33", E 126°35'53.09")에 설치되며, 그림 2와 같이 총길이는 12m이고 표층과 저층의 물을 취수하여 토출부(수심 5m)에서 혼합 후 80,000m³/d의 수량을 수평으로 확산하는 장치이다.



• Motor output power	11kw
• Discharge Quantity	80,000m ³ /d
• Height/Width /Outlet Depth	12.0m/12.0m /5.0m
• Mixing condition (Surface: Bottom)	3:1

[그림 2] 물순환장치의 구조특성
[Fig. 2] Structure of water circulator

[표 1] 3차원 수리모델(EFDC)의 시나리오 구성
 [Table 1] Scenario of 3D hydrodynamic advection diffusion (EFDC)

구 분	연속운전			간헐운전					
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9
표층/저층 혼합조건	1:1	3:1	5:1	1:1	3:1	5:1	1:1	3:1	5:1
운전방식	100일 연속운전			20일 운전 : 20일 정지			50일 운전 : 50일 정지		

또한, 풍속, 유속 등의 안정성을 고려하기 위해 물순환 장치 위에 설치된 포툰(pontoon)은 12m × 12m의 발라스트 탱크형식이며, 상부에 에너지 절감을 위해 확산장치 필요전력인 11Kw를 수용할 수 있는 태양열 자가발전장치(12Kw, Solar cell)를 포함한 구조이다.

2.4 모델의 적용 및 조건

본 연구는 대상저수지에 물순환장치를 가동하였을 때, 3차원 수리모델인 EFDC로 부유물질의 이송확산범위를 예측하고, 운전인자 변화에 따른 다양한 인자를 도출하고자, 표 1과 같은 조건에 의해 모의하였다.

3차원 수리모델의 입력을 위해 대상저수지의 등수심도(CAD)와 측정단면도를 이용하여 지형파일과 격자를 구성하였다. 격자구성은 시행착오법으로 부유물질 확산 범위를 적절히 나타낼 수 있는 수평방향 101개 격자, 수직방향 5개층으로 구성하였다. 대상저수지로 유입은 상류에서 0.0795m³/s로 유입되고 있었으며, 농업용저수지의 방류량에 대한 실측자료값의 수집이 쉽지 않기 때문에 모의기간 중 방류는 없는 것으로 가정하였다. 농업용저수지의 경우 풍속 등 기상현상에 의해 물리적 불규칙성으로 수층혼합현상이 나타나기 때문에 이송확산에 대한 영향을 고려하기 위해 서산기상대의 최근10년(2002-2011년)의 평균풍속인 2.7m/s를 입력인자로 이용하였다.

또한, 본 연구와 같이 물순환장치로 인한 성층구간의 이송확산에 대한 매개변수는 그 적용 예가 희박하기 때문에 미국 환경청에서 제안하는 상수 및 변수값을 적용하였다.

대상저수지의 성층분포도를 측정하여 물순환장치의 이송확산이 가능한 혼합층을 조사하였다. 설치위치에서 U-50 수질다항목측정기(Horiba, Japan)를 이용하여 1m간격으로 온도, DO를 측정하였으며, 이송확산에 직접적인 영향을 나타내는 저수지의 수심별 탁도를 측정하였다.

3차원 수리모델에 입력될 물순환장치의 흐름은 표층은 1층, 저층은 5층, 토출확산층은 2층에 각 혼합조건별로 입력하였다. 물순환장치로 인한 이송확산을 예측하기 때문에 저수지의 배경농도를 제외하고 저수지의 성층구간의

SS농도인 5.45 mg/L를 가중농도로 모의를 하였으며, 모의 기간은 성층형성기간인 3개월(약 100일)로 하였다.

물순환장치의 기본입력 조건은 Case2로 모의기간 중 연속운전을 기본으로 하며, 에너지효율절감 및 저수지 상태의 변화를 최소화하기 위한 간헐운전방법 변환에 따른 영향도 함께 예측하였다. 또한, 물순환장치 토출부의 표층과 저층의 혼합조건을 1:1, 3:1, 5:1로 조정하여 운전인자 변화에 따른 이송확산영향을 예측하였다.

3. 결과 및 고찰

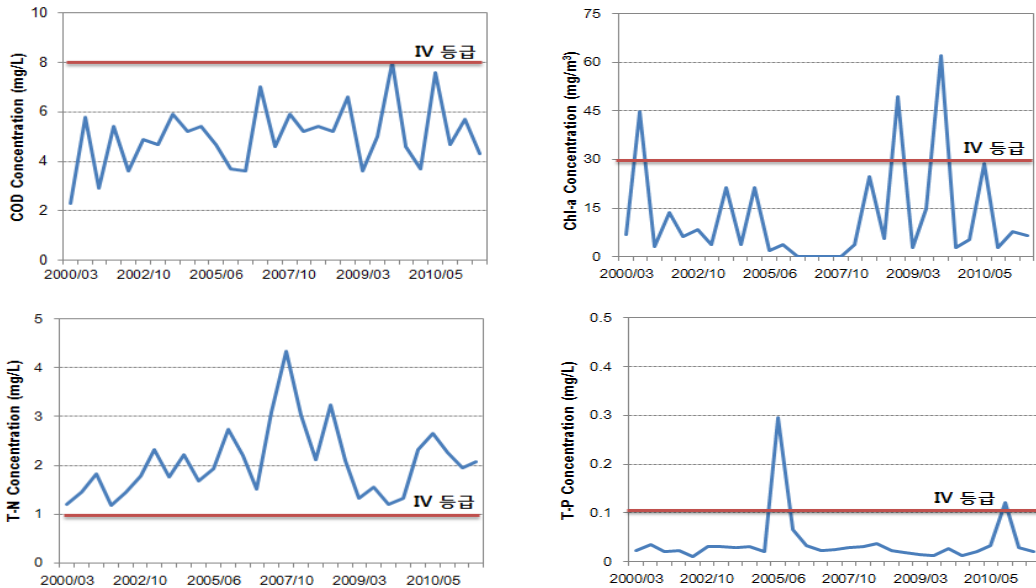
3.1 대상저수지의 시공간적 수질특성

대상저수지의 환경부 수질측정망 모니터링 결과, 아래 그림 3과 같이 IV등급의 수질을 나타내고 있다. 봄부터 COD, T-N의 경우 농도값이 점차적으로 증가하여 겨울에 가장 높은 값(COD 6.6 mg/L, T-N 7.6 mg/L)을 보이고 있는 반면, T-P와 Chl-a의 경우 여름에 가장 높은 농도값(T-P 2.157 mg/L, Chl-a 0.071 mg/m³)을 보이나, 다른 계절은 낮은 농도를 나타내었다.

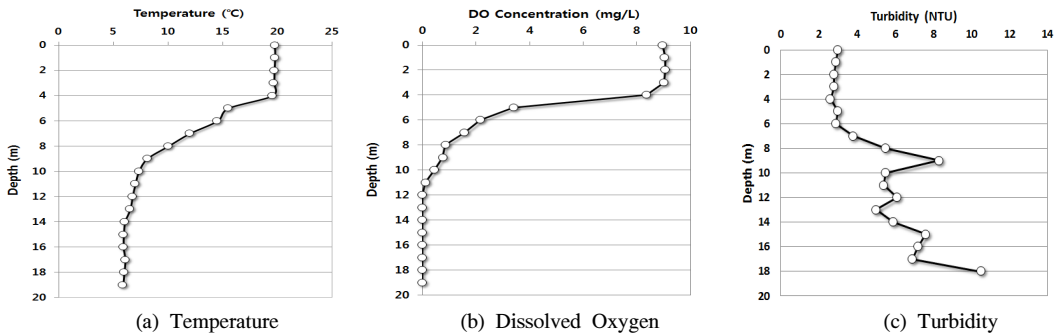
한편, 대상저수지는 2002년에 충청남도내 저수지 중 유일하게 조류경보 발령수준까지 조류가 증식되었던 저수지로, 2002년 이후 지속적으로 오염원 유입으로 인한 조류발생수준이 높아진 것으로 나타났다[11].

아래 그림 4와 같이 대상저수지를 수심별로 측정을 한 결과, 수심 4m지점부터 8m지점까지 성층구간을 형성한 것으로 나타났으며, 10-12m이하에서는 10℃이하의 온도와 DO농도가 약 0mg/L에 가깝게 나타나는 특징을 보였다.

저수지에서 관찰되는 수온분포는 복잡하고, 여러 요인들의 복합적인 작용에 의해 영향을 받는다. 특히, 수온에 의한 성층화는 수층 혼합현상 및 운반작용으로부터 생기는 현상이지만, 안정상태로 존재하지 않고 불규칙성을 띠는 물의 이송과 혼합, 확산에 의한 수리수문학적 기작으로 발생하고 있다[2]. 본 대상저수지도 수온에 따른 성층화가 발생되어 물질의 거동이 제한되고 층별 농도차가



[그림 3] 대상저수지의 시계열적 수질변화
[Fig. 3] The times series change of research lake



[그림 4] 대상저수지의 수심별 수질특성
[Fig. 4] Water quality on depth in research lake

나타나고 있다.

또한, 농업용저수지의 경우 부영양화로 인한 성층현상으로 인한 플랑크톤 번식 등의 문제가 발생되고 있으며, Chl-a, SS, T-P 성분과 탁도간의 상관성이 높다고 보고되고 있다[14].

그림 4에 대상저수지내의 물순환장치 설치위치에서의 수심별 탁도를 측정된 결과, 수온과 DO농도의 급격한 농도변화가 나타난 6m 이하의 수심에서 표층보다 탁도가 높게 나타났으며, 저층으로 내려갈수록 하상 퇴적물의 부상으로 인해 탁도가 10 NTU이상으로 나타났다. 이는 성층이 생성된 4-8m 수심보다 깊은 중층 영역에서 나타난 현상이므로 부영양화와 관련된 인자 외에 지형적인 요소

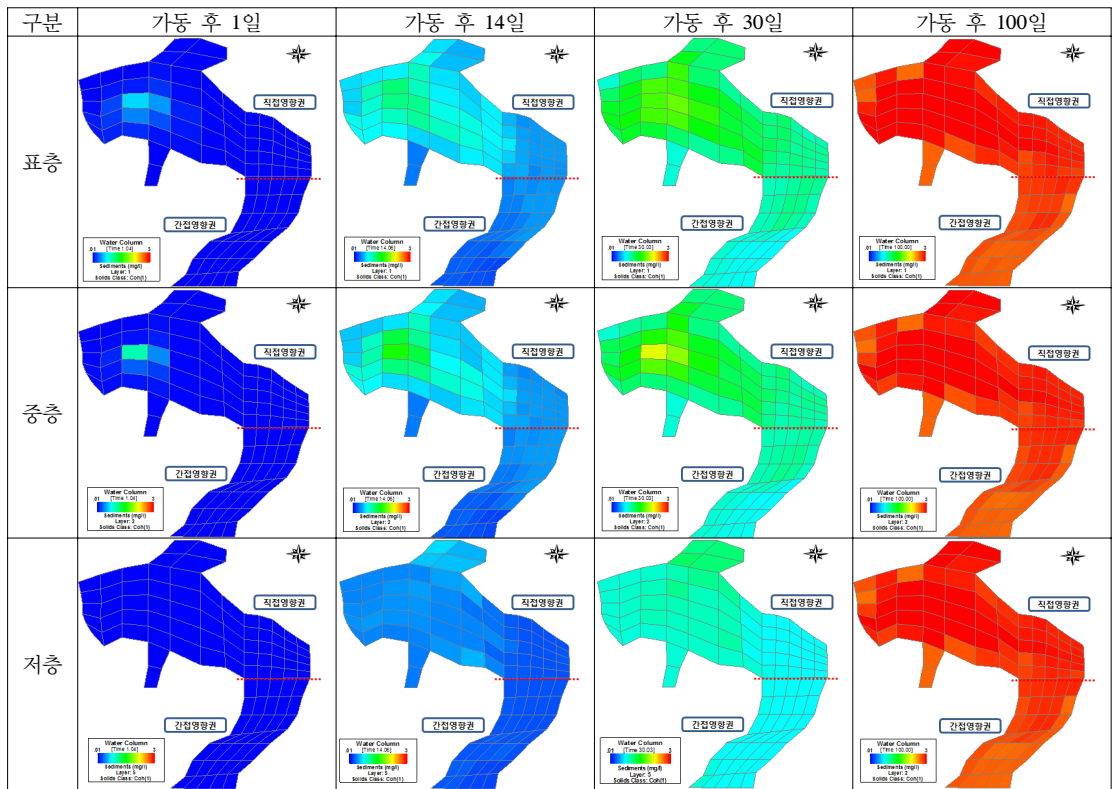
의 영향이 클 것으로 판단된다.

따라서, 물순환장치 설치위치에서 중층에 해당하는 수심이 상대적으로 수심이 낮은 저수지 상류에서 하층에 해당되므로, 지형적인 요소에 의해 퇴적물의 부상, 이송, 확산으로 물순환장치 설치위치에서 중층부터 탁도가 높아지는 현상이 나타난 것으로 보인다[15].

3.2 물순환장치 가동시 이송확산예측

3.2.1 수층별 이송확산예측

양종운(2011)의 연구결과에 의하면, 대형 저수지에 적용된 물순환장치 가동으로 인해 실제 측정된 탁도가 성



[그림 5] 물순환장치 가동시 3차원 이송확산모의 결과 (Case2)
 [Fig. 5] Result of 3D hydrodynamic advection diffusion simulation operating water circulator(Case2)

층이 형성된 중층에서 넓게 이송확산되고 있는 바 물순환장치에서 발생된 밀도류가 저수지 전체에 확산되고 있다고 제시되었다. 또한, 본 대상저수지보다 저수용량 및 제원이 크며, 표층과 중층의 경우 14일 이후에 2km이내까지 이송확산으로 인한 효과가 나타났다[16].

반면, 본 연구는 물순환장치 가동 전에 수층의 이송확산에 대한 예측을 하고자 하기 때문에 물순환장치 메카니즘에 따라 표층과 저층의 혼합수가 중층의 토출구로 배출되는 가중농도를 기준으로 이송확산이 될 때 저수지가 전체적으로 물순환이 진행된다고 보았다. 물순환장치

는 대상저수지의 수심이 가장 깊은 지점에 설치되어 100일간 연속 가동하였을 때, 이송확산작용으로 저수지의 수직, 수평흐름을 모의한 결과(Case 2), 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

물순환장치 가동으로 표층의 이송확산이 가장 빠르게 진행되고 있으며, 저층은 가동 후 14일까지 물순환장치의 영향이 미미하게 나타났다. 다만, 물순환장치 가동 30일 이후에는 전 수층으로 이송확산으로 인한 영향이 일어나기 시작하고, 약 100일 이후에는 저수지의 전체적인 물순환이 일어나는 것으로 나타났다.

[표 2] 수층별 이송확산율 비교
 [Table 2] Comparison of advection diffusion rate each layers

구분	직접영향권 (단위:%)				간접영향권 (단위:%)			
	가동후 1일	가동후 14일	가동후 30일	가동후 100일	가동후 1일	가동후 14일	가동후 30일	가동후 100일
표층	0.0	41.9	62.5	85.5	0.0	34.7	65.2	82.9
중층	0.0	44.5	51.2	90.5	0.0	43.7	54.8	88.6
저층	0.0	56.8	78.1	98.6	0.0	56.9	78.1	97.2

또한, 표 2와 같이 물순환장치로 인한 이송확산의 영향범위는 설치위치로부터 1,000m이내를 직접영향권, 1,000m 이외를 간접영향권으로 구분하여 물순환장치 가동후의 이송확산에 대한 각 수층의 가중농도를 예측하여 비교하였다. 직접영향권과 간접영향권은 가동 후 14일이 지나면 각 수층별로 차이가 있지만, 시간이 지남에 따라 설치위치에서의 농도 대비 영향권별 가중농도를 비교할 때 이송확산율이 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 물순환장치 가동 100일 이후에는 이송확산에 효과가 거의 이루어져 저수지 전체로 물순환이 일어날 수 있다고 생각된다.

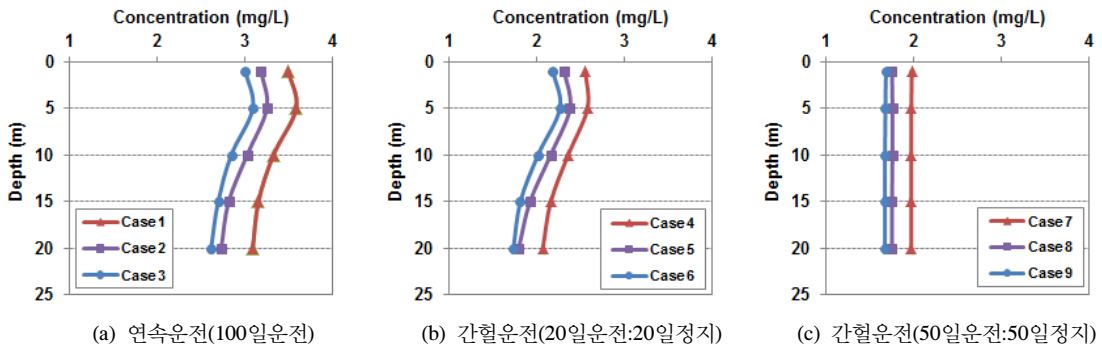
따라서, 저수지의 성층형성기간이 여름, 겨울 등 한 계절이 100일 인 점을 감안하면, 성층현상을 방지하기 위해 초기가동은 연속운전방식으로 하고, 향후, 저수지의 상태를 모니터링한 뒤 자연적으로 성층이 없어지는 전도현상 기간인 봄, 가을에는 물순환장치를 간헐운전방식으로 전환해야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 운전인자변경에 따른 이송확산예측

물순환장치 가동으로 인한 급격한 저수지 내부의 변화는 여러 문제를 동반할 가능성이 높다. 특히, 농업용저수지의 경우 전체 물순환으로 인해 수온의 변화로 조류성장제어, 우점종 변화, 퇴적물에 의한 인 용출, 용존산소(DO)의 증가 등이 일어난다[17,18]. 따라서, 물순환장치 가동에 따른 저수지 내부의 영향을 최소화할 수 있는 운전인자를 고려하도록 해야 한다.

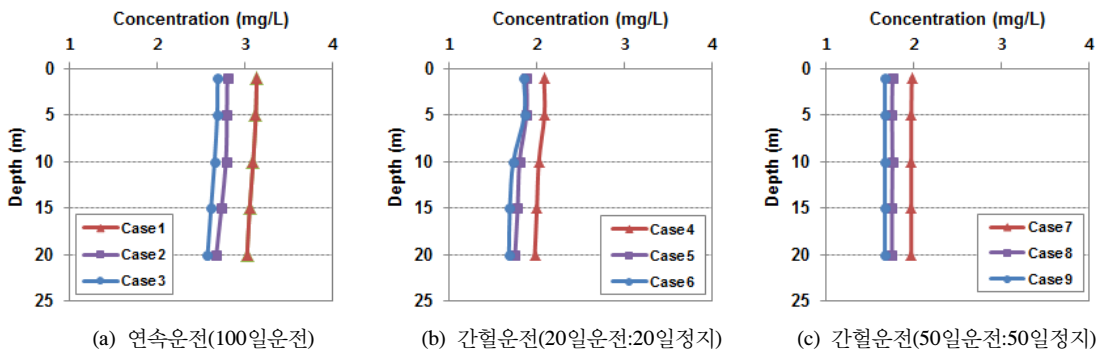
그림 6-그림 8에 물순환장치의 운전방법, 혼합조건의 운전인자 변경에 따른 이송확산을 예측하여 물순환이 저수지 내부 변화에 미치는 영향범위와 다양한 인자조건을 얻기 위해, 각 수층별, 운전방법별로 구분하여 모의한 결과를 나타내었다.

그림 6, 그림 7과 같이 물순환장치의 운전인자 중 운전방식은 연속운전(Case 1-3)보다 간헐운전(Case 4-9)이 저수지 전 구간에서 이송확산농도가 낮게 나타나 다른 Case에 비해 안정적으로 전체순환이 이루어질 것으로 판단된다. 또한, 표층과 저층의 혼합을 변경에 따른 운전인



[그림 6] 운전인자 변경에 따른 이송확산영향결과 (직접영향권 > 1,000m이내)

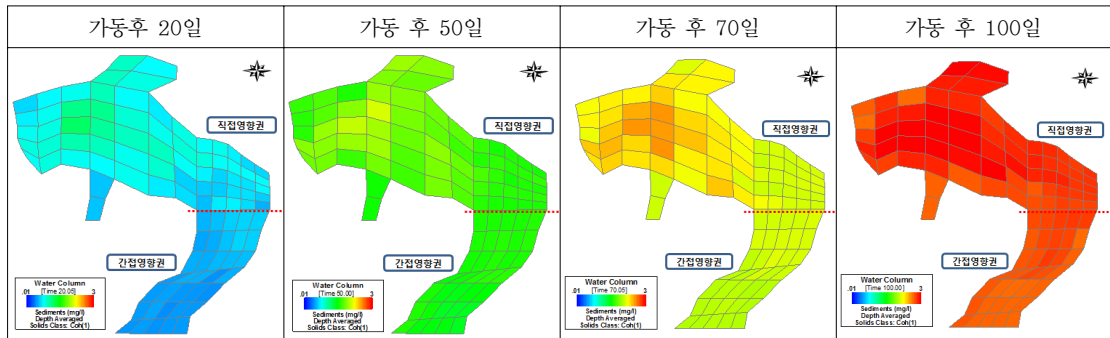
[Fig. 6] Result of advection diffusion effect by operation condition change (Direct effect>1,000m)



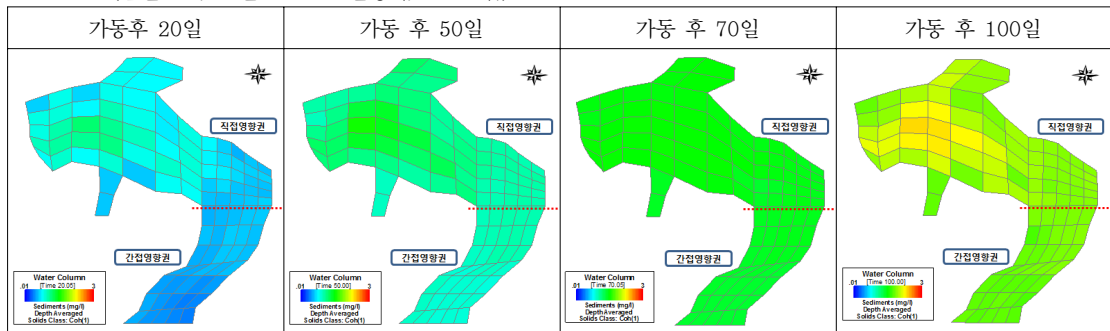
[그림 7] 운전인자 변경에 따른 이송확산영향결과 (간접영향권 < 1,000m)

[Fig. 7] Result of advection diffusion effect by operation condition change (Non direct effect<1,000m)

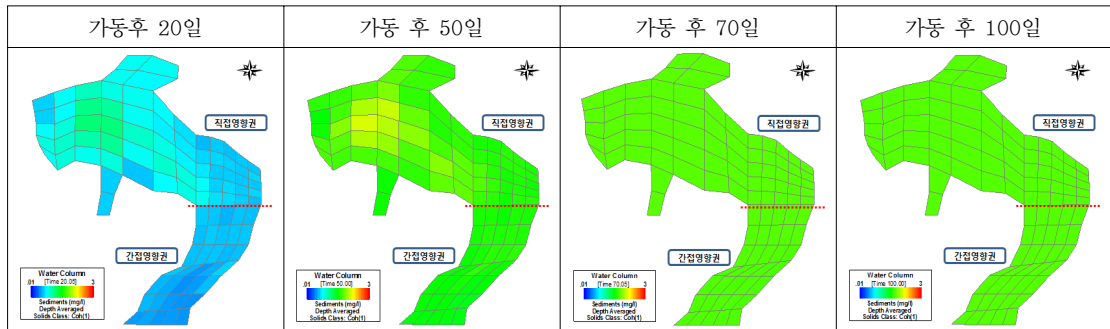
■ Case 2 (연속운전, 100일 운전, 3:1 혼합)



■ Case 5 (간헐운전, 20일운전 : 20일정지, 3:1 혼합)



■ Case 8 (간헐운전, 50일운전 : 50일정지, 3:1 혼합)



[그림 8] 물순환장치 운전인자 변경에 따른 3차원 이송확산 비교 (Depth ave. condition)

[Fig. 8] Comparison of 3D advection diffusion by operation condition change (Depth ave. condition)

자는 각 Case에서 표층의 혼합비율이 높을수록 전체순환에 따른 저수지에 영향을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 반면, 그림 8과 같이 표층과 저층 혼합비가 3:1 동일조건일 때, 3차원 이송확산결과를 보면, Case 8(간헐운전과 50일운전 및 50일 정지)은 간헐운전으로 인해 물순환장치 가동 100 이후에도 Case 2와 Case 5보다 이송확산정도가 작아 저수지 전체에 급격한 변화가 나타나지 않았다. 따라서, Case 8의 운전인자로 물순환장치 가동은 다른 운전모드보다 저수지 내부변화에 대응할 수 있는

적절한 방법으로 판단된다.

4. 결론

물순환장치를 농업용저수지에 설치하였을 때, 저수지의 물순환으로 인한 이송확산정도를 예측하고자 3차원 이송확산모의를 수행하였다.

3차원 이송확산모의의 결과에 의하면, 30일 이후에 전수층에 걸쳐 물순환이 시작되며, 100일 이후 저수지의 전

체순환이 가능한 것으로 모의되었다. 또한, 연속운전보다 간헐운전이 저수지 전 구간에서 이송확산농도가 낮게 나타났으며, 안정적으로 전체순환이 일어났다. 물순환장치의 표층과 저층 혼합비율은 표층 혼합율이 높을수록 저수지 영향을 감소시킬 수 있으며, 3:1 동일조건일 경우, Case 8(50일운전:50일정지) 조건이 저수지 내부영향을 최소화할 수 있을 것으로 나타났다.

또한, 물순환장치의 이송확산으로 인한 영향을 최소화하면서 저수지의 물순환을 모의한 결과를 토대로 보다 효율적인 위치선정 및 운전인자를 선택한다면, 물순환장치 가동으로 인한 갑작스런 저수지의 변화에 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

급회 연구에서는 물순환장치(DCG)의 물리적 원리를 3차원 EFDC 모델에 입력하고, 미국환경청에서 제시된 매개변수를 이용하여 모의되었기 때문에 제약사항이 있었으나, 저수지 성층 발생기간동안의 부유물질의 이송확산을 모의함으로써 저수지의 물순환효과를 확인할 수 있는 의미있는 시도였다. 이 결과를 통해, 향후, 농업용 저수지의 내부 수질개선사업과 관련하여 물순환장치의 적용에 필요한 운전인자 도출을 통해 효율적 관리를 할 수 있을 것으로 보인다.

References

- [1] Korea Rural Community Corporation, "Survey result water quality improvement for agricultural water", 2009.
- [2] Sun Joo Kim, "Research on Methodology of Hydrodynamic-Water Quality and Stratification Modeling in Reservoir using EFDC", Chung nam national University, Doctoral Thesis, 2010.
- [3] Jong Woon Yang, Dae Min Oh, Soung Jong Yoo, Shang Hoon Shin, Young Kyu Kim, Hyung Chul An, Yang Kun Lee, In Beom Ko, Ho Sub Kim, Guk Jin Lee, Jun Gyo Cherong, Young Shin Lee, "A Study on the Behavior of Water Quality using Density Current Generator (DCG) in a lake-Focused on DO, Temperature, Salinity." Journal of Korean Society of Urban Environment, Vol.11, No1 49-55, 2011.
- [4] Otsuka, K., Nakatani, N., Takahashi, Y., Ouchi, K., Awashima, Y. and Yamatogi, T. "Field Study of Seaweed Bed Restoration by a Density Current Generator" Conference Proc. of Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers Vol.3, pp.19-22.(in Japanese), 2007.
- [5] Ouchi, K., Yamatogi, T., Kobayashi. K. and Nakamura, M. "Density Current Generator-A New Concept Machine for Agitating and Upwelling a Stratified Water Area" Proc. of Ocean Community Conference 98 Baltimore USA, Marine Technology Society, Washington DC, pp.129-136. 1998.
- [6] Hee Yun Kim, Bum Chul Kim, Kwang Sun Choi, Dong Il Seo, "Modeling of Thermal Stratification Transport of Density Flow in Soyang Reservoir Using the 2-D Hydrodynamic Water Quality Model, CE-QUAL-W2" The Korean Society of Water and Wastewater, Vol.15, No.1, pp.40-49, 2001.
- [7] Moon Hyuck Kwon, "The Analysis of Density Current", Master of science in Civil Engineering Hanyang University, 2002.
- [8] Dong Il Seo, "Stratification Characteristics and Water Quality Management Strategies of Daechung Lake" Korean Society of Environmental Engineering, Vol.20, No.9, pp .1219-1234, 1998.
- [9] Bum Shick Shin, Kyu Han Kim, Jong Hyun Kim, Seung Hwa Baek, "Feasibilit Study for tidal power plant site in garolim bay using EFDC model", Journal of KSCOEE, Vol.23, No.6, pp.489-495, 2011.
- [10] Hamrick, J. M. "A three dimensional environmental fluid dynamics computer code: Theoretical and computational aspects", Special report, The college of William and Mary, Virginia institute of marine science, Gloucester point, VA..1992.
- [11] Hyun Woong Noh, Jang Suk Go, Jong woon Kim, Sun Jin Yoon, "A study on the water quatiliy and algae blooming characteristics of seosan goppoong Reservoir" Journal of CNIHE, Vol.14, pp.115-133, 2004.
- [12] Sung Hoon KIM, "Hydrodynamic Analysis on Control Variables and Behavior in Destratification Process" Department of Civil and Environmental Engineering, 97p. KAIST Doctoral Thesis, 2006.
- [13] Korea Rural Community Corporation, "A study on the application measure of water quality model in each type of agricultural reservoir", 2010.
- [14] Ho Youl Kim, "The proposal of turbidity criteria and trophic state index in arificial lakes", Chungbuk national University, Doctoral Thesis, 2018.
- [15] Se Deok Seo, "Effect of water release operations on the turbidity distribution in daecheong dam reservoir", Chungbuk national University, Master Thesis, 2018.
- [16] Jong Woon Yang, "Effect of behavior to generated density currents using water circulator on lake water", Hanseo University, Master Thesis, 2011.

- [17] Han Yung Park, Dong Keun Lee, Han Il Kim,,
“Lake water circulation equipment using convectio-
nal phenomenon”, Journal of KFMA Conference, pp.520
-525, 2006.
- [18] Dae Min Oh, Jae Soon An, Young Shin Lee,
“Application of EFDC for simulation of suspended
sediment dynamics operating density current generator
in lake”, Journal of KSWQ Conference, pp.567-568,
2011.

안 재 순(Jae-Soon An)

[정회원]



- 1983년 7월 : 대만 국립 성공대
학 (이학석사)
- 1994년 7월 : STEVENS INSTITUTE
OF TECHNOLOGY(이학박사)
- 1996년10월 ~ 2000년 2월 : 현
대중공업연구소 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : (주)평화개
발 부사장

<관심분야>
유체역학, 물순환

이 영 신(Young-Shin Lee)

[정회원]



- 1986년 8월 : 서울대학교 보건대
학원 환경과(보건학석사)
- 1994년 8월 : 서울시립대학교 환
경공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 한서대학
교 환경공학과 정교수

<관심분야>
상·하수도처리, 폐수처리, 수질관리, 물순환

오 대 민(Dae-Min Oh)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한서대학교 환경공
학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 한서대학교 환경공
학과(공학박사)
- 2010년 8월 ~ 2011년 4월 : (주)
휴엔코 책임연구원
- 2011년 5월 ~ 현재 : 주식회사
헥코리아 연구소장

<관심분야>
상·하수도처리, 폐수처리, 수질관리, 물순환