

저서성 대형무척추동물 군집의 피해 및 회복 규명을 위한 수리실험 계획

Experimental Design for Damage and Recovery of Benthic Macroinvertebrate Communities

정순혁*, 김진홍**

Soon Hyuk Jeong, Jin Hong Kim

요 지

최근 나날이 강도를 더해가는 이상기후로 인하여 집중 호우의 빈발과 홍수피해가 급증함으로써 하천생태계의 서식처가 파괴되고 저서성 대형무척추동물과 같은 생태구성원의 일시적인 소멸에 의해 하천생태계의 유지가 어려워지고 있다.

본 연구에서는 흐름의 소류력에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 피해 및 회복 양상을 규명하기 위한 수리실험을 계획하였다. 실험수로는 400(W)×400(H)×12000(L)mm의 직사각형 단면이며, 철제틀과 투명유리로 되어있다. 실험수로는 유기물질을 제거한 cobble과 pebble로 하상을 구성하였으며, 다양한 유속의 변화에 따른 하상구성 파괴를 막기 위해 투명 플라스틱망을 이용하였다. 또한 빛에 의한 이상행동을 고려하여 직접적인 햇빛을 차단하고 자연하천과 유사한 실험 조건을 위해 인근 안성천의 원수를 이용하였다.

실험 대상종은 붙는 무리의 대표적인 동물인 두점하루살이와, 헤엄치는 무리의 두갈래하루살이를 이용하였고, 서식무리별 선호유속 및 한계유속과 피해유속을 규명하고자 계획하였다.

이와 같은 실험수로 조성의 실험 기법은 향후 인공하천 및 복원하천 조성 시 서식처 개선에 대한 생태학적 복원자료로 활용할 수 있다.

핵심용어: 저서성 대형무척추동물, 행동생태학, 실험하천, 군집회복

1. 서 론

우리나라의 하천은 공해와 점오염원 및 비점오염원을 포함한 인위적인 수질오염 및 집중 호우와 홍수에 의한 수량변화 등 자연적인 교란에 노출되어 있다. 나날이 강도를 더해가는 오염원 유입과 이상 기후에 의해 하천 생태서식처 공간이 파괴되어 가고 있는 것이다. 특히, 강우와 연관되어진 하상의 전단유속(shear velocity)과 하상불안정(substrate instability)의 증가, 하상표면(substrate surface)의 유실은 저서성 대형무척추동물(benthic macroinvertebrate)에게 불리한 서식환경을 제공한다(Boulton et al., 1992a; Cobb et al., 1992; Lancaster and Hildrew, 1993; Scarsbrooks and Townsend, 1993; Flexker and Feifarek, 1994; Robertson et al., 1995).

이러한 자연적인 교란에 대한 회복(recovery)에 대해 군집구조와 기능이 교란 전의 상태로 돌아가는 것으로 정의하였으며(Wallace, 1990), 회복되는 속도는 은닉처에 생존한 개체의 분산(Brooks and Boulton, 1991), 하류로의 표류(Williams and Hynes, 1976)와 성충의 산란에 의해(Gray and Fisher, 1981) 영향을 받는 것으로 보고되었다.

* 정회원 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정 • E-mail: huck79@hanmail.net

** 정회원 중앙대학교 토목공학과 교수 • E-mail: jinhkim@cau.ac.kr

실험수로의 조성은 유속의 변화를 통하여 인위적으로 교란을 줌으로써 저서성 대형무척추동물의 흐름의 교란에 따른 행동 및 회복양상을 규명하고자 함이다. 저서성 대형무척추동물의 양상(거동)을 규명하기 위해 선호 유속, 경계 유속, 한계 유속 및 피해 유속 등을 규명할 계획이다. 또한, 흐름의 유속, 수심, Froude 수, Reynolds 수, 유량, 소류력 및 난류 흐름(와류강도)에 따른 교란 및 회복을 정량적으로 검토한다.

2. 시설의 개요 및 실험 조건

2.1 개수로 실험장치의 모형도 및 제원

개수로는 가변경사 직사각형 단면의 실험 장치로서 길이가 12m, 수로 폭이 0.4m, 그리고 수로 높이가 0.4m이다. 총 10m의 길이가 양쪽이 모두 두께 10mm의 유리로 되어 있는 10개의 채널로 되어있다. 여기에는 하상경사 가변조절 장치, 유량조절 장치가 장착되어 있다. 펌프의 용량은 2,800Liter/min이고 최대 변화 경사는 1/30이다.

개수로 장치는 총 10개의 채널로 이루어져 있다. 실험 주구간은 아래 그림과 같이 4-8번 채널로써 총 5개이고, 이들 구간에는 저서성 대형무척추동물의 집중적인 서식처 조성을 계획하였다. 1-3번 채널은 공급수의 흐름이 안정되기 위한 천이구간으로 계획하였다. 즉, 빠른 유속에 따른 흐름의 안정화를 위한 일정 구간이 필요하기 때문이다. 수로의 입구부에는 정류판을 설치하여 초기 흐름을 안정화시키는 역할을 계획하였다.

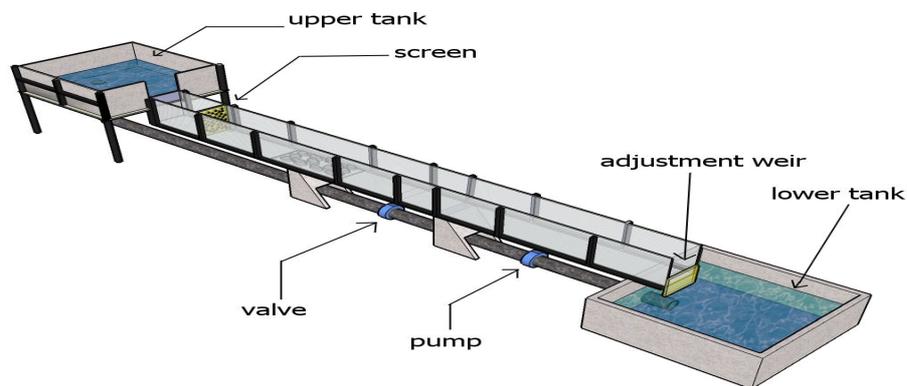


그림 1. 개수로 실험장치 모형도

2.2 실험대상 조건

저서성 대형무척추동물은 담수의 대형 생물종의 95%를 차지하는 높은 생물다양성을 나타내며, 또한 저차 소비자로서 영양단계의 중추적인 생물이다. 뿐만 아니라 이동이 적어 정량채집이 용이하며, 하천의 수중환경에 따라 특정종의 변화와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 하천생태계의 수질과 환경변화를 모니터링 하는 지표생물로 널리 이용된다(원두희 등, 2005). 미소서식처에서 수서곤충이 서식하는 형태에 따라 기는 무리(sprawlers), 붙는 무리(clingers), 굴파는 무리(burrowers), 헤엄치는 무리(swimmers)로 분류할 수 있다(Allan, 1995).

실험 대상하천인 가평천에서는 붙는 무리의 비율이 가장 높게 나타나고, 헤엄치는 무리가 그 다음으로 많은 서식상황을 형성하였다. 따라서 실험에는 붙는 무리의 대표적인 동물인 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*), 헤엄치는 무리의 두갈래하루살이(*Paraleptophlebia cocolata*)를 이용하였다(그림 2 참고). 그러나 대상하천인 가평천에서 이 두 동물을 채집하여 실험을 하기에는 실험하천과 거리상

으로 차이가 있기 때문에 실험하천이 조성되어 있는 안성천 근처에서 채집을 하여 실험을 하였다. 또한, 자연하천과 유사한 실험 조건을 위해 인근 안성천의 원수를 이용하였다. 저서성 대형무척추동물은 채집을 한 이후 수리실험을 하기 전에 일정기간 적응토록 계획하였다. 이는 갑자기 변화한 서식처 때문에 채집된 동물이 죽는 것을 방지하기 위함이다.



(a) *Ecdyonurus kibunensis*



(b) *Paraleptophlebia cocolata*

그림 2. 실험 대상 저서성 대형무척추동물

2.3 서식처 구성방안

실험 장치의 수로 내에 서식처를 구성함에 있어 하상의 구성은 아주 중요한 요소이다. 하상재료의 입경에 따른 무리별 서식영역의 차이는 하상재료가 유속을 감소시키면서 저서성 대형무척추동물의 먹이가 되는 유기물을 잡아둘 수 있기 때문이다(Rabeni and Minshall, 1977). 따라서 다양한 하상재료를 이용하여 입도분포를 좋게 하여 자연하천과 같은 조건을 구성해야 하지만 개수로 실험장치의 폭이 0.4m로 제한이 되어있고, 다양한 유속의 변화를 주어야 하기 때문에 하상구성에 제한을 두었다.

하상은 집중호우시의 유속을 재현해야 하기 때문에 sand, gravel과 같은 하상 재료의 입경이 작은 것은 제외시키고 cobble, pebble로만 구성하였다. 아래 표는 하상 재료별 입경을 나타낸다.

표 1. 하상 재료의 크기에 따른 분류

하상 재료의 구분	Particle Size
Sand	2mm이하
Gravel	2mm이상 ~ 4mm이하
Pebble	4mm이상 ~ 64mm이하
Cobble	64mm이상 ~ 256mm이하

또한, 하상에 붙어있는 유기물질에 의한 이상행동을 막기 위해 유기물질을 제거하였으며, 빠른 유속에 하상의 구성이 파괴될 것을 방지하고자 투명 플라스틱그물망을 통하여 하상을 고정시켰다.

저서성 대형무척추동물은 빛에 민감한 반응을 보이기 때문에 실험수로 전체를 차광막을 설치하여 직접적인 햇빛을 차단하였다. (그림 3 참고)

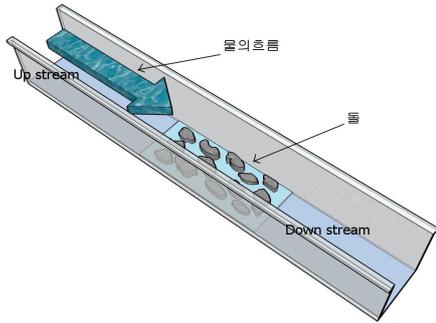


그림 3. 하상의 구성 및 실험하천의 햇볕 차단

2.4 실험 방안

실험은 저서성 대형무척추동물의 생활주기 및 채집의 용이성을 고려하여, 날씨가 따뜻해지는 4월 말을 시점으로 하였다. 또한 저서성 대형무척추동물의 크기가 시기적으로 다름에 따라 유속에 대한 적응성이 다르기 때문에 이를 고려하여 크기가 커지는 5월 초를 기준으로 하였다.

유속에 따른 행동학적 움직임에 정확한 구분을 짓기 위해 선호유속, 경계유속, 한계유속 및 피해유속이라는 용어를 정의하기로 하였다. 선호유속이란 이상행동을 보이지 않고 먹이를 찾는 행동 및 자연스러운 서식활동을 하고 있는 상태이다. 경계유속이란 유속의 변화에 따라 행동의 범위가 점점 작아지기 시작하며 움직임이 적어지는 상태를 말한다. 한계유속이란 행동학적으로 하상바닥 쪽으로 이동하기 시작하며 움직임이 거의 없고 평소 행동과는 다른 상태를 말한다. 피해유속은 이러한 유속에 따른 행동을 통하여 교란의 정도를 파악할 수 있고 각 서식무리별 군집의 피해가 시작되는 유속을 알 수 있다.

실험에 필요한 촬영에는 총 3대의 촬영기기를 계획하였다. 저서성 대형무척추동물의 모습을 찍을 수 있는 고사양의 디지털 카메라 두 대와 연속적인 행동과정을 찍을 수 있는 디지털 캠코더가 필요하다. 디지털 카메라는 저서성 대형무척추동물을 확대해서 찍을 수 있는 macrolens를 사용한다. 촬영위치는 각각의 채널을 수평으로 바라보면서 찍는 것과, 수직으로 위에서 바라보면서 찍는 것 두 가지로 나눈다. 수평으로 바라보는 것은 삼각대를 이용하여 찍고, 수직으로 위에서 찍는 것은 카메라를 고정하는 장치를 만들어서 찍을 수 있도록 계획하였다.

실험 시 서식처 조성 구간의 유속의 측정은 소규모 실험실용 유속계를 이용하였다. 수심을 최대 0.4m로 하고, 이를 하상으로부터 20%, 40%, 60%, 80%인 구간으로 나누어 측정하였다. 이는 저서성 대형무척추동물이 위치하고 있는 수심에 따라 유속이 다르기 때문에 정확한 선호유속 및 한계유속을 규명하기 위함이다. 유속은 x, y, z 방향을 실시간 측정하여 난류의 전단응력 및 소류력에 따른 행동상태를 규명하기로 하였다.

난류의 전단응력은, 관측된 순간응력 \tilde{u}_i 은 평균유속 U_i 와 섭동유속 u_i 로 구분된다.

$$\tilde{u}_i = U_i + u_i \quad (1)$$

그리고, Reynolds 응력은 다음과 같다.

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = -\frac{\rho}{T} \sum u_i(t) u_j(t) \Delta t \quad (2)$$

상기 식을 이용하여 난류의 전단응력을 계산하고, 이를 저서생물의 거동과 관련지을 예정이다.

3. 결론

본 연구에서는 홍수에 따른 저서성 대형무척추동물의 군집의 피해 및 회복 양상을 규명하고자 수리실험을 계획하였다. 실험수로는 대상 하천인 가평천과 비슷한 서식처 환경을 구성함과 동시에 유속의 변화를 통하여 저서성 대형무척추동물의 서식무리별 선호유속 및 한계유속과 피해유속을 규명하고자 함이다. 개수로 실험장치의 하상 구성은 cobble과 pebble로 구성하였고, 빛에 의한 이상행동 때문에 직접적인 햇빛을 차단하였다. 또한, 저서성 대형무척추동물의 크기가 작기 때문에 쉬운 관찰을 위하여 cell을 구성하였다. 실험에 필요한 촬영에는 저서성 대형무척추동물의 모습을 찍을 수 있는 고사양의 디지털 카메라 두 대와 연속적인 행동과정을 찍을 수 있는 디지털 캠코더를 준비하였다. 유속은 x, y, z 방향을 실시간 측정하여 난류의 전단응력 및 소류력에 따른 행동 생태를 규명하기로 하였다.

이러한 실험하천의 조성의 실험 결과는 향후 인공하천 및 복원하천 조성 시 서식처 개선에 대한 생태학적 복원자료로 활용할 수 있다.

감 사 의 글

본 연구는 과학기술부가 출연한 특정기초연구사업(R0120070002044202007)인 ‘집중호우에 따른 하천의 저서성 대형무척추동물 군집의 피해 및 회복 기작에 관한 연구’의 연구 성과입니다.

참 고 문 헌

1. 배연재, 원두희, 황득휘, 진영현, 황정미, 2003, 경기도 가평천의 하순에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군. **Korean J. Limnol.** 제36호, pp. 21-28.
2. 윤일병, 노태호, 이선희, 1990, 가평천 수계의 수서곤충 군집에 관한 연구. **한국곤충학회지.** 제20집 제1호, pp. 41-51.
3. 원두희, 권순직, 전영철. 2005, 한국의 수서곤충. 생태조사단.
4. Boulton, A.J. , C.G. Peterson, N.B. Grimm and S.G. Fisher. 1992, Stability of an aquatic macroinvertebrate community in a multiyear hydrologic disturbance regime. *Ecology.* Vol.73, pp. 2192-2207
5. Cobb, G.G., T.D. Galloway and J.F. Flannagan. 1992, Effect of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol.49, pp.1788-1795
6. Lancaster, J. and A.G. Hildrew. 1993. Characterizing instream flow refugia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 50(in press)
7. J. David Allan, 1995, *Stream Ecology structure and function of running water.* Kluwer Academic Publishers.
8. Rabeni C. F & G. W Minshall, 1977, Factors affecting microdistribution of stream benthic insects, *Oikos* 19: 33-43