

WASP5 모형을 이용한 성층화 호수의 수질 모의

Water Quality Modeling of Stratification Lake using WASP5 Model

○ 최광희, *이광호

1. 서 론

호수내의 수질 변화는 자연의 물질순환 과정 속에서 해석이 가능하나 근래에는 자정능력의 한계를 넘어서는 오염물질의 유입이 수질변화의 근본적인 원인을 제공한다. 다양한 노력에도 불구하고 우리 나라의 주요한 수체에 대하여 오염물질의 유입특성에대한 실질적인 자료와 조사는 축적된 양이 그다지 많지 않다. 근래에는 원단위 개념을 도입하여 유역의 오염발생량을 정량화 해보려는 노력이 있으며, 이는 상대적인 오염부하의 비교자료로써 사용할 수 있다.

우리 나라의 하천은 하상계수가 매우 큰 관계로 외국의 주요 하천들에 비하여 하천의 유량 변동이 매우 심한 편이다. 이러한 조건은 우리 나라의 수계에서 바람직한 수량 및 수질관리에 많은 문제점을 야기시킨다. 가뭄 시기에는 비점오염원 중의 상당 부분에 해당하는 오염물질이 토양 표면에 머물러 있다가 홍수기에는 침식작용과 함께 수계로 이동하는 현상을 반복하여 보여주고 있는 것은 대표적인 예이다. 최근에 미국 등지에서도 수문 모형과 수질 모형을 연계하여 사용하는 연구가 활발하게 진행 중이며, 이는 바람직한 수질관리를 위해서는 합리적인 유역관리가 병행되어야 한다는 것을 시사하여 주고 있다.

대청호 수계에서의 오염물질은 지천에서의 도시 하수와 같은 점오염원에 의하여 발생하는 경우와 유역의 삼림, 토지 또는 도시 표면의 폐기물 등에 의하여 발생하는 비점오염원으로 대별할 수 있으며, 대청호는 3월경부터 수층의 밀도가 달라지면서 뚜렷한 성층 현상을 나타내었고 7, 8월 경에는 절정을 이루며 10월부터는 상류지역에서부터 점차로 약화되는 것으로 관찰되고 있다. 대청호의 수질관리 측면에서 특히 중요한 점은 금강교의 하류에 위치한 보청천과 옥천천에서 상당량의 오염물이 유입된다는 것이다. 보청천은 수질이 양호한 편이나 수량이 풍부한 편이고, 옥천천의 경우는 이와 반대의 경우이다. 특히 옥천천은 오염정도가 심하므로 조속한 대책 수립이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 대청호의 성층 현상화 현상에 의한 수질 변화를 WASP5 모형을 이용하여 수질 모의를 실시하였고, 이에 따른 수질관리 전략을 고찰해 보았다.

2. 본 론

2.1 대청호와 유역의 특성

대청호의 유역면적은 4,134 km²이고 총 저수량은 1,479×10⁶ m³이며 체류시간은 190일 이다. 그리고 저수면적은 72.8 km²이며 상시 만수위는 76.5 m이다. 대청호 상류유역에서 대청호로 직접 유입되는 4개 지천중 수량에 비해 수질이 나빠 심각한 오염부하를 초래하는 옥천천은 유역면적이 한국해양연구소 위측연구원, *충북대학교 공과대학 도시공학과 교수

184.5 km²이고 하천연장 11.4 km로 충북 옥천군 군북면 삼각점에서 발원하여 금강본류와 합류하고 있다. 옥천천 수계의 행정구역은 충북 옥천군의 3개면과 충남 금산군의 2개면을 점유하고 있고, 유역면적은 대청호 전체 유역면적 4,166.8 km²중 약 5 %에 해당하는 184.5 km²이다.

2.2 호수 저니층 퇴적물의 영양염류 용출

장기간에 걸쳐 호상에 퇴적한 영양염류등은 다시금 수체의 물리, 화학적 변화 또는 저생생물의 생명기작 행위로 말미암아 수체로 재용출 되고 있다. 즉 댐 저수지의 퇴적물은 남조류의 과다번식과 같은 수화현상등의 부영양화현상을 유발하고 있는 중요한 오염원으로서 유역의 점, 비점 오염원과 함께 그의 관리가 간과되어서는 안된다. 대청호의 총 퇴적물 평균 두께는 0.94 m로 추산되며 지역적으로는 문의 지역에서 0.95 m, 선착장지역에서 0.85 m, 댐중앙지역에서 0.78 m, 그리고 회남 지역에서 1.17 m로 각각 나타났다.

영양염류라 불리는 질소와 인 화합물은 조류의 과잉 성장을 초래하여 부영양화의 원인이 되는 물질로 중요시되고 있다. 대청호에서의 영양염류 용출은 댐 부근과 회남교 부근의 지역에서 높게 나타났다. 특히 대청호 유역에서 수량에 비하여 오염 부하량이 많고 조류의 번식이 심각한 옥천천이 유입하는 만입부의 퇴적물에 의한 인 용출 속도는 홍수 발생전 5.87 ~ 7.17 mg-P/m³/day였으며, 홍수 발생 후에는 0.01 ~ 0.47 mg-P/m³/day로 큰 감소를 보였다. 이것은 홍수기전에 퇴적물로부터 수체로의 반응성인(PO₄-P)의 이동이 활발하게 일어났고 홍수기 이후에는 반응성인(PO₄-P)의 이동이 매우 작았던 것으로 생각할 수 있다. 질소 화합물은 조류 성장에 필요한 영양염류로서 조류의 증식에 영향을 미치며 특히 암모니아성 질소의 용출속도는 퇴적층이 혐기성상태에서 증가될 수 있다. 암모니아성 질소의 용출속도는 반응성 인과 마찬가지로 공극률과 침출수 수온에 비례하며 홍수기전에는 20.56 ~ 26.48 mg-N/m³/day이고, 홍수기후에는 6.58 ~ 25.5 mg-N/m³/day였다.

2.3 수질 모의를 위한 대청호의 분할

WASP5 모형은 수체의 수리학적 거동이 완전혼합형 반응조를 연속적으로 연결한 구조로 구성되도록 하였으며 이 가정은 호내의 유출입량이 순간적으로 서로 같아야 한다는 모순된 요소를 포함하고 있기 때문에 수질을 모의 할 수는 있으나 수리학적 거동을 예측하는 데에는 많은 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 고려하여 본 연구에서는 대청호 지천의 유입 유량과 댐 방류량 그리고 대전, 청주 취수탑에서의 취수량등 대청호의 유량 유출입량을 산정하여 대청호의 수리학적 거동을 고려하였으며, 수질을 예측하기 위하여 그림 1에서와같이 대청호를 42개의 segment로 나누었다.

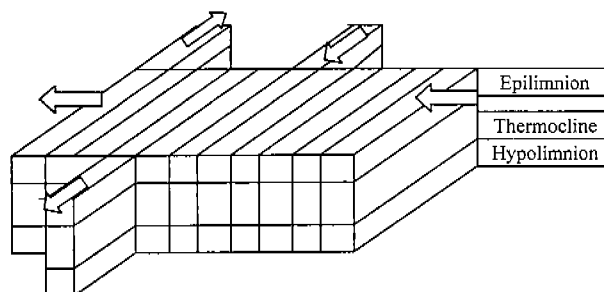
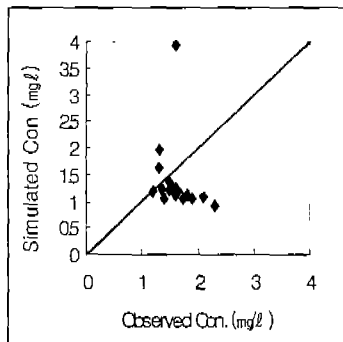


그림 1. 수질 모의를 위한 대청호 분할

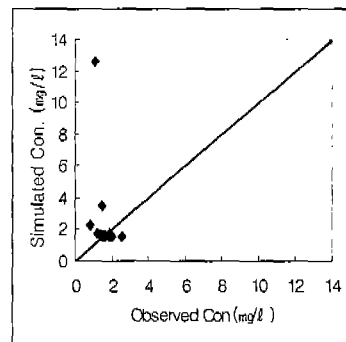
2.4 모형의 검증

WASP5 모형의 대청호 적용성을 평가하기 위하여 모형의 매개변수 검증을 하였다. 매개변수의 검증을 위하여 대청호의 성층별 수질 측정 자료를 이용하였고, WASP5 모형을 이용한 수질 모의 값과 실측값과의 상호 비교를 통해 매개변수 검증을 실시하였다.

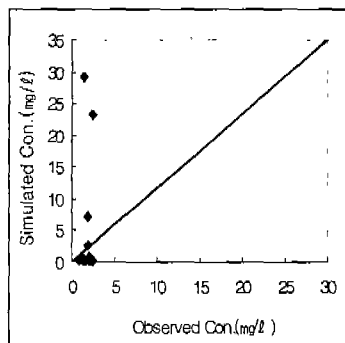
그림 2에서 보는 바와 같이 표층수에서 BOD₅ 모의값 변화는 실측값과 비교하여 오염 부하를 직접 받는 segment에서 큰 값을 보이고 있으며(그림의 사선 윗부분 데이터), 이러한 경향은 중층수에서도 유사하게 나타나고 있다. 그리고 심층수에서는 이런 경향이 더욱 뚜렷이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이에대한 원인으로서는 하천 유량 및 유속에 의한 하상 퇴적물 부상에 의한 영향이 고려될 수 있다.



(a) 표층수



(b) 중층수



(c) 심층수

그림 2. 표층수, 중층수, 심층수에서 모의값과 실측값의 비교 (BOD₅)

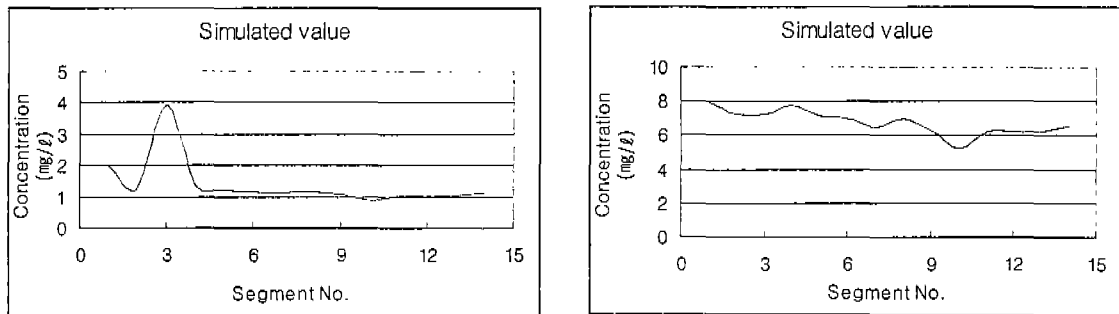
3. 수질 모의 결과 및 고찰

댐 입구부근에서 실측된 대청호 성층화 현상은 4월부터 시작되며 6월에는 7 ~ 15 m의 전이층을 형성하고, 또한 표층은 8월 중순부터 서서히 냉각되기 시작하며 10월 말경에는 성층과괴 속도가 가속화되는 것으로 관찰되고 있다. 이러한 성층화 현상은 온도뿐만 아니라 홍수기 대청호 유역의 유입 유량에 의해서도 크게 영향을 받고 있다고 판단된다.

모형의 검증후 호수의 성층 현상이 뚜렷이 발생하는 시기인 하절기에 성층별로 실측된 대청호 수질 측정 자료를 WASP5 모형에 적용하여 성층화된 호수의 수질을 모의하였다. 모의 수질

항목으로는 엽록소 a, 질소 순환 요소들, 인 순환 요소들, BOD, 및 DO등을 포함하였으며, 모형의 복잡도 4에서 수질을 모의하였다.

모의 수질 항목중 BOD₅와 Chl-a의 모의 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 성층화된 호수내 표층수에서 BOD₅ 값의 변화는 옥천천이 유입하는 Segment No. 3 지역에서 높은 값을 나타내고 있으며 금강 본류부와 옥천천이 유입하는 지역 외의 호수내에서 일정한 값을 나타내고 있다. Chl-a의 값도 옥천천이 유입하는 지역에서 호수의 다른 지역보다 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 성층화된 호수의 표층수는 댐 상류 부에서 하류 부로 갈수록 BOD₅와 Chl-a의 값이 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 대청호내 표층수의 수질관리를 위하여 댐 상류 부의 집중적인 수질관리가 요청되며, 수질모의 결과에서 보듯이 옥천천이 대청호의 BOD₅ 값에 미치는 영향이 크기 때문에 옥천천이 유입하는 지역의 수질관리에 특히 관심을 집중시켜야 할 것으로 판단된다.

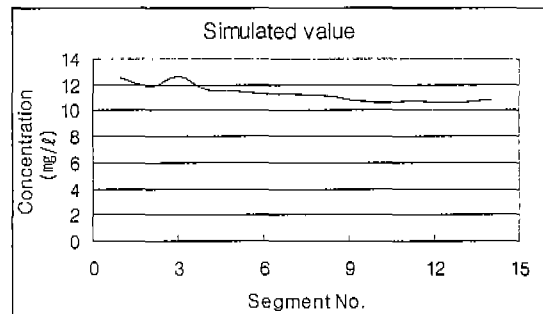
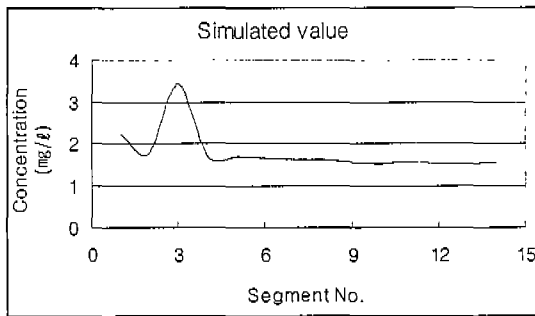


(a) BOD₅ (b) Chl-a
 그림 3. 호수내 표층수에서의 (a) BOD₅ (b) Chl-a 의 변화

그림 4는 호수내 중층수에서의 BOD₅와 Chl-a의 변화를 나타내고 있다. 호수내 중층수에서의 BOD₅의 변화 경향은 호수내 표층수에서의 변화 경향과 유사함을 보이고 있으며, BOD₅의 농도가 표층수보다 다소 높은 값을 나타내고 있다. 호수내 중층수의 BOD₅ 값도 옥천천이 유입하는 호수내 지역이 호수의 다른 지역보다 심각하게 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 중층수에서 Chl-a의 변화 경향도 표층수에서와 같이 호수 상류부에서 하류부로 갈수록 Chl-a의 농도가 낮아지고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 수질 모의 결과로부터 호수내 중층수의 수질관리를 위해서는 표층수의 수질관리에서와 같이 옥천천의 수질오염관리에 관심을 집중시켜야 함을 알 수 있다.

호수내 심층수에서의 BOD₅와 Chl-a의 변화경향은 그림 5에 나타내었다. 심층부에서 BOD₅와 Chl-a의 변화경향은 호수의 상류부에서 하류부로 갈수록 BOD₅와 Chl-a 값이 크게 저하하고 있음을 알 수 있으며 이는 호수 하류부 수체 체적의 증가가 농도 저하 요인의 하나로써 이해된다. 심층수에서는 호수 유입 부에서 BOD₅ 값이 높게 나타나고 있는데 호수 상류에서 호수로 유입하는 금강 본류의 수질이 직접적으로 호수 상류의 심층부에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 호수 상류부 심층수의 높은 BOD₅ 값은 호수 상류 수체가 하류로 이동함에 따라 BOD₅ 유발 물질의 침강, 분해 및 희석에 의해서 BOD₅ 값이 저하하는 것으로 판단되며 호수의 성층 현상이 파괴되고 호수 수체의 역전 현상이 발생하면 호수 저층부 하단에 퇴적한 유기물을 포함한 오탁물질은 호수의 또다른 오염인자가 될 것이다.

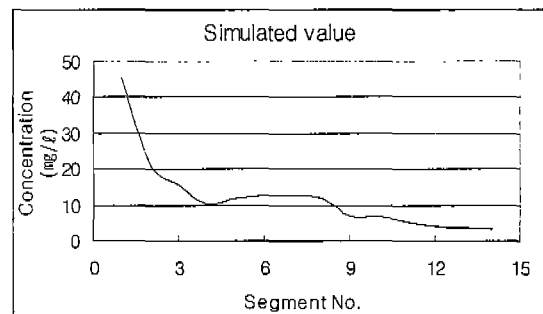
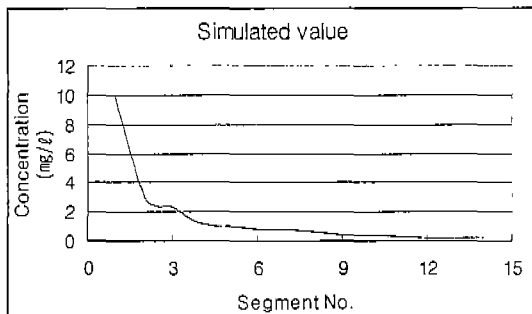
호수 상류부 심층수에서의 높은 Chl-a의 값은 금강 본류의 수질과 직접적인 연관이 있는 것으로 보인다. 보청천, 초강, 영동천, 남대천, 봉황천에서 유입하는 유량은 금강 본류 유량의 대부분을 차지하고 있으며, 하천 중, 상류에서의 오염부하의 하천의 자정 능력에 의해 감소되며, 하천 하류부에서 Chl-a에 의한 부영양화 현상을 초래할 것이다. 이러한 오염원이 밀도류를 형성, 대청호의 심층수로 유입되어 호수의 심층수 수질 저하를 초래하는 것으로 판단된다. 따라서 대청호 심층수의 수질관리를 위하여 금강 본류의 수질오염 저감을 위한 방안이 구체적으로 검토되어야 한다.



(a) BOD₅

(b) Chl-a

그림 4. 호수내 중층수에서의 (a) BOD₅ (b) Chl-a 의 변화



(a) BOD₅

(b) Chl-a

그림 5. 호수내 심층수에서의 (a) BOD₅ (b) Chl-a 의 변화

4. 결론

WASP5 모형을 대청호에 적용하여 수질을 모의한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 우선 호수내 BOD₅ 값의 정량적 평가를 위하여는 하천 유입 유량 및 유속의 영향을 직접 받는 segment의 하상 퇴적물 부상 경향과 홍수기시 하천에서 장기간동안 신뢰할 만한 BOD₅ 값의 자료 구축과 평가가 선행되어야 한다. 성층화된 호수내 표층수에서 Chl-a와 BOD₅ 값은 옥천천이 유입하는 지역에서 높은 값을 나타내고 있으며 이에 따라 대청호내 표층수의 수질관리를 위하여 옥천천에 대한 수질관리가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 호수내 중층수에서의 Chl-a와 BOD₅ 값의 변화 경향은 표층수와 유사하였으며, 중층수의 수질관리도 표층수와 유사하게 관리되

어야 한다고 판단된다. 금강 본류는 호수 수와는 다른 특성을 지니며 호수 유입시 밀도류를 형성 대부분의 유량이 호수 심층수로 유입되어지는 것으로 판단되고 수질 모의 결과 심층수의 수질 관리를 위하여 금강 본류의 수질오염 저감을 위한 노력이 필요하다고 본다.

5. 참고문헌

최광희(1999), WASP/EUTRO5 모형의 매개변수 추정 - 대청호를 사례로-, 충북대학교석사학위논문.

안상진(1980), 유역의 하천형태학적 특성과 유출 및 수리기하간의 상관성, 인하대학교박사학위논문.

김은영(1998), 대청호내 지류 만입부 퇴적물의 특성, 충북대학교석사학위논문.

수자원공사(1997), 댐유역 오염물질 유입특성 및 영향에 관한 연구.

수자원공사(1996), 댐저수지 유기퇴적물 분포 및 처리방안 연구.