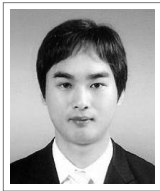




뚝방(소형 저류지) 연구와 생태적 활용방안



안 창혁 |
한국건설기술연구원 연구원
chahn@kict.re.kr



주 진 철 |
한국건설기술연구원 수석연구원
jcjoo@kict.re.kr



권 재 형 |
한국건설기술연구원 연구원
jhkwon@kict.re.kr



송 호 면 |
한국건설기술연구원 선임연구위원
hmsong@kict.re.kr

1. 서론

담수에서 지표수는 유수생태계(lotic ecosystem)와 정수생태계(lentic ecosystem)의 두 가지 생태학적 관점으로 분류된다. 이를 구분 짓는 물리적 인자는 수리학적 체류시간과 유속인데, 유수생태계는 물의 이동에 의한 이류(advection)에 의해 지배되는 반면, 정수생태계는 난류(turbulence)와 같은 물의 불규칙한 움직임에 전제한다.

뚝방은 농경지, 산지, 하천이나 호수의 배후 등에 위치한 소형 저류지(또는 웅덩이)로서 정수생태계에 속한다. 습지분류체계(Cowardin et al., 1979)를 기준으로 보면 자연 형성된 경우, 위치나 수문조건 등을 고려했을 때 소택지(palustrine)로 분류되나 전통적으로 논에 용수공급을 위해 인공 조성된 경우는 농지연못(farm pond)에 가깝다(구 등, 2008). 대부분 내륙에 위치하며 유기 또는 무기토양과 일년생 및 다년생 초본으로 구성된 것이 특징이다.

하천이나 호수의 배후습지 형태로 존재하는 뚝방은 생태 연결통로(corridor)이자 생물 서식처

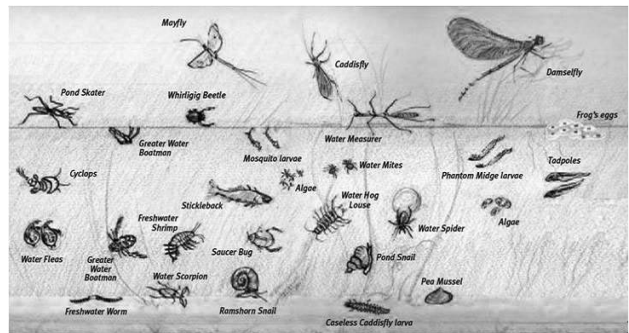
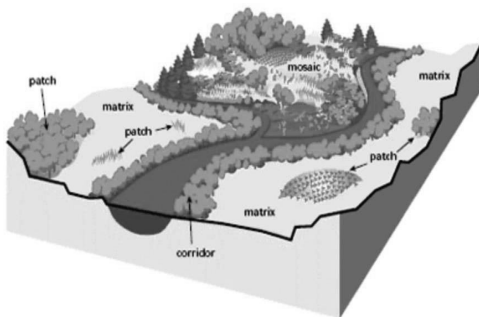


그림 1. 하천 생태적 측면에서 본 corridor와 patch의 구성(왼쪽) 및 뚝방 내 수생태계 예시(오른쪽)

(habitat)의 거점 역할을 한다. 하지만 본류에서 동떨어진 곳에 위치한 둌병은 지하수가 용출되는 곳에 있거나 농경지와 인접해 있는 경우가 많아 자체적으로 독특한 수생태계를 구성하고 있으며, 전체 생태 매트릭스 구조를 연결하는 작은 부분(patch)을 담당한다(그림 1).

둌병에서 생태계 에너지 근원은 식물플랑크톤과 수생식물이며 동물플랑크톤과 저서무척추동물을 거쳐 어류로 연결되는 먹이연쇄가 중요성을 가진다(그림 1). 둌병은 이류가 적고 체류시간이 길어 물리적으로 큰 변동이 없고, 형성기간이 긴 경우 안정적인 소생태계를 유지하므로, 최근 이러한 특성을 활용한 연구가 많은 주목을 받고 있다.

2. 국내외 사례

2.1 국내사례

둌병에 대한 국내 연구는 그 현황 및 수질조사가 대부분이다. 둌병은 이수용 수리시설물이므로 농업기반 마을을 중심으로 현장조사를 통해 기초 제원을 조사하는 연구가 주로 이루어지고 있으며 농업용 둌병의 모습은 대체적으로 (그림 2)와 같다. 2011년 경상남도 고성군에서는 282개의 둌병을 조사한 결과

88.7%가 농업용으로 이용되는 것으로 파악되었다. 저수량은 10~30m³ 규모가 가장 많았고 1,000m³ 이상 둌병도 발견되었다. 수질은 평균 pH 6.9, BOD 2.0 mg/L, COD 3.0 mg/L, TN 1.49 mg/L, TP 0.09 mg/L를 나타내어, COD는 환경부 호소수질환경기준 1b를 만족시켰으나 TN, TP는 비료 등의 원인으로 등급 외 수질을 보였다(이 등, 2011).

전라남도는 2007년부터 친환경농업의 일환으로 자연 둌병의 복원 및 인공 둌병 설치사업을 진행 중이다. 곡성, 담양, 강진 등에 위치한 둌병에서 생물종다양성을 조사한 결과 멸종위기야생동물 2급인 긴꼬리투구새우 등 약 35종의 미소생물이 확인되어 생태적으로 양호하였고, 수질도 개선되는 효과를 나타내었다. 특히 논과 연계된 둌병에서는 월동기에 논물이 빠지게 되는데 둌병이 이를 방지하여 최소한의 생태공간을 마련한다고 조사되었다(전남농업기술원, 2010).

일반적으로 둌병에서는 어류의 먹이가 되는 플랑크톤 및 저서무척추동물 등 미소생물(meiofauna)이 풍부하고, 포식자가 적으며, 수온이 높아 하천과는 다른 서식환경을 제공한다(Kusuda and Noboru, 2009). 특히 논에 설치된 둌병 시설의 유무에 따라 미꾸리속(*Misgurnus*)의 서식에 큰 영향을 미치며, 개체군의 안정적인 유지에 직접적으로 관여한다는 선행연구 사례가 있다(김 등, 2011; Harding et al., 2007).



그림 2. 국내 농업용 둌병 현황(왼쪽: 고성군 월평리; 오른쪽: 서천군 마서면)

그러나 전통 뚝방을 하천이나 호수 등에 생태복원 용으로 적용될 경우 갈수기로 인해 유량 공급이 일시적으로 중단되어 생물의 은신처 및 산란공간이 제한되는 등, 지속적인 유지관리 측면에서 불리한 면도 있다. 최근 한국건설기술연구원에서는 지하 매립형 방틀뚝방을 개발하여 구조적인 안정성을 보장하고 갈수기 생물 서식공간을 확보한 기술 연구를 진행중이다. 경상북도 안동시에 위치한 KICT 하천실험센터에서 국내 토종어류를 대상으로 서식지평가지수(QHEI) 및 생물보전지수(IBM)를 활용하여 방틀뚝방 기능성을 평가한 결과 전체 평가값의 62.5%가 양호상태(Good)에 해당되어 보통등급 이하의 수공간에 적용 시 생태 건강성 향상에 기여할 수 있음을 시사했다(안 등, 2011).

2.2 국외사례

농지연못(farm pond)은 국내 뚝방과 유사하지만 논보다는 밭이나 과수원 등에서 관계용수 또는 축산용수로 활용하기 위해 저류시킨 시설이다(그림 3). 넓은 면적의 농경지를 대상으로 하기 때문에 국내 전통 뚝방보다는 비교적 규모가 크고 상시 저류되어 있어 어류를 비롯하여 양서류, 파충류, 조류, 소형 포유류 등이 다양하게 서식한다(NRCS, 2006). 농지연못의 특징은 수심이 얕아 태양 복사에너지를 잘 흡수하여 표층이 따뜻하고, 성층이 적으며, 수생식물이 풍부하고, 생물다양성이 높다. 하지만 강우 기간 동안 가축들의 분노나 농경지의 비료가 수체로 유입되어 부영양화를 일으키고 이들이 분해되면서 용존산소 소비량이 급격히 증가하여 어류나 다른 수중생물이 폐사할

가능성이 있다. 이러한 관점에서 국외에서는 농지연못을 거점으로 생물다양성 증가, 먹이사슬(food web) 구조 및 생산성 강화, 효율적인 수질관리와 같은 구체적인 활용 가이드라인을 제시하고 있다(Ken, 1995).

봄못(vernal pool)은 주로 산지나 숲에 조성되는 독립적인 습지이다. 계절이나 지리적 영향으로 특정 시기에만 유지용수가 공급되는 등 수위 변화가 크기 때문에 지속적으로 서식하는 어류 개체는 거의 없으나 수서곤충, 소형 갑각류, 양서류, 파충류 등의 서식지 및 산란장으로 알려져 있다(그림 4). 물이 차는 기간(hydroperiod)은 일년을 기준으로 약 30일 이내이며 나머지 기간은 대부분 저수위나 축축한 상태로 유지된다(Semlitsch, 2000). 토양은 투수성이 낮은 점토가 대부분이며 표층은 부니질(detritus)로 이루어져 있어 수목에 의한 차광효과와 더불어 연중 일정 습도가 유지된다. 또한, 낙엽과 식물의 뿌리 등으로 자연스러운 서식처가 형성되는 특이한 구조를 이루고 있다(Thomas, 2010).

작은 크기와 단순한 구조임에도 불구하고 대부분 주변 자연조건이 양호하며 생산성이 높고 동식물이 풍부하여 자체적으로 독특한 생태계가 구성되는 점이 특징이고 이러한 점 때문에 최근 국제적으로 봄못을 비롯한 소형 습지에 대한 관심과 연구가 급증하고 있다(Semlitsch, 2000; Skelly et al. 1999; Lannoo 1998; Pechmann et al. 1991). 국외에서는 생태복원 활용방안과 주요 서식처를 연결하는 소형 patch 및 corridor 측면에서 계절적인 생물의 이동을 모니터링하고 이동 범위를 산출하는 등 체계적인 연구가 진행중이다(Aram et al, 2008).



그림 3. 미국 Vermont, Iowa주에 위치한 farm pond(왼쪽, 가운데) 및 서식처 예시(오른쪽)

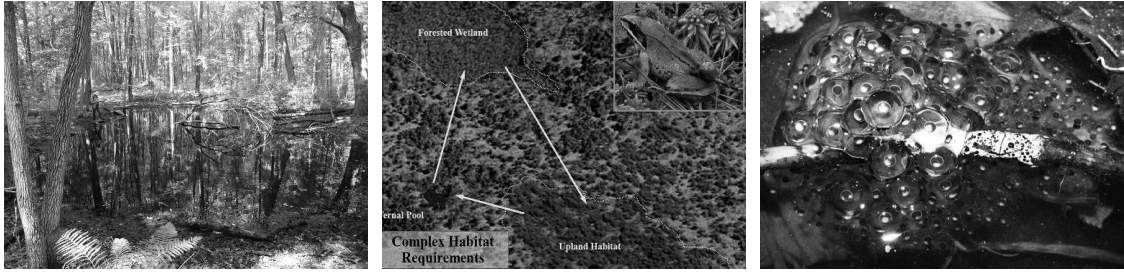


그림 4. 미국 Michigan 주의 vernal pool(왼쪽), 미국 Maine 주에 위치한 vernal pool에서 양서류(wood frog)의 이동경로(가운데) 및 그 서식지에 산란된 알(오른쪽)

3. 활용방안

3.1 둌병의 활용방안

앞서 제시한 여러 가지 둌병의 특징들과 기능은 수자원 확보, 수질정화, 생태계 건강성 증진, 경관향상, 교육의 장 등 다양한 분야에서 활용 가능하다. 현대적 의미에서의 둌병은 과거 농업용수 공급 대상의 관점을 벗어나 수생태계 건강성 지표와 직결되어 있으며 최근 국내에서 일고 있는 친환경농업, 생태 교육장 마련, 함양지 조성 등이 그 예이다. 하지만 그 이전에 둌병 본연의 특성을 알고 현장과 목적에 맞는 복원 및 관리가 이루어져야함이 바람직 할 것이다. 둌병을 포함한 소형 저류지들이 가지는 기능과 적용 가능한 항목을 요약하면 다음과 같다.

- 수자원의 효율적 활용 및 확보
 - 친환경 농업용수 활용, 자연지형 고려
 - 우수 저류 및 용출된 지하수 활용
- 자연적 수질정화를 통한 환경의 질적 상승

- 수생식물, 침수식물 등을 활용한 생물학적 수질정화와 에너지 순환
- 하천 본류 및 호수의 배후에 위치한 완충지대 (buffer zone) 기능

- 생태계 건강성 증진 및 서식처 확보

- 먹이사슬(food web) 기능 강화를 통한 수생태 건강성 증진
- 서식처 확보와 생물다양성 증진에 기여

- 경관적 미관 및 어메니티 향상

- 환경 복원 및 창출로 인한 경관 개선과 심미적 안정성 촉진
- 수공간 범위 확대로 도시 생태 기능 강화 및 어메니티 향상

- 관찰, 학습 등 교육적 기능 강화

- 각종 체험 학습을 통한 생태 교육공간의 장 마련
- 전문가 양성 및 다양한 교육 프로그램 도입

(그림 5)에는 국내에서 적용된 둌병 활용 사례를 소개하였다. 농업용 수리시설의 현대화가 진행되면서



그림 5. 국내 둌병 활용 사례(왼쪽: 전남 곡성군 석곡면 친환경농업, 가운데: 해남 문내면 생태교육장, 오른쪽: 담양 대덕면 미꾸라지 잡기 체험)

관개용수는 다양한 방법(농수로, 관거 등)을 통해 확보되었다. 하지만 최근 농약 사용 억제를 위한 친환경 농업의 중요성이 대두되면서 기존 뚝방의 생태적 우수성이 재발견되고 있다. 또한, 뚝방은 규모가 작고, 설치 비용이 적게 들며, 접근이 용이하기에 주민들의 생태교육 및 관광이 편리한 장점이 있다. 또한, 지역 특성을 고려한 관련 프로그램을 개발하거나 각종 이벤트, 축제 등을 기획하여 활용하는 방안들이 최근 각광을 받고 있다.

3.2 방틀뚝방 적용

도시공간에서의 수공간은 생태학적 의미 뿐 아니라 주민들에게 심미적인 정서 문화와 관련이 있다. 최근 중앙정부 및 지자체에서는 도시 생태환경개선을 위하여 인공습지 조성이 활성화되고 있으며 시민들의 여가 공간 또는 환경 체험의 장소로 활용하도록 보존 및 개발하고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 생태적, 교육적, 미적인 면을 동시에 만족시킬 필요성이 있으며 생물 서식처의 마련, 적절한 유지관리, 지역적 특성 고려, 교육 프로그램 개발 등이 어우러진 계획적인 노력이 필요하다.(김 등, 2006).

방틀뚝방은 기존 뚝방의 특징들을 고려하여 개발되었으며, 도시 공간에 적용 시 중요한 요소들인 구조적 안정성 보강, 갈수기 유지유량 확보, 지속적 유지관리 방안 등을 반영하였고 접근성과 생태교육을 접목시켜 시민들에게 친숙한 공간으로 활용하도록 구성하였다. 현재 본 기술은 경기도 성남시 탄천 습지

생태원 내 정수습지에 적용되어 있다.

탄천 습지 생태원(경기도 성남시 수정구 태평동 7033-1)은 탄천 고수부지에 위치하며 규모는 길이 약 800m, 폭 30m, 수면적 24,000㎡이며 정수습지, 잠자리 연못, 민물고기 연못 2개소, 수서곤충 연못 등 총 5가지 테마로 이루어진 인공습지이다. 토종 물고기와 멸종 생물의 복원 및 교육을 목적으로 계획되었으며 2009년 10월 완공되었다. 탄천 본류와 인접하게 조성하여 유수 생태계와 정수 생태계를 결합한 구조이며 넓은 고수부지 공간을 활용하여 시민들의 접근성을 높였다. 잠자리 및 나비 서식처를 조성하였고 각종 야생화를 비롯한 식물 100여종, 곤충 22종, 어류 15종 등이 서식하고 있으며 최근 환경부가 선정하는 “자연생태복원 우수마을(2012. 1. 1~2014. 12. 31)”에 지정되어 자연환경 및 생태복원에 대한 기여를 인정받았다(성남시, 2011).

적용된 방틀뚝방은 16.2㎡(2EA) 규모와 뚜껑으로 구성되어 있으며 내부에 경사판어초(토사 차집)를 삽입하고 가장자리에 사석을 쌓아 어류를 유도하고 토사유입을 방지하였다. 어류는 상부 뚜껑을 기준으로 상·하·좌·우 출입이 가능하며 경사판 어초에 인공 생물서식공간을 피복하여 지속적인 서식이 용이하도록 하였다. 선행 연구결과 방틀뚝방은 소(pool)의 수층에 서식하는 종(water column species)에 대해 탁월한 효과를 보이므로 납자류속(*Acheilognathus*) 및 미꾸리속(*Misgurnus*)의 서식이 적합하다. 유지유량은 탄천 원수를 활용하여 자생 생물이 이질감 없이 서식하도록 구성하였다. 적용대상지 특성상 시민



그림 6. 탄천 습지 생태원에 설치된 방틀뚝방(왼쪽), 어류 관찰용 잠망경(가운데) 경사판 어초 및 생물 서식공간(오른쪽)



그림 7. 탄천 습지 생태원 전경(왼쪽), 어린이 생태교육프로그램(가운데), 환경부 자연생태복원우수마을에 선정된 탄천 습지 생태원(오른쪽)

들의 지속적인 접근성과 어린이 생태교육을 위한 데크와 특수 고안된 어류관찰용 잠망경을 설치하여 친환경 학습공간을 제공하였다.

적용 절차는 설치 필요성 검토→기본조사(수질, 수생태)→기본계획수립→관련부처 협의→실시설계→시공의 순서로 진행하였다. 현장조사를 통해 시사점을 도출하였고 결빙기와 갈수기의 대비, 어류 성어가 지속적으로 서식할 조건, 적정 수온의 유지, 시민들의 접근성과 교육공간을 함께 마련할 점 등을 관련 부처와 종합 검토하여 진행하였다.

3.3 향후 과제

자연공생형 기술은 물과 인간의 어울림을 추구한다. 도시 내 과도한 택지개발사업은 녹지공간을 축소시키고 불투수층을 증가시키며 물의 저류 공간을 감소시켰다. 하지만 최근 생태적으로 건강한 생활환경에 대한 인식이 고취되면서 자연환경의 가치가 높아졌다. 이러한 점에서 둌병(소형 저류지)은 인간 활동이 미치는 도시뿐만 아니라 타 지역에서도 좁은 공간을 활용하여 큰 효과를 볼 수 있는 장점이 있다. 목적성 있는 소생태계 공간 창출은 물질순환을 촉진시키고 생물서식처 제공을 통해 쾌적한 환경 조성에 기여

할 것이다.

하지만 때로는 인간의 간섭이 전혀 없는 순수한 복원도 필요하다. 과도한 인위적 교란은 수생태에 물리적, 화학적, 생물학적 기능을 저해할 수도 있기 때문이다. 외국의 사례처럼 보존이 양호하고 인적이 드문 산지 및 원시습지 복원 등 자연성을 최대한 유지하고 되살리는 방안에 대한 검토가 필요하다. 그리고 현재 국내 수생태 연구는 수질, 1차생산자, 어류 등에 집중되어 있다. 하지만 향후에는 더 나아가 양서류 서식지 확보 등에 관심을 가져야 할 것이다. 양서류는 생태계에서 파충류와 포유류를 연결하는 중간소비자의 위치를 가지며, 이들 서식처는 어느 정도의 수질과 일정 공간의 녹지가 확보되어야 하는 민감한 종이기 때문이다. 최근 전세계적으로 개발에 따른 녹지와 농지 감소, 기후변화 등의 원인으로 인해 양서류 개체의 감소가 많았고 우리나라도 예외는 아니다.

그동안 둌병을 포함한 소형저류지는 규모가 크지 않고 뚜렷한 특징을 강조하지 않아 사람들의 큰 관심을 끌지 못하였다. 그러나 고유의 기능을 재발견하고 목적에 맞게 적절히 활용한다면 수생태 복원 측면에서 효율적인 신개념 공간으로의 발전이 충분한 곳으로 평가된다. 🌿



참고문헌

1. 김용범, 대구광역시 생태연못 조성과 자원화 방안-혁신도시 주변을 중심으로-, pp. 1-85, 2006
2. 김재욱, 신현상, 유지현, 이승현, 장규상, 김범철, 논 중간 낙수기에 미꾸라지 피난처로서 뚝방의 기능 평가, 한국환경농학회지, 한국환경농학회, 30(1), pp. 37-42, 2011
3. 안장혁, 주진철, 권재형, 송호면, 생물보전지수(IBM) 및 서식지 평가지수(QHED)를 활용한 지하 매립형 방틀 뚝방의 어류 서식처 기능 평가, 대한토목학회지, 31(6B), pp. 56-575, 2011
4. 한국건설기술연구원, 자연공생 하천습지(호소) 기술 개발, 2011
5. 환경부, 국가습지유형분류체계 연구, 2008
6. (주)생태환경디자인연구소, 고성군 뚝방 실태 조사 보고서, 고성군, 2011.
7. Aram, J. K, Phillip D, Forestry Habitat Management Guidelines for Vernal Pool Wildlife, *Metropolitan Conservation Alliance*, 6, pp. 1-32
8. Carolyn J.M. Brown, Brendan W. Knight, Mark E. McMaster, Keely R. Munkittrick, Ken D. Oakes, Grald R. Tetreault, Mark R. Servos, The effects of tertiary treated municipal wastewater on fish communities of a small river tributary in Southern Ontario, Canada, *Environmental pollution*, 159, pp. 1923-1931, 2011
9. Christopher, F, K, Pond fertilization: Ecological approach and practical application, *Aquaculture Collaborative Research Support Program*, 2006
10. Jung Chen Huang, William J. Mitsch, Li Zhang, Ecological restoration design of a stream on a college campus in central Ohio. *Ecological engineering*, 35, pp. 329-340, 2009
11. Kang, S. H, Index of biological integrity for water environmental assesment of nature-friendly river work. *Korea Society of Environmental Engineers*, 9(4), pp. 168-174, 2004
12. M.T. Southerland, G.M. Rogers, M.J. Kline, R .P. Morgan, D .M. Boward, P. F. Kazyak, R. J. Klauda, S. A. Stranko. Improving biological indicators to better assess the condition of streams. *Ecological Indicators*, 7, pp. 751-767, 2007
13. Natural Resources Conservation Service, Farm pond ecosystems, 2006
14. Thomas, S. A., Y. Lee, M. A. Kost, and D. A. Albert. Abstract for vernal pool. *Michigan Natural Features Inventory, Lansing, MI*, pp. 24, 2010