

대청호 유속에 따른 조류이동 영향

유순주[†] · 황종연 · 채민희 · 김상용

국립환경과학원

The Relationship between Algae Transport and Current in the Daecheong Reservoir

Soon-Ju Yu[†] · Jong-Yeon Hwang · Min-Hi Chae · Sang-Yong Kim

National Institute of Environmental Research
(Received 2 May 2006, Accepted 3 August 2006)

Abstract

Water quality in the Daecheong reservoir has been deteriorated by algal bloom every year. Algal bloom is propagated from eutrophicated tributary into the main body of the reservoir during the wet season. Nutrients from diffuse sources trigger the propagation of the algal bloom. This study is aimed to analyze relationship between the water current by the simulation and algae transport from the main body in the Daecheong reservoir including tributary where algal bloom has occurred seriously every year. Water quality model CE-QUAL-W2 was applied to analyze water movement in draught season (2001) and flooding season (2003). The result of simulation corresponded with the observed water elevation level, 63~80 m and showed stratification of the Daecheong reservoir. In the draught season, as velocity and direction of flow in the reservoir was estimated to affect algae transport including nutrient supply from small tributary, algal blooms occurred in the stagnate zone of middle stream of the reservoir. On the other hand, in the flooding season, it was resulted in nutrient transport from upstream of main reservoir and nutrients were delivered up to downstream by fast water velocity. In result, algal blooms occurred in stagnate zone of reservoir downstream as the current of downstream was retarded according to dam outflow control.

keywords : Algae, CE-QUAL-W2, Flow velocity, Reservoir

1. 서론

최근에 우리나라는 기후변화로 인하여 빈번한 태풍, 홍수, 가뭄으로 수자원에 영향을 미치고 있다(배, 2005). 기후변화에 취약한 수자원은 인공호의 경우 수리·수문적 특성에 영향을 미치며 수질에 영향을 미치게 된다. 특히 중부권 주요 상수원이며 금강하류 하천수질에 영향을 미치고 있는 대청댐 상류는 대부분 임야 등이 전체 유역의 73%로 집중강우 시에 이들 유역으로부터 비점오염물질이 유출되어 댐에 일시적으로 유입되는 특징을 가지고 있다(Yu et al., 2005). 집중강우 이후 일시적으로 유입되는 유기물은 조류의 영양염으로 공급되어 대청호는 매년 조류 발생과 함께 부양양화되어 가고 있다. 조류는 유기물 및 영양염과 수온, 일조량과 같은 유역환경 조건 등과 같은 요인이 복합적으로 작용(박, 2005; 오 등, 1995; 신, 1999; 이, 1999; 이 등, 2003a)하여 발생되고 있으나 대청호는 지형적 특성상 길고 완곡부가 많으며 흐름이 유입량과 방류량에 따라 통제되기 때문에 조류의 공간적 분포는 매년 다르게 나타나고 있다. 또한 대청호 유역 내 오염원이 집

중되어 있는 소하천 유역으로부터 과도한 영양염의 공급은 정체수역에서 조류의 대량 증식 현상을 일으키며(금강물환경연구소, 2001b) 호소 내 수리·수문 조건에 따라 소하천 유입 정체수역에서 증식된 조류가 대청호 본류로 이동하면서 증식하여 수질문제를 일으키기도 한다. 이와 같이 저수지의 유입량 및 수질에 따라 물질의 이송·확산 해석 및 조류 발생에 미치는 영향을 규명하기 위해서는 정확한 저수지 수리 및 성층화 해석이 요구된다. 이를 위해서 수리·수질모형이 사용되는데 일반적으로 저수지 수질모형으로 적용되고 있는 WASP5모형(Ambrose et al., 1993)은 저수지의 성층화 및 수리 및 흐름특성이 저수지 수질에 미치는 영향을 설명하는 데는 미흡한 것으로 나타났다(이 등, 2003b; 정, 2004). 그러나 최근에 2차원 수리·수질 모형 CE-QUAL-W2(Cole, 1995)를 적용하여 상류 유역으로부터 유입되는 밀도류 특성과 관련한 성층화 해석 및 탁류 이동모의(정, 2004; 김 등, 2001)로 오염물질의 유입 경로를 해석하였고, 유 등(2005a)은 오염물질 경로에 따른 소독부산물 전구물질 등 유기물 거동을 규명하였다. 따라서 본 연구에서는 대청호 및 조류발생이 극심한 소옥천을 연계하여 과거 수문현상이 다른 2001년과 2003년을 대상으로 수리 수질 모델 CE-QUAL-W2를 이용하여 수리적 특

[†] To whom correspondence should be addressed.
ysu1221@me.go.kr

성을 반영하는 성층 밀도류와 유속 분포를 모의하여 조류의 이동 영향을 파악하였다.

2. 연구방법

2.1. CE-QUAL-W2 입력자료

본 연구에서 사용된 지형자료는 대청댐 호소와 같이 사형(蛇形)의 형상으로 형세가 복잡한 지역에 적합한 GIS 공간분석 기법과 응용프로그램으로 개발된 배(2002)의 표준화된 최적단면 정보를 토대로 구획(branch)과 요소(segment)를 설정하였다. 여기에 소옥천과 대청호의 경계구간, 즉 주소리 수역 지형을 입력하여 모형을 구축하였다. 호소의 종단구획 구간화를 위해서 branch 및 흐름방향 segment인 구간 지점의 구분은 Fig. 1과 같이 6개의 branch (Br1-Br6)와 189 segment로 하였으며 지류인 회인천은 점원(point source)으로 적용하였다. 본류에 해당하는 대청댐 호소 형상과 수리 및 수질변동 특성 등을 종합적으로 고려하여 수직방향은 26개의 층으로 구분하였다. 기상자료는

기상청 인터넷 자료를 이용하여 2001년과 2003년 1월부터 12월까지 1년 단위 대기온도, 이슬점 온도, 풍속, 풍향, 운량의 자료를 입력하였다. 수온 보정은 2001년을 대상으로 하였고 검증은 2003년도를 대상으로 하였다. 2001년 및 2003년 대청댐 방류 및 취수량 자료는 한국수자원공사의 댐 수문인터넷 자료를 이용하여 입력하였으며, 여수로 방류 시 수문조작에 따른 방류량에 따라 6개 수문에 대하여 배분하여 적용하였다.

2.2. 대청호 및 소하천 유입수역에서 수온 및 성층화 모의

입력자료로 지형자료의 정확성을 검증하기 위해 실측수위와 모의수위를 비교한 후 수온에 대한 모델링을 실시하였다. 2001년과 2003년 수온실측 자료(금강물환경연구소, 2001a, 2003a)를 토대로 모형을 보정하고 검증하였다. 모형의 보정은 각종 매개변수의 적정 값을 찾기 위해 3월에 측정된 자료를 각 branch의 초기조건으로 하여 4~10월 모의 결과와 실측결과를 비교하였다.

2.3. 대청호 및 소하천유입 수역에서 유체이동 모의

대청호와 주소수역을 연계한 유체이동 해석을 위하여 모의된 유량 및 유속은 횡방향(horizontal velocity, x)과 종방향(vertical velocity, z)의 유속을 벡터(vector)로 계산하여 2001년과 2003년을 대상으로 상류지점 장계(M1)부터 하류지점인 문의(T3)까지 비교하였으며 Fig. 2와 같이 소하천 유입부인 주소(T1), 추동(T2), 문의(T3)의 유속 및 유량분포도 포함하였으며 조류 발생에 미치는 요인을 해석하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 대청호 수리·수문변동에 따른 수질 및 조류발생 현황

Fig. 3과 같이 과거 8년간 대청호 강우 및 댐 유입량 변동을 살펴보면 가장 심한 갈수량을 보인 2001년에는 댐 유입량이 많지 않았다. 이로 인하여 발전방류도 평년 수준으로 취수량도 전체 13 cms를 초과하지 않았다. 그러나 가장 강우량이 많았던 2003년에는 댐 유입량이 증가하면서 5월

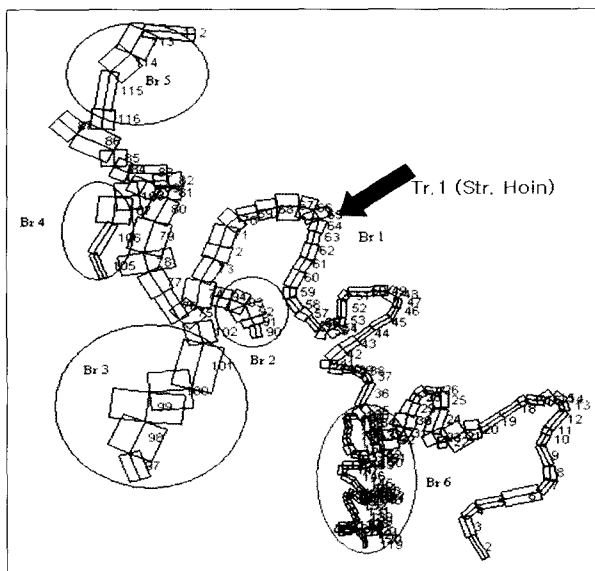


Fig. 1. Segmentation of the Daecheong reservoir and tributary for a water quality model (CE-QUAL-W2).

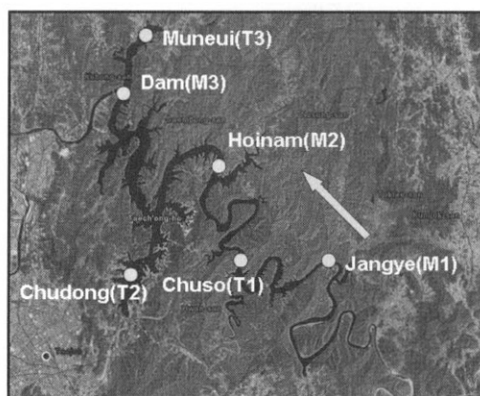


Fig. 2. The surveyed sites and relevant codes.

Site		Code
Jangye	Up-stream of Dam	M1
Hoinam	Middle-stream of Dam	M2
Dam	Down-stream of Dam	M3
Chuso	Tributary (Sockchun) of Dam	T1
Chudong	Tributary (Juwonchun) of Dam	T2
Muneui	Tributary (Pumgok etc.) of Dam	T3

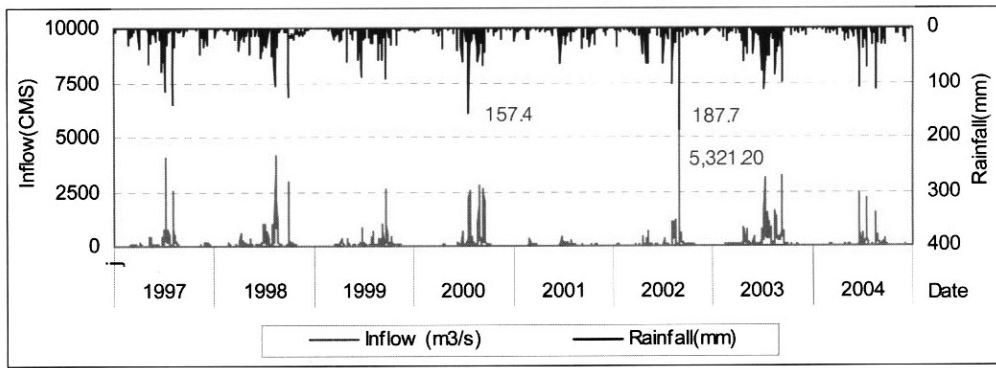


Fig. 3. Daily inflow and rainfall in the Daecheong reservoir (1997-2004).

7일부터 발전방류가 30 cms를 시작으로 5월 18일에는 100 cms 이상이었다. 이후 7월 10일경부터 여수로 방류가 시작되어 7월 12일 1,500 cms를 초과하였으며 7월 19일 여수로 방류 중단 후 다시 7월 25일부터 8월 1일까지 8일간, 그리고 8월 23일부터 4일간, 9월 9일부터 22일까지 재개되었다. 여수로 방류량 뿐만 아니라 취수량도 16.5 cms로 증가되었다.

기상조건에 따른 일조시간은 2001년 월 평균이 264.2시간으로 매우 많았고 2003년이 제일 작은 193시간으로 나타났다. 한편, 최근 4년간 대청호 조류예보제 발령현황(금강물환경연구소, 2001b-2004)중 조류 발생현황(Fig. 4)을 보면 2001년도는 회남(M2)에서만 조류 경보(chl-a 25 mg/m³, 남조류세포수 5,000 cells/mL 이상)가 7월 14일부터 8월 3일, 조류대발생(chl-a 100 mg/, 남조류세포수 1,000,000 cells/mL 이상)이 8월 4일부터 8월 10일까지, 조류경보가 8월 11일부터 31일, 조류주의보(chl-a 15 mg/m³, 남조류 세포수 500 cells/mL 이상)가 9월 1일부터 10월 5일까지 총 84일 발령되어 조류발생으로 인한 대청호 부영양화가 매우 극심하였다. 또한 2003년도에 회남(M2)에서 총 61일간 조류주의보가 발령되었고, 추동(T2)에서도 조류주의보가 78일간, 문의(T3)에서 조류주의보가 45일, 조류경보가 33일 동안

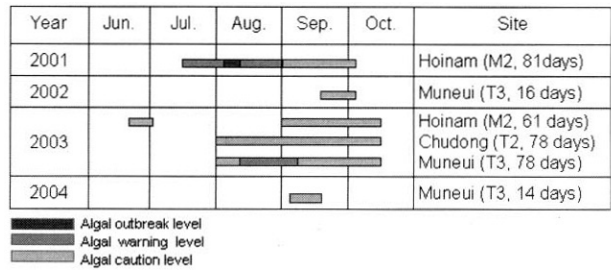


Fig. 4. Algal bloom period at implementing sites of the Daecheong reservoir.

발령되어 호소 주요 지점에서 모두 조류주의보가 빈번하였다. 따라서 Fig. 3에서와 같이 두 해의 경우 및 유입량 변동은 매우 상이하지만 조류발생은 2002년 대청호상류 장계지점을 제외하고 2001년과 2003년에 심각한 현상을 보이고 있다(Fig. 5). 또한 지점별 COD 농도와 chl-a와의 농도를 살펴보면 chl-a가 증가하면 COD도 증가하고 있다. COD와 chl-a와의 상관계수(r)는 T1이 0.88, M2 0.92, T2는 0.71로 높고 M1는 0.51, M3가 0.58 그리고 T3는 0.33으로 낮아 특히 T1에서부터 T2에 이르는 구간에서 조류의 발생과 COD의 관계가 큰 것을 보여주고 있다. 이 가운데 T1의 chl-a 농도는

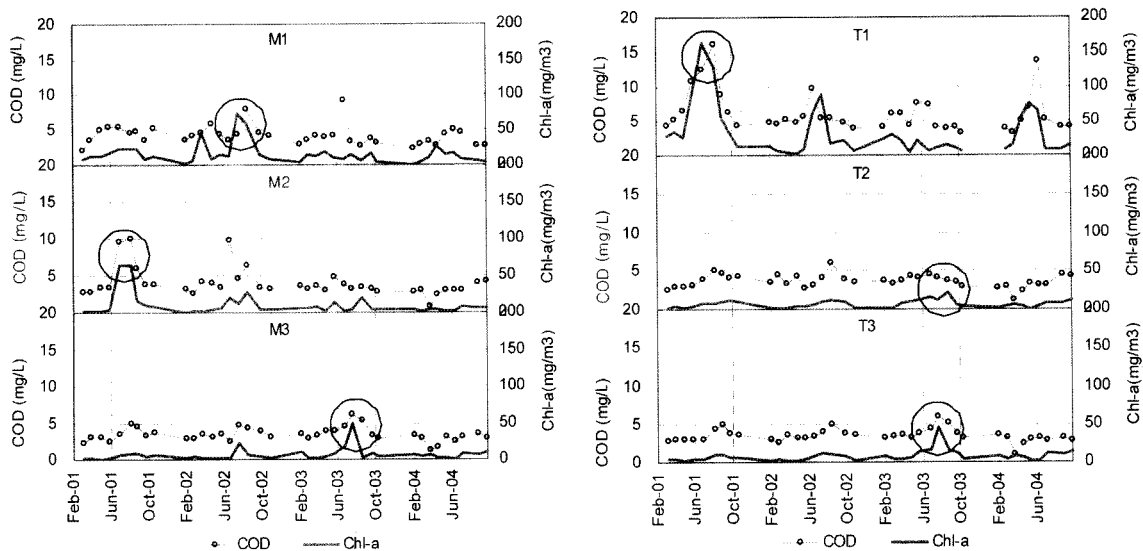


Fig. 5. The variation of COD and chl-a concentration in the Daecheong reservoir.

다른 지점에 비하여 매우 높고 특히 2001년에 대량 발생하였다. 대청호 본류구간 중 M2의 chl-a는 상류의 조류(M1)가 크게 증식하지 않음에도 증가하고 있어 T1으로부터 대량 발생한 조류가 유입된 것으로 판단되었다. 반면, 강우량이 매우 많았던 2003년에는 T1의 chl-a는 높지 않았으나 오히려 호소 하류에 속하는 M3과 T2 및 T3에서 조류의 증가가 예년에 비해 높은 농도를 보이고 있다.

3.2. 대청호 및 소하천유입 수역에서 수온 및 성층화 모의

2001년과 2003년은 강우로 인한 유입량과 기상상황이 다름에도 불구하고 공통적으로 조류발생이 장기간 지속되었기 때문에 2001년과 2003년을 대상으로 유체이동을 모의하여 비교하였다. 저수지 지형자료 등 입력자료의 정확성을 검증하기 위하여 Fig. 6에서와 같이 대청호 모의 수위와 실측 수위는 수리·수문 특성이 크게 다른 2001년과 2003년에 63 m부터 80 m 수위에서 모두 결정계수(R²)가 0.9 이상이고, 관측치와 모의치의 비도 1로 자료의 신뢰성을 확보하였다.

호소와 같이 흐름이 느리고 여름철 집중강우 시 상류하천으로부터 유입 영향으로 호소의 흐름은 밀도류 영향을 크게 받는다. 수온 및 성층화 모의를 위한 초기조건 중 수온은 branch 및 지천에 해당되는 지점의 표층 수질을 적용

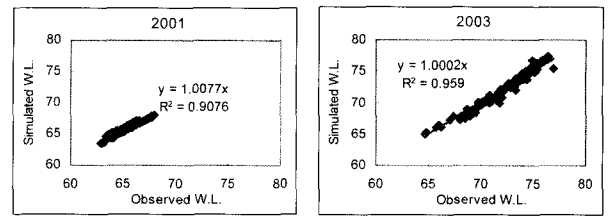


Fig. 6. Reliability of water elevation level (W.L) simulation result in the Daecheong reservoir.

하였고, 수직분포파일은 대청댐의 3월 30일 실측자료를 사용하였다. 매개변수는 Table 2와 같이 초기값을 적용하였고, 기존의 연구결과(수자원공사, 2000)와 같이 초기값으로도 다양한 저수지 환경조건에서 성층화 해석과 오염물질의 이송·확산 해석에 안정된 결과를 보여주었다.

2001년 및 2003년의 수온 및 성층화 모의 결과 Fig. 7 및 8과 같다. 2001년의 경우 수심이 깊은 회남(M2)과 댐앞(M3) 지점에서 성층화 현상이 9월까지 지속되어 상류로부터 영양염 공급이 적은데다 성층화로 수체의 영양염 상공급이 차단되어 전반적으로 영양원 공급은 원활하지 않은 것을 알 수 있다. 반면 수심이 낮은 장계(M1), 추소(T1), 추동(T2), 문의(T3)지점의 경우 전층 수온이 높게 나타났다.

2003년의 수온변화를 보면 대청호 본류구간에서 수온이 불안정해지는 시기가 몇 차례 발생되었다. 이는 호소 표층

Table 2. The used parameter of water body for temperature calibration

Constituents	Parameter		Unit	Value
Wind sheltering	Coefficient	[WSC]	-	0.9
Hydraulic coefficient	Hor. eddy viscosity	[AX]	m ² /sec	1.0
	Hor. eddy diffusivity	[DX]	m ² /sec	1.0
	Sediment heat ex. coefficient	[CBHE]	W/m ² -sec	7.0E-8
	Interfacial friction	[F1]	-	0.01
	Friction type	[FricType]	-	MANN
Ice and heat exchange	Solar radiation extinction coefficient	[GICE]	m ⁻¹	0.07

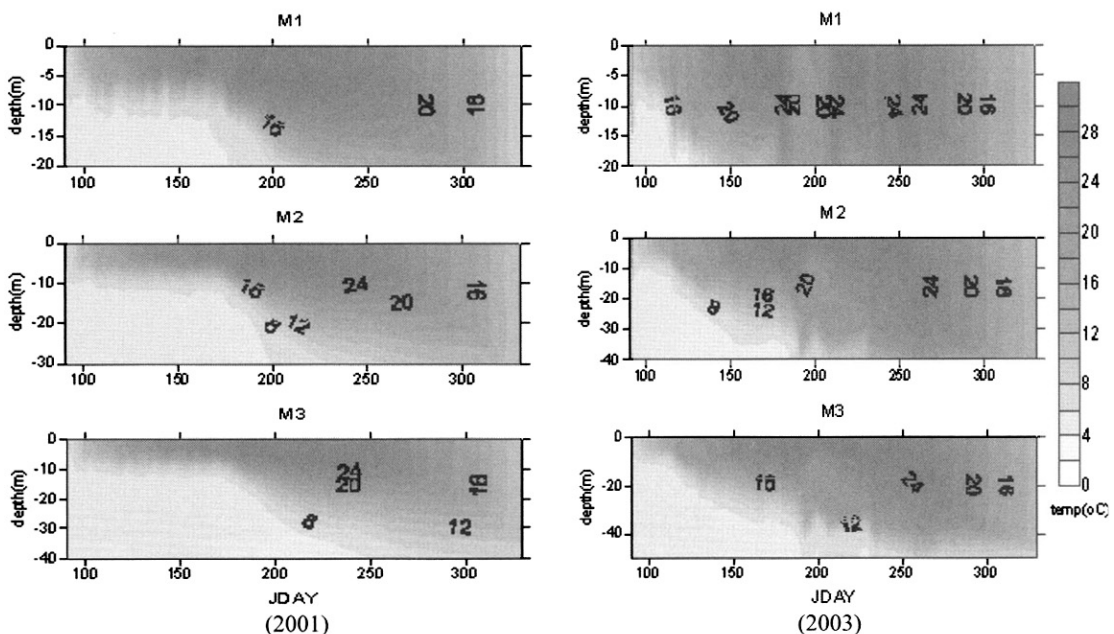


Fig. 7. Temperature variation in main body.

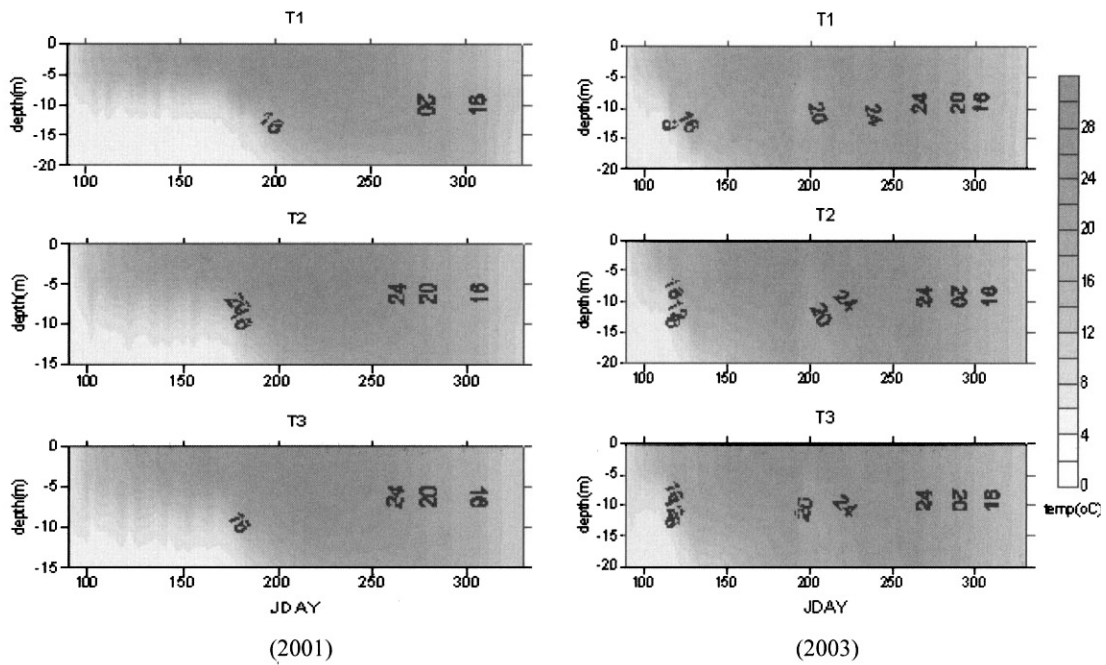


Fig. 8. Temperature variation in tributary.

수온보다 낮은 상류 하천 유입의 영향으로 수체가 불안정하면서 혼합되었기 때문이다. 집중강우 시 상류로부터 공급된 영양염은 수체의 혼합에 의해 지속적으로 호소 수질에 영향을 미치며 조류 증식에 필요한 영양원을 공급하는 역할을 한다(정, 2004). 소하천 유입부 지점인 추소, 추동, 문의 지점의 경우는 수온이 증가하는 시기가 2001년에 비하여 매우 빨라졌으며 장마시기에 수온은 오히려 낮아지고 있다. 이는 강우시 대청호 상류로부터 밀도가 낮은 하천수 영향을 받았기 때문이다.

3.3. 대청호 및 소하천 유입수역에서 유속 및 조류 이동 영향

대청호 유체 이동 해석을 위하여 모의된 유향 및 유속은 횡방향(horizontal velocity, x)과 종방향(vertical velocity, z)의 유속을 벡터로 계산하여 2001년과 2003년을 대상으로 상류지점 장계(M1)부터 문의(T3)까지 유속을 Fig. 9와 같이 비교하였다. 또한 소하천 유입부인 추소(T1), 추동(T2), 문의(T3)의 유속 및 유향분포를 포함하였다. Fig. 9(a)의 2001년 조류경보가 발령되기 전 7월 1일 유향 및 유속 분포를 보면 수심 10 m 이내에서 장계지점부터 하류 30 km 부근 즉 회남 수역부근으로 약 0.086 m/s에서 0.026 m/s로 감소하는 횡방향 유속을 보이고 있다. 반면에 T1에서 chl-a 농도는 6월 21일 88.8 mg/m³, 7월 25일 162.4 mg/m³, 8월 30일 128.5 mg/m³를 보이는 가운데 댐 분류 방향으로 수심 5 m의 수체 이동이 0.021~0.065 m/s 범위로 이동하는 것으로 나타났다. 이후 8월 6일부터 분류구간 유속이 M2 부근에서 0.019 m/s로 감소하면서 앞서 T1에서 발생하는 조류가 점차 증가하여 M2에서 7월 19일 chl-a는 131.6 mg/m³였고 8월 2일 142.2 mg/m³로 최대로 8월 20일까지 지속되었다. T3와 T2의 경우 유속이 매우 낮아 대청호 상

류로부터 조류와 영양염의 공급이 미미하고 유입지천으로부터 영양염 부하가 높지 않기 때문에 정체하고 수온이 높았음에도 조류 농도는 약 20 mg/m³ 이내였다.

2003년의 경우는 Fig. 9(b)와 같이 조류주의보가 발령되었던 8월 1일을 기준으로 7월 15일(194 JDAY), 8월 2일(241 JDAY), 9월 15일(258 JDAY)을 비교하였다. 7월 15일에는 유입량과 방류량이 급격히 증가하여 상류 유입 유속이 표층에서 0.22 m/s였고, 회남 지점 부근부터 표층 유속은 감소하였다. 반면, 수심 10 m 부근의 중층부터 유속이 0.11 m/s로 증가하였으며 거의 수심 27 m까지 유사한 유속 분포를 보이면서 진행 방향이 댐 앞까지 중층으로 진행되고 있었다. 하류 부근에서 유속은 댐에서 문의 쪽으로 진행하였다. 이 방향은 상류로부터 오염물질이 중층으로 진행하면서 그 강도가 크기 때문에 문의방향 상류로 역류하여 이동된 영양원을 공급하는 역할을 하였다. 8월 2일의 유향 및 유속분포를 보면 유속의 크기는 감소하였으나 수심 5 m에서 10 m 부근에서 댐 앞 방향으로 진행하는 것을 보이고 여전히 약한 유속으로 문의로 진행되어 문의 수역에서는 흐름이 정체 되었다. 이 같은 흐름의 변화는 이전에 역류되었던 유기물질을 정체시키면서 조류 영양원으로 작용하여 조류발생이 증가시키는 요인이 되고 있다.

Fig. 10은 2001년과 2003년에 대하여 GIS ArcView를 사용하여 모의결과에 따른 구간별 표층의 횡방향 유속과 조류농도를 일부만 간추려 비교한 것이다. 2001년에는 유속이 느리고 오염원이 집중된 소옥천 말단 추소리 유역에서 집중적으로 발생한 조류가 서서히 분류로 이동하면서 M2에까지 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 10(a)). 이는 조류발생 경향과도 유사하여 T1에서 주로 남조류가 우점하였으며 남조류 가운데 *Microcystis*가 우점였으며 M2까지 그 영향을 보이고 있다. 그러나 댐 하류 구간에서는 조류

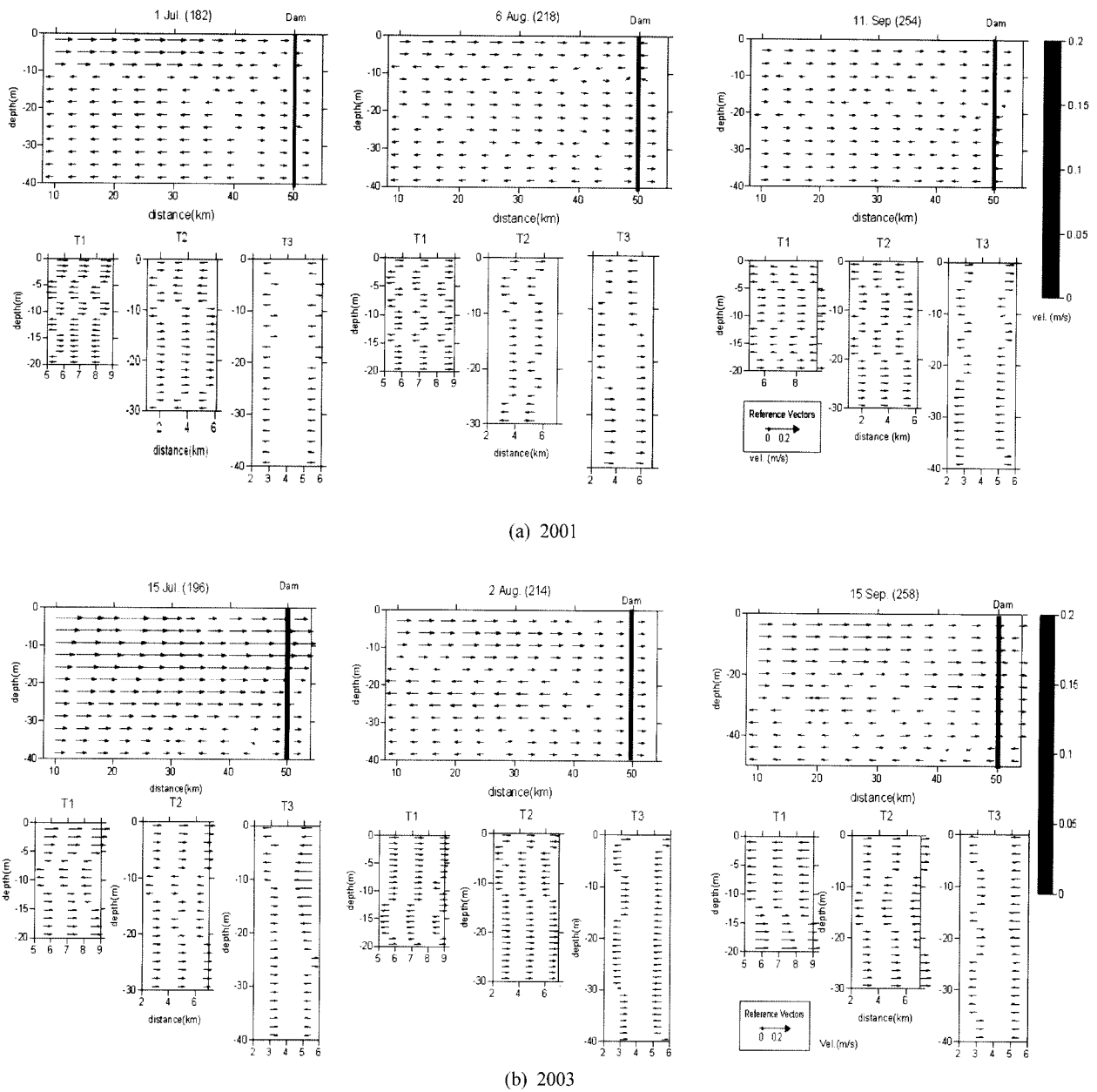


Fig. 9. Velocity and flow direction in the Daechong reservoir.

의 발생양상도 다르게 나타나고 있어 영향을 받지 않고 있다(금강물환경연구소, 2001b, 2003b).

2003년에는 상류로부터 일시적으로 많은 양의 유입으로 유속이 매우 빠르게 진행되다가 방류량 조절로 하류의 유속이 감소하면서 정체되었다. 이 시기부터 하류부근에는 조류의 증가를 보이고 있다. 강우량이 많고 일조량이 적었던 2003년의 경우 호소 상류의 유입량 증가로 수체가 불안정하게 되고 영양염이 공급은 계속되었지만 체류시간이 짧았다. 이 시기의 조류는 남조류. 규조류, 녹조류가 다른 해에 비해 다양하게 발생하였고, 남조류 중 *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Ocsillatoria*, *Anabaena* 등이 고르게 분포하였다. 그리고 이들 조류는 M2보다는 흐름이 차단되었던 T2와 T3에서 더 많이 증식하는 것으로 나타나고 있다(금강물환경연구소, 2001b, 2003b). 따라서 조류의 발생은 유속에 따

라 영양염의 공급과 차단으로 그 종류 및 양에 영향을 미치고 있다.

일반적으로 조류의 발생요인에 대한 상관 분석시 대부분 그 시기의 영양염류 농도, 기상조건 등과 조류의 발생량에 따라 상관분석을 실시한다. 하지만 다양한 환경적인 여건이 작용하거나 조류증식에 필요 이상으로 영양염류 농도가 높거나 할 경우 조류발생 요인분석 시 명확한 요인을 규명하기가 어렵다(금강물환경연구소, 2004a). 본 연구에서는 수리·수문 모형을 토대로 호소내 유기물 유입에 따른 오염물질 경로 뿐 아니라 조류의 이동의 주요 요인이 되는 유속분포를 모의하여 유속변화와 조류의 이동 영향을 규명하였다. 이같은 결과를 토대로 대청호의 조류발생을 저감하기 위해서는 유입되는 영양원의 공급을 차단 또는 저감시키는 노력과 함께 2003년과 같이 유속이 빠르고 강하지만 댐 하류구

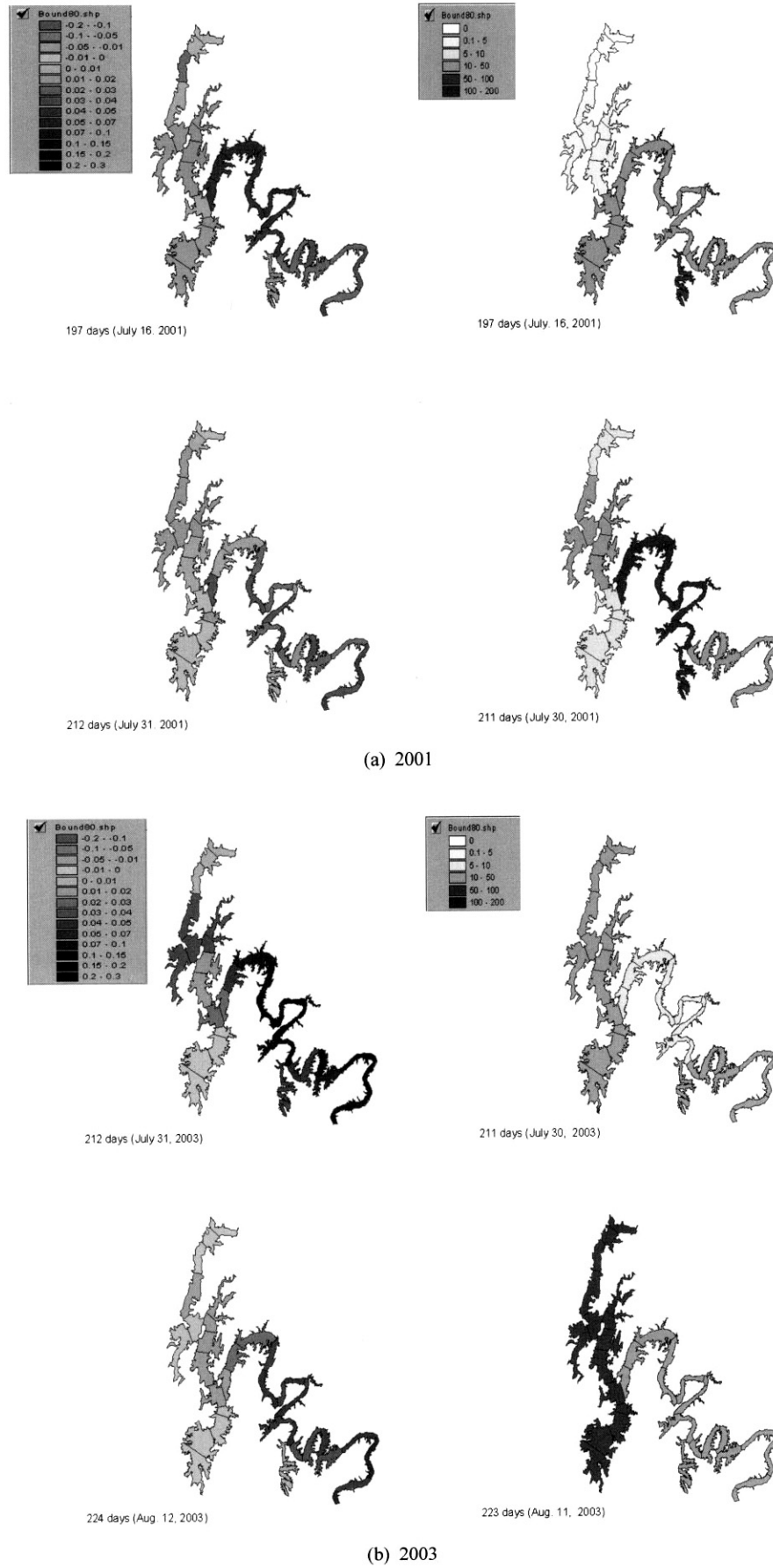


Fig. 10. Velocity and chl-a concentration in surface water of the Daechong reservoir.

간의 정체를 발생하는 경우에는 방류량의 변화조건에 따라 정체를 최소화 할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

대청호는 지형적 특성상 길고 완곡부가 많으며 흐름이 유입량과 방류량에 따라 통제되기 때문에 조류의 공간적 분포가 매년 다르게 나타나고 있다. 저수지의 유입량 및 수질에 따라 물질의 이송·확산 해석과 조류의 bloom에 미치는 영향을 조사하기 위해서는 정확한 저수지 수리 및 성층화 해석이 요구된다. 따라서 수문현상이 상이한 2001년과 2003년을 대상으로 수리수질 모델 CE-QUAL-W2를 이용하여 대청댐 소하천 유역을 연계하여 저수지 본류에서의 수리적 특성을 반영하는 밀도류와 유속분포를 분석하여 조류의 이동을 비교하였다. 본 모형은 수문현상이 다른 조건에서 수리 및 성층화 해석에 안정된 결과를 보여주었다. 대청호의 유속 모의결과 유속은 갈수해인 2001년의 경우에는 오염부하가 높은 소하천 유역에서 발생한 조류가 서서히 이동하여 호소 본류 증류에서 정체하면서 조류를 대발생시키는 요인으로 작용하였다. 풍수해인 2003년의 경우에는 상류로부터 유속의 강도가 커서 댐 하류인 문의지점까지 전달되어 상류로부터 영양염이 이송되었으며 이후 댐 방류량 감소에 따라 유속이 정체되면서 충분한 영양염의 공급으로 댐 하류 구간에서 조류발생을 증가시키는 요인으로 작용하였다.

참고문헌

- 금강물환경연구소, 초기담수호의 영양상태가 하류하천 및 호수수질에 미치는 영향 (I), pp. 105 (2001a).
- 금강물환경연구소, 초기담수호의 영양상태가 하류하천 및 호수수질에 미치는 영향(III), pp. 129 (2003a).
- 금강물환경연구소, 초기담수호의 영양상태가 하류하천 및 호수수질에 미치는 영향(IV), pp. 156-165 (2004a).
- 금강물환경연구소, 금강수계 상수원 수질조사 (2001b, 2002, 2003b, 2004b, 2005).
- 기상청, <http://www.kma.go.kr> (accessed Aug 2005).
- 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일, CE-QUAL-W2를 이용한 소양호의 수온·밀도류 모델링, *상하수도학회지*, **15**(1), pp. 40-49 (2001).
- 박종근, 대청호 수질환경요인과 영양단계 평가, *한국육수학회지*, **38**(3), 382-392 (2005).
- 배기중, CE-QUAL-W2 데이터처리 향상을 위한 지리정보시스템기법 개발, 충북대학교대학원 석사학위논문 (2002).
- 배덕효, 기후변화가 수자원에 미치는 영향과 과제, *국토연구원*, **281**, pp. 32-38 (2005).
- 신재기, 대청호에서 수환경요인과 식물플랑크톤의 변동, *환경생물학회지*, **17**, pp. 529-541, (1999).
- 오희복, 김도한, 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기적 예측, *한국육수학회지*, **28**, pp. 127-135 (1995).
- 유순주, 하성룡, 임연택, 댐호에서 CE-QUAL-W2를 이용한 NOM과 THMPF 거동모의, *한국물환경학회 춘계학술발표논문집*, pp. 349-353 (2005a).
- 유순주, 채민희, 황종연, 이재안, 박종겸, 최태봉, 담수이후 용담호 영양상태 변동 및 요인분석, *한국물환경학회지*, **21**(4), pp. 360-367 (2005b).
- 이상욱, 서동일, 정세용, 2차원 수리·수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 대청호 수온성층현상의 모델링, *대한환경공학학회지 춘계학술발표논문집*, pp. 676-678 (2003b).
- 이정준, 이정호, 박종근, 대청호의 남조류 수화발달과 환경요인 변화와의 상관관계, *한국육수학회지*, **28**, pp. 127-135 (2003a).
- 이정호, 대청호 연중 식물플랑크톤 군집 동태, *한국육수학회지*, **32**, pp. 358-366 (1999).
- 정세용, 성층화된 저수지로 유입하는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, *대한환경공학학회지*, **26**(9), pp. 970-978 (2004).
- 한국수자원공사, 수자원관리종합정보시스템, <http://warmis.kowaco.or.kr> (accessed Aug. 2005).
- 한국수자원공사, 댐 저수지탁류 및 오염물질 이송·확산 모의기술개발, pp. 49 (2000).
- Ambrose, R. b. Jr., Wool, T. A. and Martin, J. L., *WASP5 A Hydrodynamic and Water Quality Model Theory*, User's Manual and Programmer's Guide(Part I and II), U.S. Environment Protection Agency, Athens, GA. (1993).
- Cole, T. M. and Buchak, E. M., *CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model. Version 2.0*. User's Manual Introduction Report EL-95-1, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (1995).
- Yu, S. J., Lee, J. W., Kim, D. H., Park, J. G. and Kim, T. G., Effect on Nonpoint Source Linked with Two Dam Reservoirs, *IWA Water Reclamation and Reuse*, Cheju (2005).