

수리구조물의 영향을 받는 순환수로에서의 깔따구 분포

The Distribution of Chironomids by Hydraulic Structure in Circulating Channel

박종표*, 이상호**, 이정민***, 박재현****
Jong Pyo Park, Sang Ho Lee, Jung Min Lee, Jae Hyeon Park

요 지

인공순환수로에 정육면체 수리구조물을 구간별로 설치하여 흐름특성에 따른 깔따구의 서식경향을 조사하였다. 정밀한 흐름특성을 분석하기 위하여 난류계산을 수행하였으며, 인공순환수로에 깔따구를 투입하고 3일 경과 후 깔따구의 개체수를 조사하였다.

인공순환수로는 단면 폭 29cm, 높이 30cm인 구조로 제작되었으며 직선구간의 길이는 120cm이다. 인공순환수로의 직선구간에 길이 10cm의 정육면체 수리구조물을 20cm 간격으로 양쪽 벽면부에 4개씩 균일하게 설치하였다. 자연하천에서 채집된 원수를 수심 20cm가 되도록 투입한 후 유기물을 하상에 고르게 깔고, 회전날개를 이용하여 평균유속 10cm/s로 안정화 시킨 후 깔따구 투입하였다.

실험시작 3일 경과 후, 깔따구의 서식경향을 조사한 결과 깔따구는 수리구조물 직하류부에 주로 서식하였다. 이는 주 흐름방향 유속분포가 수리구조물 후방에서 급격히 작아져 깔따구들이 정착하기 좋은 환경을 제공하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 인공순환수로 직선구간의 안쪽 벽면과 바깥쪽 벽면의 깔따구 개체수는 안쪽 벽면이 바깥쪽 벽면에 비하여 2배 정도 많다. 이는 수리구조물 사이 안쪽 벽면 하상의 시계방향 회전 흐름 때문으로 분석되며 상대적으로 이러한 흐름은 바깥쪽 벽면에서 작다.

실험 및 수치해석 결과, 깔따구는 상대적으로 유속이 작은 곳에 서식하며, 이차류의 경향에 따라 서식처를 이동하는 것으로 분석되었다. 향후 생태적 기능을 고려하여 다양한 수리학적 조건 하에서 난류계산 및 유속 측정을 통한 연구가 필요하다. 이와 같은 연구는 친환경적으로 하천을 복원시키는데 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

핵심용어 : 수리구조물, 순환수로, 깔따구, 난류계산, 이차류

1. 서론

깔따구는 물지 않는 작은 모기류로 담수에 풍부하게 분포되어 있다. 깔따구류는 수질을 평가할 수 있는 지표가 될 수 있으며, 특히 노랑털깔따구(chironomus flaviplumus; 깔따구아과)의 출현은 오염도와 높은 상관 관계를 갖고 있어서 오염에 대한 지표로 사용될 수 있다. 깔따구는 유기물 분해에 직·간접적으로 기여하여 하상이 혐기 상태로 되는 것을 방지함으로써 수질환경 개선에 기여한다. 유기물로 인해 오염된 하천에 깔따구가 정착하여 서식할 수 있다면 수질개선에 기여할 것으로 예상된다. 이와 같이 유기물 이동에 따른 오염지역 파악 및 수질개선을 위한 깔따구 서식에 있어서 정확한 흐름구조를 파악하는 것이 필요하다.

흐름특성을 파악하기 위한 방법은 유속측정과 수치모의에 의한 방법이 있다. 측정에 의한 방법은 실제 현상을 비교적 정확하게 파악할 수 있으나 많은 시간과 비용이 소요되므로 수치모의는 그 대안이 될 수 있다.

본 연구에서는 흐름특성을 분석하고자 상용코드인 FLUENT로 수치모의를 수행하였다. 깔따구의 분포경

* 정회원·웹솔루션 수자원부 팀장·E-mail : pjp@websolus.co.kr

** 정회원·부경대학교 공과대학 건설공학부 부교수·E-mail : peterlee@pknu.ac.kr

*** 정회원·부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정·E-mail : andrew4502@magicn.com

**** 정회원·인제대학교 공과대학 토목공학과 조교수·E-mail : jh-park@inje.ac.kr

향은 이차류와 밀접한 관계를 가지므로 이를 재현하기 위해서 비등방성 난류모형을 사용하는 것이 좋다. 또한 비정상상태 모의는 많은 시간이 소요되므로 정상상태 모의가 가능한 난류모형을 사용하는 것이 대안이 될 수 있다. 위와 같은 점을 고려하여, 본 연구에서는 FLUENT에서 제공하는 비등방성 난류모형 중 정상상태 모의가 가능한 RNG $k-\epsilon$ 모형을 선택하여 수치모의를 수행하였다.

2. 모형구성 및 실험방법

하천에서의 깔따구 분포경향을 파악하기 위한 인공수로는 물과 토사 및 깔따구를 새롭게 공급할 필요가 없는 순환구조이다. 인공순환수로는 29 × 30 cm의 직사각형 단면이며 아크릴로 제작되었으며 흐름의 발생을 위하여 수로의 직선부 중간지점에 회전 날개가 설치되어있다. 수체의 설계개념에 의하여 수리구조물을 설치하였으며 10cm의 정육면체인 수체구조물을 그림 1. 2와 같이 인공순환수로 직선부 양쪽 벽면 설치하였다. 설치간격은 흐름방향으로 각각 20cm이다.

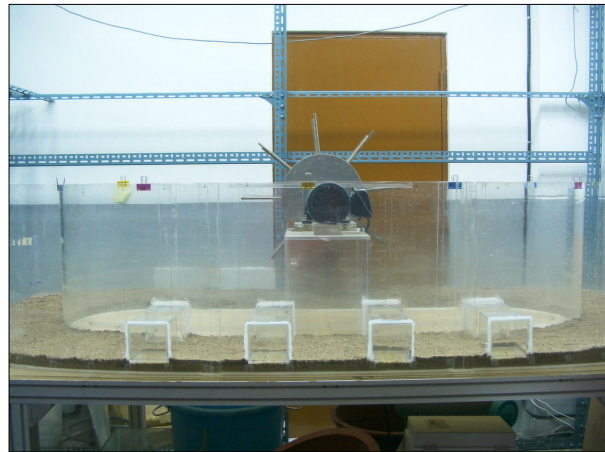


그림 1. 인공순환수로 제작

인공순환실험 환경을 실제 하천과 유사하게 하기 위하여 깔따구와 하상재료, 원수를 부산 대천천 중류에서 채집하였다. 하상재료에서 유기물 및 저서성 대형무척추동물물을 제거하기 위하여 110℃에서 4시간 동안 건조시켰다. 굵은 하상재료는 흐름을 교란시킨다. 건조한 하상재료를 4mm 이하의 체에 걸러 인공순환수로 바닥에서 3cm 높이로 균일하게 깔았다. 순환수로에 채집한 원수를 수심 20cm가 되도록 채우고 평균유속은 10cm/s를 유지시켰다. 아래 그림에서 흐름방향은 우측으로부터 좌측방향이다.

표 1. 수체구조물의 배치 및 형상 결정

S/B	S/L	S (cm)	B (cm)	L (cm)	채택
0.5	2	20	30	10	○

S : 수심, B: 하폭, L : 구조물사이 간격

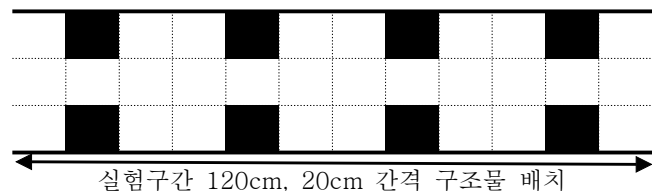


그림 2. 직선구간 수리구조물 설치

3. 수치모의 (FLUENT)

FLUENT모형을 이용하여 순환수로내의 흐름해석 수행하였다. 하상으로부터 수면방향으로 1cm 인 평면의 흐름방향 유속분포, 수심방향 유속분포, 난류강도를 아래의 그림에 도시하였다(그림 3 - 그림 5). 그림 3에서 구조물의 직하류에서는 유속이 급격히 작아지고, 역방향 유속이 발생한다. 직선수로 구간 만곡부 유출부(그림에서 1.2m인 지점)지점을 지나 첫 번째 구조물을 만나는 중간지점에서의 유속이 갑자기 커짐을 알 수 있다. 또한 직선구간의 중앙부에서 유속은 타 구간에 비하여 상대적으로 작다.

수심방향 유속분포의 경우, 주로 실험구간의 바깥쪽 벽면의 구조물 사이에서 상승하는 흐름과 하강하는 흐름이 반복되고 있음을 확인할 수 있다. 안쪽 벽면보다는 바깥쪽 벽면에서 이러한 흐름은 탁월하다. 난류강도는 바깥쪽 벽면의 구조물 모서리에서 크게 나타났다. 또한, 구조물 직하류와 양쪽 벽면의 난류강도는 작으며, 안쪽벽면이 바깥쪽 벽면에 비하여 상대적으로 난류강도가 작음을 알 수 있다.

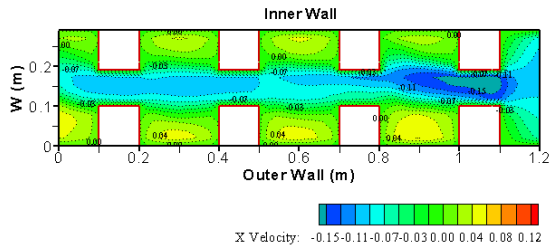


그림 3. 흐름방향 유속 등고선도

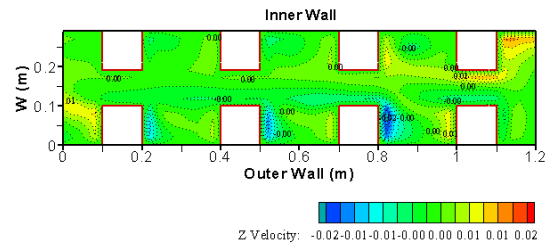


그림 4. 수심방향 유속 등고선도

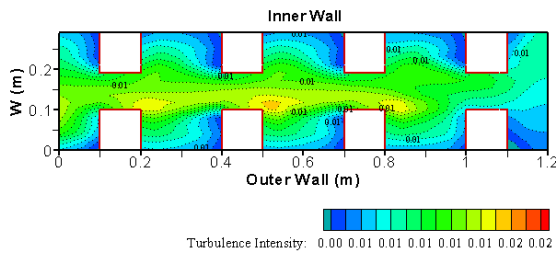


그림 5. 난류강도 등고선도

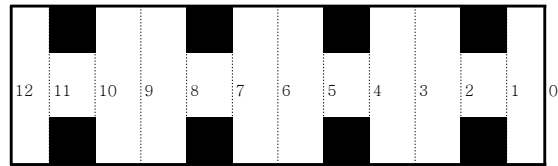


그림 6. 횡단축점

y-z방향의 흐름방향 벡터도를 아래의 그림 7에 도시하였다. 하상근처의 흐름벡터를 분석하여 보면 0번 단면에서의 흐름은 안쪽 벽면을 향하며 3, 6, 9번 단면에서는 구조물의 영향으로 인하여 벽면근처에서 회전하는 흐름이 발생하며 안쪽벽면과 바깥쪽 벽면을 향하는 흐름이 다양하게 발생한다.

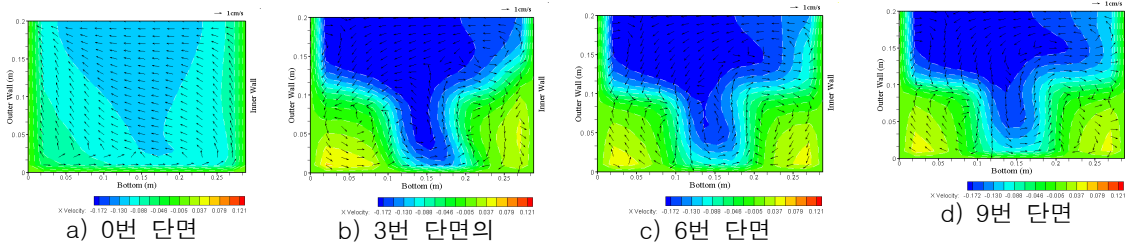


그림 7. 주흐름방향 등고선도와 y-z방향 벡터도

하상근처에서의 x-y방향 유속 벡터도를 아래에 도시하였다. 구조물 사이에서는 회전하는 흐름이 발생하며 이는 유기물이 구조물 사이에 퇴적 할수 있는 환경을 제공한다. 특히 안쪽벽면에서 회전하면서 구조물 사이로 들어갈 수 있도록 시계방향으로 회전하는 흐름이 탁월함을 알 수 있으며 실제 깔따구도 바깥쪽 벽면보다 안쪽 벽면에 더 많이 서식하였다.

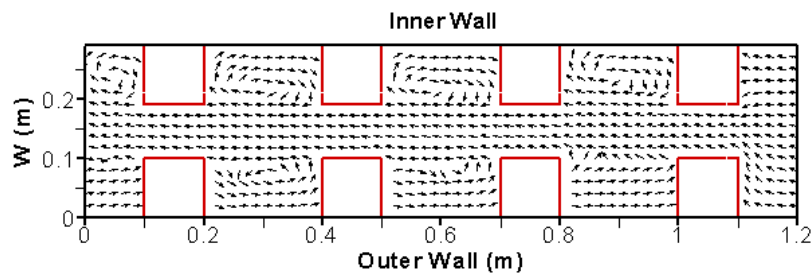


그림 8. X-Y 유속 벡터도

4. 인공순환수로 깔따구 투입 실험

인공순환수로에 수체구조물의 설계개념을 반영하여 정육면체의 구조물을 설치하였다. 대천천의 원수를 수심 20cm로 채우고 난 후 유기물을 투입하였다. 유기물 투입 24 시간 경과 후, 유기물은 직선 구간에 거의 균일하게 분포하였다. 인공순환수로 실험구간 중앙 맞은편의 회전날개를 회전시켜 유속을 10cm/s로 안정화시키고 깔따구 1000마리를 투입하고 분포경향을 분석하였다.

깔따구 투입 후 3일 경과 후 깔따구의 분포 특성을 조사한 결과 깔따구는 수체구조물 하류에 주로 분포하였다. 이는 주 흐름방향 유속분포가 수체구조물 후방에서 급격히 작아져 깔따구들이 정착하기 좋은 환경을 제공하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 직선구간 중앙부의 유속이 작은 영역에서도 깔따구가 서식하였다.

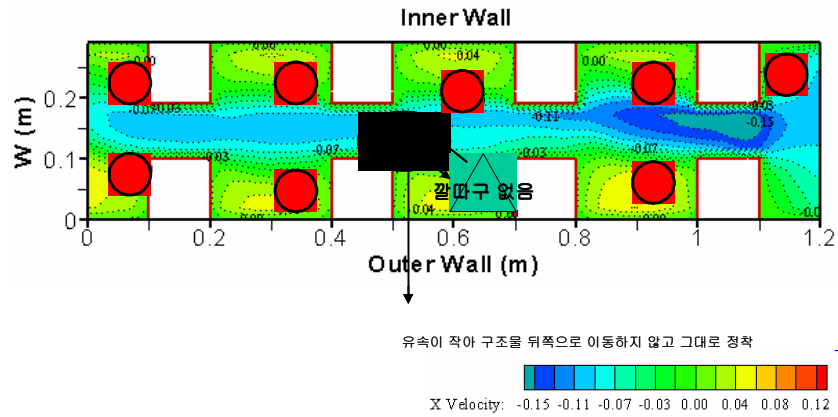


그림 9. 주흐름방향 유속과 깔따구의 분포

안쪽벽면과 바깥쪽 벽면의 깔따구 개체수를 비교해 보면 안쪽벽면이 바깥쪽 벽면에 비하여 2배 정도 많음을 알 수 있다. 하상근처의 x-y방향 흐름벡터(그림 10)를 분석하여 보면 안쪽벽면의 구조물 사이에서 시계 방향으로 회전하는 흐름에 의하여 깔따구가 쉽게 정착할 수 있을 것으로 판단된다. 상대적으로 이러한 흐름은 바깥쪽 벽면에서 작다.

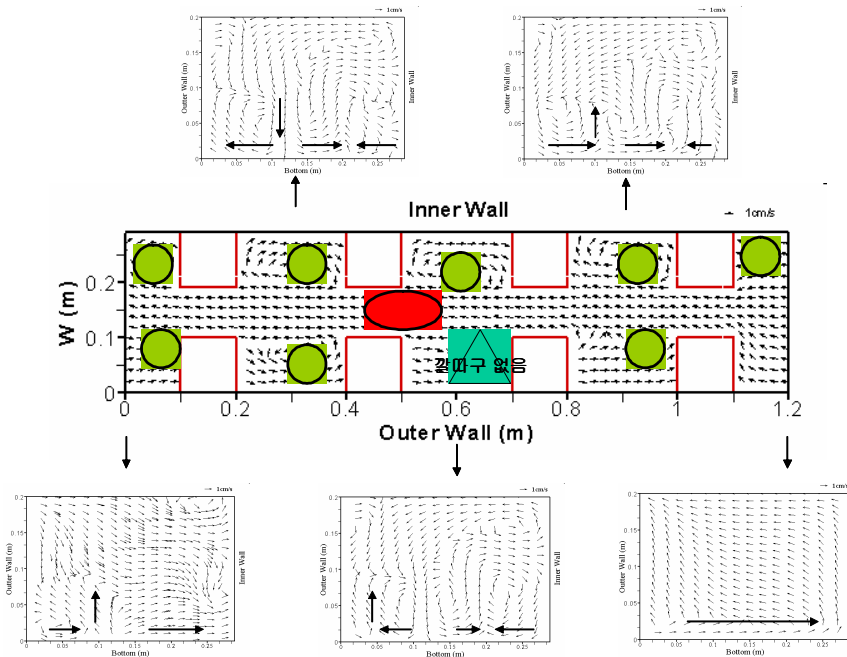


그림 10. x-y방향의 흐름벡터 및 이차흐름에 따른 깔따구의 분포

깔따구는 상대적으로 유속이 작은 곳에 서식하며, 이차류에 의하여 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 깔따구의 서식처 조사결과는 아래의 그림과 같다(그림 11, 12)

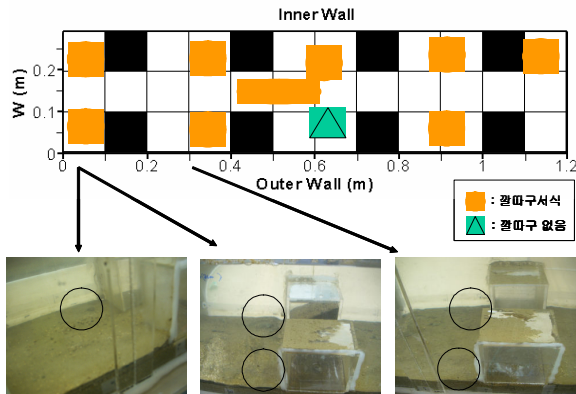


그림 11. 인공순환수로 깔따구 분포 1

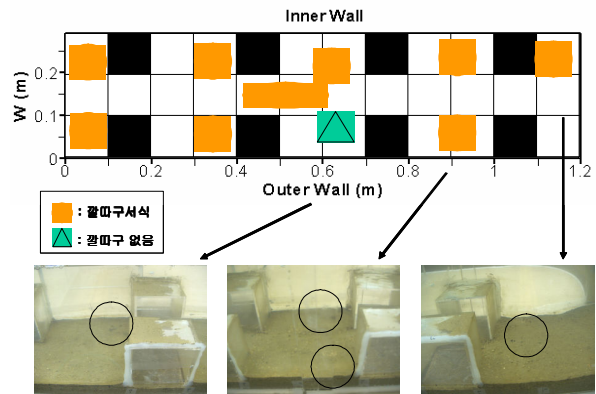


그림 12. 인공순환수로 깔따구 분포 2

5. 결 론

인공순환수로에서 흐름특성을 분석하고 저서성 대형무척추동물인 깔따구의 분포 경향을 조사하였다. 유속 측정은 많은 제약이 있으므로 FLUENT코드를 이용하여 난류계산을 수행하였다. 실험 및 유동장에 대한 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 구조물의 상류와 하류 근처에서 깔따구들이 서식하였으며 유속이 빠르고 전단응력이 높게 나타나는 부근에는 유기물이 퇴적하지 않았으며 이로 인해 깔따구들도 서식하지 않았다. 또한, 이차류 영향으로 인해 유속이 빠른 부근에도 유기물이 퇴적하였으며, 깔따구들도 서식하였다. 유기물의 퇴적 및 깔따구들의 서식은 주로 흐름 방향 유속 분포에 영향을 받으며, 이차류도 이것들의 이동에 중요한 역할을 하고 있다. 그리고 반구구조물과 같은 서식처가 깔따구들의 정착에 좋은 환경을 제공하는 것을 확인하였다.

향후 생태적 기능을 고려하여 다양한 수리학적 조건 하에서 난류계산 및 유속측정을 통한 연구가 필요하다. 이와 같은 연구는 친환경적으로 하천을 복원시키는데 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : R01-2001-000-00087-0) “생태-수리-전산학의 다학제 접근을 통한 오염하천의 통합적 친생태형 수질관리 모델개발”에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다. 실험에 도움을 주신 부산대학교 전태수 교수님과 송미영씨에게 감사드립니다.

참고문헌

- 한국건설기술연구원 (1998). 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 환경부.
- Armitage, P.D., Cranston, P.S., and Pinder, L.C.V. (1995). *The Chironomidae*. Chapman and Hall.
- Demuren, A.O., and Rodi, W. (1986). “Calculation of flow and pollutant dispersion in meandering channels.” *Journal of Fluid Mechanics.*, Vol. 172, pp. 63-92.
- Fluent Incorporated (1998) *FLUENT User Guide*. Centerra Resources Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766.
- Naiman, R.J., and Bilby, R.E. (1998). *River ecology and management*. Springer.
- Statzner, B., Gore, J. A., and Resh, V. H. (1988). “Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications”. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 7(4), p.307-360.