

도심하천의 생물 대발생 원인 및 관리대책에 관한 생태학적 고찰¹⁾

박정호²⁾
(주) 케이에코 대표

I. 도심하천의 생태적 단절성

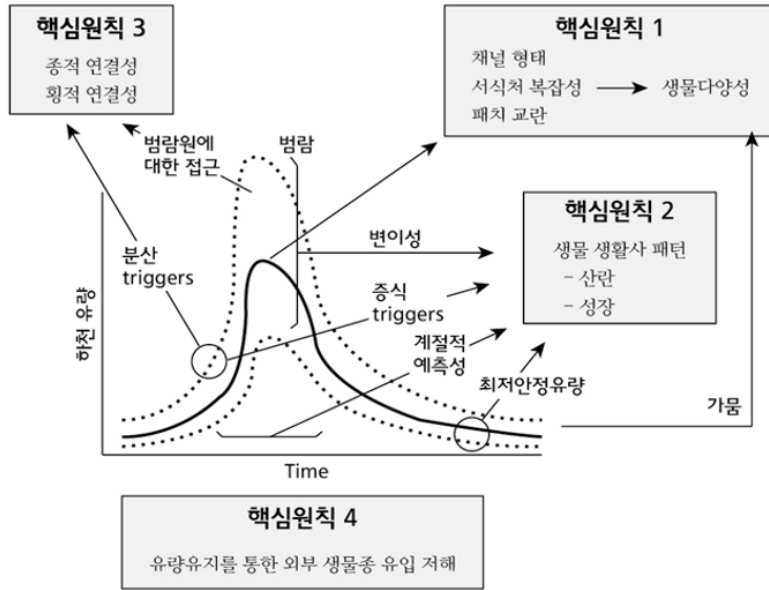
하천 생태계에 있어 종횡적 연결성은 하천의 생산성과 생물다양성을 유지하는 주요한 요소로 알려져 있다. 특히 흐름의 단절은 하천 내 생물상의 변화와 함께 생물 군집의 기능적 측면을 변화시키기 때문에 하천의 종적 연속성은 하천 생물의 이동 및 물질순환에 있어 매우 중요하게 작용한다. 반면 우리나라 많은 도심하천 유역은 최근 하천 이용률 증가에 따른 전반적 환경 변화 및 각종 기후변화 등으로 인한 가뭄과 홍수로 하천의 물리적 구조 변화가 발생하고, 결국 생물 서식처 구조의 변화에 따른 각종 이상현상이 빈번하게 발생되고 있다. 즉 기후온난화의 가속 및 도시화 불투수층의 증가, 각종 빛 공해의 증가 등에 따라 그간 나타나지 않았던 수생태계 이상현상이 점차 확대되고 있는 실정이며, 특히 도심하천에서의 대발생 생물(하루살이류, 깔따구류, 실지렁이류 등) 과밀 발생은 수질에 대한 불안감 증폭과 함께 수변을 이용하는 시민들에게는 귀찮음을 발생시키는 심각한 환경문제로 인식되고 있다.

II. 도심하천의 대발생 생물군 주요 원인 및 특성

최근 지구온난화로 인한 기후변화는 우리나라뿐만 아니라 전 세계에 엄청난 영향을 미치고 있는 실정이다. 지난 2018년 유럽을 비롯한 일부 나라들은 폭염과 추위 등 여러 가지 재해가 발생하였으

1) Concerning the Causes and Management of Large-Scale Biological Occurrences in Urban Rivers Ecological Study

2) PARK, Jung ho, K-ECO, E-mail: jhpark@keco.co.kr

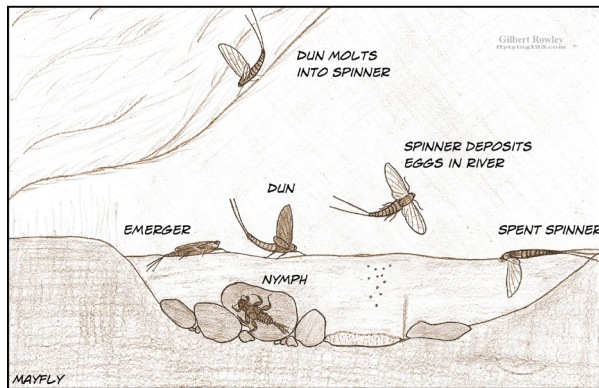
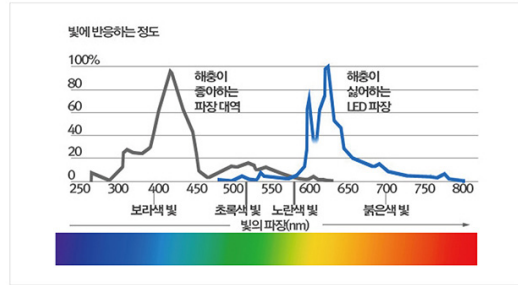
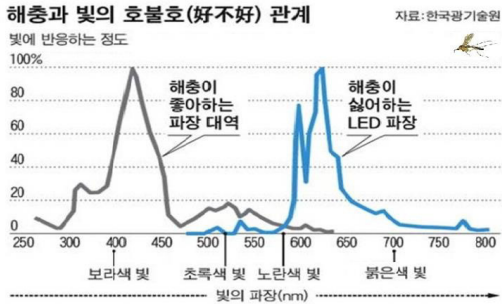


〈그림 1〉 수생생물 다양성과 자연적 흐름의 관계
(Bunn and Atrhington, 2002, Modified)

며, 더불어 기후변화에 취약한 멸종위기종의 개체수 감소 및 일부 생물군의 대발생 등 전례가 없었던 생물재해가 매우 심각한 수준이다. 이는 가속화되어 가고 있는 산업화 및 도시화의 결과로서, 각 지역에서 나타나는 특이적 생태현상을 장기적으로 정밀모니터링하고 이에 대한 관리방안을 모색하는 것이 건강하고 행복한 지속가능발전에 매우 중요할 것으로 판단된다.

일반적으로 곤충류 대부분은 UV(λ max ~ 350 nm), 청색(λ max ~ 440 nm) 및 녹색(λ max ~ 530 nm)과 같은 세 종류의 광 수용체를 가지고 있다(Briscoe and Chittka, 2001). 일부 종은 dichromats - 2형색 색각자(UV + 녹색)이고 다른 종은 적색 빛에 민감하지만 대다수는 자외선, 청색 및 녹색 빛에 민감하다. 특히 많은 수서곤충들은 성충기에 주광성, 수평 편광에 대한 선호성을 가지고 있다. 특히 주광성과 편광축의 시너지 효과는 빛이 물체 근처의 도로 표면과 상호작용을 할 때 상당히 크다. 그 중 하루살이의 경우 주광성, 수평편광으로 인해 실수로 도로 표면에 알을 낳게 되는 사례도 많은 것으로 알려져 있다(Szaz et al. 2015).

국내 도심하천에서의 대발생은 주로 하루살이류 및 깔따구류에 국한되어 있으나 최근에는 날도래 종류도 확인되고 있는 실정이다(박, 2019). 이러한 대발생의 가장 큰 원인은 거시적 관점에서는 전 지구적 기후변화를 들 수 있으나, 미시적으로는 도시화에 따른 급격한 환경변화를 꼽을 수 있다. 최



〈그림 2〉 곤충과 빛의 유인관계(한국광기술원) 및 하루살이 생활사
(출처: <http://flytying123.com/entomology/mayfly-life-stages/mayfly-life-cycle/>)

근 청정수역의 대표라고 부르던 강원도 내 많은 하천들 역시 물리적 서식처의 단절, 각종 수질오염 등이 가중되고 있어 과거에 관찰되지 않았던 특이 생물군의 대발생이 확인되고 있는 실정이다. 이러한 도심하천은 대부분 다수의 보와 징검다리 등 각종 횡적 인공구조물 등으로 인해 하천의 흐름이 크게 변형되고 단절된 상태이다. 이러한 횡적 구조물은 전반적으로 물흐름의 속도를 감소시켜 하상은 주로 모래 등으로 형성하게 되며 이와 함께 유기물의 퇴적은 오랜 기간 지속하게 된다. 결국 이렇게 변형된 특정 서식환경은 일부 하루살이류와 깔따구류 등이 선호하는 2차적 결과물이기도 하다. 또한 하천의 좌안 및 우안 즉 하안부에 발달해야 할 자연적 수변식생대가 매우 빈약하게 발달하여 상위 포식자들의 서식처가 축소된 것도 하나의 원인으로 들 수 있다.

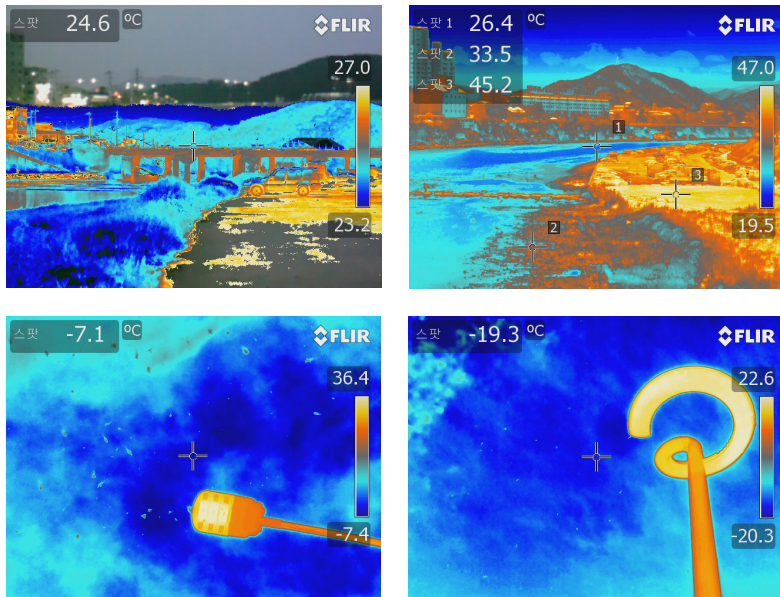
더불어 각종 시설물(주차장 등)이 위치한 불투수층 콘크리트는 하천의 흐름 및 식물의 활착을 저해시킬 뿐만 아니라 인근 지역의 기온을 지속적으로 매우 높게 유지시킨다. 여름철 하천변의 온도분포 특성을 살펴보았을 때 하천 수면부분, 수변 식생부분, 하천변 콘크리트 구조물 가운데 수변부 제방인



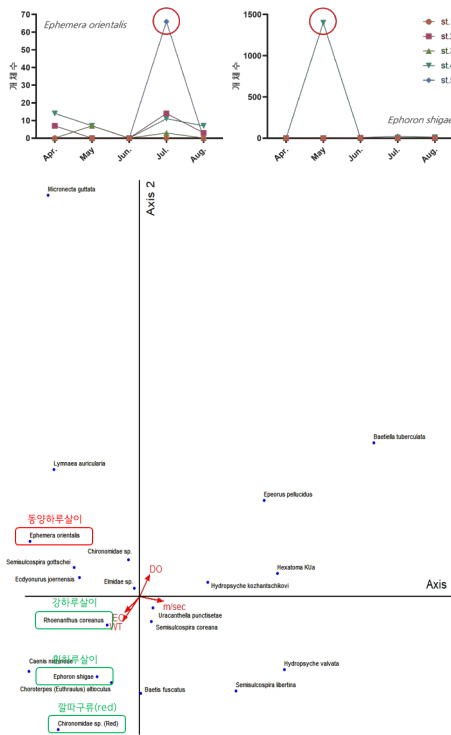
〈그림 3〉 도심하천 내 횡적 구조물에 의한 물리적 서식처의 변형 및 단절(박, 2019)

콘크리트 구조물의 온도가 가장 높게 나타나는 것이 일반적이다. 이는 동일한 공간적 영역임에도 불구하고 특정 지역의 온도가 상대적으로 매우 큰 차이의 온도대가 형성되는 것도 특정 생물군이 유도되는 주요한 요소로 볼 수 있다. 이로 인하여 한 여름에는 전체의 대기적 조건이 동일하기 때문에 상대적으로 보다 강렬하고 뜨거운 광원(가로등)으로 많은 곤충들이 쉽게 유인되는 것으로 판단된다. 즉 하천의 이용증가에 따른 각종 보도교와 주변 도로에 설치된 LED 가로등은 많은 수의 하루살이류와 깔따구류가 지속적으로 유도되는 주요한 원인이라고 판단된다(박, 2019).

특히 하루살이류의 대발생이 많았던 강원도 일부 도심하천 유역에서는 동양하루살이와 흰하루살이 등이 강우전후 여름과 같은 특정시기, 정체수역인 특정지점에서 서로 교번하며 발생하는 것으로 나타났다. 또한 8월에 하루살이류의 성충이 유인되는 주시간대는 오후 8~9시 사이였음을 확인된 바 있다(박, 2019). 반면 세갈래하루살이류와 개똥하루살이류는 상대적으로 이른 시기에 우점을 취하는 것으로 확인되었다. 또한 정준상관분석을 실시한 결과, 동양하루살이는 유속과 음의 상관관계로 확인되어 체류시간이 길수록 대량 발생하는 것으로 판단된다. 그 외 강하루살이, 흰하루살이, 붉은색 깔따구류는 수온, 전기전도도와 양의 상관관계로 확인되어 이를 관리하기 위해서는 하천 수질에 대한 전반적 오염부하량 저감이 필요할 것으로 판단된다.



〈그림 4〉 도심하천 수변부 및 가로등 조명별 온도 특성(박, 2019)



〈그림 5〉 시기별, 지점별 대발생 생물군의 변화 특성 및 환경요인 상관관계(박, 2019)

Ⅲ. 국내외 주요 발생 및 방제 사례

1. 경기도 남양주시

2019년 남양주시는 천연추출물을 이용하여 삼패한강공원 드론방역을 실시했다. 동양하루살이 주 서식지가 상수원보호구역에 위치하고 있어 살충방역이 불가하고 방역을 실시하는데 어려움 있었으나, 피부로 호흡하는 동양하루살이의 습성을 이용하여 유칼립투스, 시나몬 등을 이용한 천연추출물을 사용하여 방역을 실시하였다. 천연추출물이 동양하루살이의 피부에 접촉·흡수되면 3분 안에 경련을 일으키게 되어 방제에 효과를 보였을 뿐만 아니라, 화학물질이 살포되지 않아 상수원보호구역에도 사용 가능하며, 드론을 이용하여 차량진입이 어려운 강변도 방역효과를 볼 수 있을 것으로 예상하였다. 드론방역 이외에도 동양하루살이 특별 방역반을 구성하여 일일 새벽 연무방역을 실시하고 있으며, 포충기 및 포집기 설치·관리, 토종어종방류(동자개), 끈끈이 보드판 등 다양한 친환경 유충구제 사업 등을 진행하였다.

2. 경기도 양평군

동양하루살이 유충이 서식하기 좋은 지역에 1일 2회 이상 물대포를 집중 살포하고 가로등 부근 상가 밀집지역과 취약지인 풀숲 등에 대하여는 연무 및 분무소독을 실시하였으며 해충 유인 퇴치기를 70여 대를 가동하고 모기 등 유해해충 예방을 위해 기피제를 각 읍면 보건소, 지소, 진료소 등에 비



경기도 남양주시(드론방역)



경기도 양평군(물대포 살포)

〈그림 6〉 대발생 생물 방제 사례 1

(출처: <http://www.sijung.co.kr/news/articleView.html?idxno=231050>
<https://www.kgdm.co.kr/news/articleView.html?idxno=640471>)

치하고 주민들에게 배부하였다. 밝은 빛을 좋아하는 습성을 고려해 각 가정에 방충망을 설치하고, 상가의 불빛을 감소시킴과 동시에 블라인드 설치로 유인을 최대한 방지할 수 있도록 하였으며, 풀숲 등 야외 활동을 가급적 자제하되 불가피할 경우 기피제를 바르고 활동할 것 등의 안내를 하는 등 다양한 예방법을 권고하였다.

3. 경기도 하남시

2019년 하남시 보건소는 동양하루살이 출몰 지역에 205대의 해충유인살충기를 설치·운영해 왔다. 최근 50대를 추가 설치해 가동 중에 있으며, 한강변 해충유인살충기에는 관제시스템을 설치, 장비의 작동 상황을 실시간으로 확인하고 있다. 출몰 시 대처법으로는 첫째 가로등, 소인도 등 밝은 야간조명 밝기를 최소화하고 백색등을 황색등으로 교체하여 조명의 밝기를 최소화해 유인되지 않도록 한다. 창문, 유리 등에 붙어있을 경우에는 분무기에 물을 담아 뿌리면 쉽게 떼어낼 수 있고, 셋째 동양하루살이가 실내로 들어오지 못하게 방충망을 설치하고 출입문의 틈새를 점검하고 있다.

4. 경상북도 경주시

2014년 경상북도 경주시의 서천둔치에는 깔다구 및 동양하루살이가 다량 발생하는 현상이 나타났다. 깔다구 및 동양하루살이는 일몰시부터 오후 9시 이전까지 활발히 활동하면서 늦은 시간에는 사라지는 것이 특징으로, 친환경 방역약품을 사용해 분무소독으로 집중방역을 실시한 바 있다.



경기도 하남시 물리적 유인방제



경기도 남양주시(끈끈이 보드판 방제)

〈그림 7〉 대발생 생물 방제 사례 2

(출처: <http://m.hanaronews.kr/news/articleView.html?idxno=49740>)

<https://m.post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=31838987&memberNo=12096182&searchKeyword=%ED%95%98%EB%A3%A8%EC%82%B4%EC%9D%B4>)

5. 강원도 원주시

2016년 원주시 보건소에서 자체 제작한 깔따구 방제용 약품투입기를 문제가 되었던 지역 맨홀 뚜껑에 부착해 깔따구 대량발생을 막을 수 있었다. 하수관 상류지역 맨홀 뚜껑에 20ℓ 크기의 플라스틱 양동이와 수액세트를 결합하여 만든 약품투입기를 설치해 약품을 투입했다. 1주일에 2회 2,500ppm 정도로 희석한 방역용 살충제(의약외품)를 초당 1~2방울 정도로 떨어트려 흘러보내는 방식을 사용했다. 보건소에서 고안한 약품투입기는 맨홀뚜껑 아랫부분에 설치하는 방식이라 특별한 공간을 차지하거나 통행을 방해하지 않는다. 약품소진 시 맨홀뚜껑에 있는 구멍을 통해 자바라 펌프를 이용하여 약품을 분주하면 되므로 작업방식도 간단한 편이다.

6. 전라남도 목포시

2018년 목포시는 친환경 방역 퇴치기인 포충기를 방역 취약지에 추가 설치해 모기 방제를 실시하였다. 포충기는 말라리아, 지카바이러스 등 모기매개 감염병을 예방하기 위한 해충 방제기기로 화학 약품을 사용하지 않고 친환경적으로 해충을 퇴치할 수 있다. 설치된 포충기는 해충이 선호하는 LED 램프로 모기 등을 유인·포획한 후 분쇄하는 방법으로 방제하고 있다. 시는 지난 2009년부터 입암천, 삼향천, 주요 공원 등에 포충기 180여대를 설치했으며 올해는 주민 이용이 많은 지역에 15대를 추가로 설치해 해충의 개체수가 감소할 것으로 예상하고 있다.



강원도 원주시 깔따구 방제



전라남도 목포시 LED 유인

〈그림 8〉 대발생 생물 방제 사례 3

(출처: <http://www.gwnews.org/news/articleView.html?idxno=76777>
<https://www.wikitree.co.kr/articles/345119>)

7. 미국 오하이오주 카토바

죽은 하루살이떼가 미국의 한 마을을 뒤덮은 충격적인 사진이 공개되었고, 공개된 사진 속 차량들은 흙이나 나뭇잎처럼 보이는 갈색 물질에 뒤덮여 있다. 이 물질의 정체는 놀랍게도 하루살이의 사체인 것으로 드러났다. 해당 마을은 북아메리카 이리호 호숫가에 자리잡고 있으며 죽은 하루살이떼는 이리호의 물에서 나고 자란 것으로 보인다.

8. 오스트리아 다뉴브 강

다뉴브 강 가장자리 근처 가까운 램프에는 수천 마리의 하루살이들이 유인되는 반면 강에서 더 멀리 떨어진 내륙에 있는 램프에는 흰하루살이류의 일종인 *Ephoron virgo*가 수십마리 단위로 떼를 지어 몰려든 바 있다.

IV. 생태적 관리방안

1. 가로등 특정광원 설치 운영

빛에 유인되는 특이 곤충군을 고려한 광원으로 교체함으로써 대발생 주요 생물군인 하루살이류의 유인 정도를 낮출 수 있을 것으로 예상된다(특정 방향이 고려된 편광필터 장착에 따라 유인효과가 대



미국 오하이오주 하루살이 대발생



오스트리아 다뉴브 강 하루살이 대발생

〈그림 9〉 국외 하루살이 대발생(미국 및 오스트리아)

(출처: <https://www.fnnews.com/news/201906282207436529>

<https://nownews.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20130826601004>)

폭 감소될 것으로 예상). 특히 최근 주변 밝기에 따라 광량이 자동 조절되는 광센서 기능과 범좌 감시 기능 등이 포함된 스마트 가로등(중앙통제방식 IOT서비스 적용)의 도입이 많은 도시에서 이루어지고 있다. 반면 곤충을 비롯하여 다양한 야생동물(조류 등)들의 생태특성을 고려하는 것은 아직도 미약하다.

2. 집중 유인등 설치 운영

대발생 예상 특정지점(시민들의 이용도가 낮은 하천중앙 교량 하부 등)에 집중 유인등의 설치 및 운영을 통하여 대발생 생물군의 도심지 민가지역 이동확산을 감소시킬 수 있을 것으로 보인다. 즉 고광도, 고효율의 LED 유인등을 특정 시간대에만 집중 운영함으로써 우화 직후의 하루살이가 다른 곳으로 확산되는 것을 방지할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 분무시설(쿨링포그 등) 설치 운영

일반적으로 강우 등에 의한 물리적 현상은 각종 곤충류의 서식을 적극 저해한다. 이에 각종 분무시설을 통한 인공살수는 2차 오염이 없는 “생태적 관리방안”으로서 매우 유용한 방법이다. 그러나 기존 식생대에 분무 시 목표 곤충종과 함께 기타 포식자 곤충들도 함께 피해를 입을 수 있기에 사전에 면밀한 생태조사가 시행되어야 한다. 대부분의 포식자는 상대적으로 광원에 직접 유인되지 않는 경우가 많기에 집중 유인등에 의한 대발생 생물(하루살이류 등)을 적극 유인한 후 인공 분무를 실시하면 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 시민 이용이 많은 도로변의 가로등 하부에 유인등과 분무시설을 동시 운영한다면 사람에게 미치는 귀찮음을 현저히 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 빛 가림막 설치 운영

야간 인공조명은 생물의 행동패턴을 변화시키고 특히 많은 주광성 곤충류를 광원 근처로 유인한다. 이에 가로등 주변에 그늘막 형태의 가림막 또는 망을 설치하여 일정 면적에만 빛이 갈 수 있도록 조절할 필요가 있다. 또는 광원이 위치한 기둥 외부에 하천 방향으로 수목을 식재하게 되면 유인빛이 상대적으로 하천에서는 감소되어 보이므로 빛에 유인되는 대발생 생물군의 유도 정도를 충분히 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 더불어 신규 조명은 도로 하부에 가깝게 설치하거나 간접조명의 방식으로 필요한 도로면을 비추게 한다면, 하천에서는 광원의 영향이 덜 작용하기 때문에 상대적으로 유인이 줄어들 것으로 예상된다.



이천시 쿨링포그



창원시 쿨링포그



거제시 쿨링포그



서울시 터널 분수

〈그림 10〉 국내 설치 운영되고 있는 쿨링포그 및 터널분수

(출처: <http://www.kocus.com/news/articleView.html?idxno=404766>

<http://www.gndomin.com/news/articleView.html?idxno=317537>

<http://www.newseyegeoje.com/news/articleView.html?idxno=15113>

<https://m.khan.co.kr/national/national-general/article/200507216012792>)

V. 마무리

최근 가속화되고 있는 도심하천 내 생물 대발생은 많은 지자체에서도 다양한 노력을 기울이고 있는 것으로 알고 있다. 하지만 주요 서식지인 수생태계의 건강성 개선이나 도시화로 인한 각종 빛 공해 감소 등 보다 근본적 원인에 따른 해결방안 모색은 미흡한 실정이다. 더불어 이를 실천하기 위한 친환경적 “생태적 관리(Ecological management)”는 더욱 갈 길이 멀다. 하지만 이는 정책 결정자 뿐만 아니라 일반 시민들에게도 생소한 개념이다. 따라서 자연의 소중함과 도시의 중요성을 동시에 배려할 수 있는 시민의식 함양을 위한 다양한 생태환경 프로그램의 운영 및 홍보 등도 적극적으로 병

행될 필요가 있다. 이를 통하여 우리는 하나뿐인 지구에서 모든 생물들이 함께 건강하고 행복한 삶을 살아가기 위한 공존의 지혜를 모아야 한다.

“생명의 다양성 보전”과 “기술의 적극적 발달”은 서로의 갈 길이 다른 것이 아니라 함께 나아가야 할 새로운 인류의 지평이다.

참고문헌

- 박정호, 이준상, 심하식, 이황구, 황길순, 김동섭, 허우명. 2013. 생태복원에 필요한 생물서식환경 도감. 저서성 대형무척추동물(편형 · 유선형 · 연체 · 환형동물편). 수생태복원사업단.
- 박정호, 이준상, 심하식, 이황구, 황길순, 김동섭, 허우명. 2013. 생태복원에 필요한 생물서식환경 도감. 저서성 대형무척추동물(절지동물편). 수생태복원사업단.
- 박정호, 2019. 홍천강 대발생생물 발생원인 분석 및 관리대책수립 연구용역. 홍천군.
- 박정호, 광인실, 이황구, 전태수, 주기재. 2019. 대하천 대발생 생물 발생원인 분석 및 관리기술 개발 연구. 한국수자원공사.
- Bunn, S. E. and Arthington, A. H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507.
- Szaz, D., Gabor, H., Andras, B., Bruce, A. R., Alexandra, F., Adam, E., Nikolett, T., Racz, G. and Gyorgy, K. 2015. Lamp-lit bridges as dual light-traps for the night-swarming mayfly, *Ephoron virgo*: Interaction of Polarized and Unpolarized Light Pollution. *PLOS*: 1-18.
- Briscoe, A. and Chittka, L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annu. Rev. Entomol.* 2001. 46:471-510.