

하천횡단구조물 철거에 의한 생태통로복원 및 수질개선 기술



이 동 섭 ▶

한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
dsrhee@kict.re.kr



안 흥 규 ▶

한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원
ahnhk@kict.re.kr



우 호 섭 ▶

한국건설기술연구원 선임연구부장
hswoo@kict.re.kr

1. 머리말

하도 내에 설치되는 보와 같은 하천횡단구조물은 어류 및 수중 생물이 이동할 수 있는 하천생태통로를 차단시키며, 흐름을 정체시켜 보 상류부의 수질을 악화시키고, 수변 생물 서식처가 변화하며, 하천 경관을 크게 훼손시키게 된다. 이러한 문제는 이미 널리 알려져 있지만, 아직 국내의 경우에는 일부 시군을 제외하고는 적극적으로 대처하지 않고 있으며, 회유성 어류가 소상하는 하천에 설치된 일부 보에 대해서만 어도 등 생태통로 복원을 위한 시설이 별도로 설치되는 경우가 많다. 하지만 이러한 인위적인 대응은

생태통로의 복원이라는 관점에서 바라볼 때 전체적으로 그 적용범위가 다소 제한되며, 인공 생태통로를 이용하게 되는 대상 생물의 특성을 제대로 반영될 수 없어 생태통로로서 순기능이 대체로 매우 미약하다.

외국의 경우에도 국내와 마찬가지로 소수력 발전, 관개, 홍수 조절, 용수 지류 등의 목적으로 하도 내에 수많은 보를 설치하여 활용하고 있는데, 미국의 경우 지난 백 년 동안 1.8 m 이상의 높이를 가지는 소규모 댐(small dam)을 75,000개 이상 설치해 왔으며, 규모가 작은 보(low-head dam)의 경우에는 그 수를 헤아릴 수 없을 정도로 많이 설치된 것으로 알려져 있다. 국내와는 달리 이러한 보나 소규모 댐이 대부분 개인이나 사기업 등에 의해서 설치되어 이용되고 있는 경우가 많아, 최근 10년 동안 이러한 구조물 중 기능을 상실하였거나, 노후화하여 용도가 없어진 보의 경우 더 이상 관리가 제대로 이루어지지 않고 있어 사회 문제로 부각되는 경우가 많다. 따라서 최근 환경 단체를 중심으로 기능을 상실한 보를 철거하여 어류의 생태통로를 복원하고, 수질을 개선하며, 하천 경관을 개선하자는 움직임이 일고 있으며, 연방 정부 및 주 정부, 지자체 등과 협력하여 특히 회유성 어류가 돌아오는 하천에 설치된 보를 중심으로 점차 보를 철거하는 사업을 진행하고 있다(ASCE, 1997; Friends of the Earth 등, 1999; The Heinz Center, 2002).

국내의 경우 현재 전국적으로 약 18,000여개의 보가 가동 중이며, 높이 2.0m 이하의 소형보가 약 95%를 차지한다. 국내의 보 설치 개소 수는 매년 증가하였으나, 근래에 들어 감소하는 추세이며, 이미 매년 50~150개 정도의 보가 주변 토지 이용의 변화, 취수 시설의 통폐합, 시설 노후화 등을 이유로 폐기되고 있다(한국건설기술연구원, 2005). 하지만 폐기된 보

는 대부분 하천에 남아있어 계속하여 생태·환경 상의 문제를 발생시키고 있으나, 아직까지는 하천 생태통로 복원 및 수질개선 등을 목적으로 보나 소규모 댐을 철거하는 경우는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나 국내에서도 이러한 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로복원 및 수질 개선, 하천 경관 개선 등에 대한 필요가 점차 증가하고 있으며, 이에 따라 본 기사에서는 최근 경기도 곡릉천, 한탄강에서 시행된 “기능을 상실한 보 철거 시범 사업”을 바탕으로 개발되고 있는 하천횡단구조물 철거에 의한 생태통로복원 및 수질개선 기술을 소개하고자 한다.

2. 보 철거 의사결정 과정

최근 하천의 환경·생태적인 기능이 부각됨에 따라 보는 하천환경을 해치는 대표적인 존재로 자리매김 되고 있는 것처럼 보이나, 오히려 일부 경우에는 보 상류의 특수한 정수형 생태계가 나타나 생태적 가치를 증가시키는 경우도 있는 것으로 알려져 있다. 또한 일반적으로 보를 철거하게 되면 하천 환경·생태적인 기능은 증가하나, 일부 경우에 하류의 유사능도가 증가하여 하도 내 수생 생태계에 약영향을 주기도 하는 것으로 알려져 있다(Trout unlimited, 2001). 따라서 철거대상 보를 선정하기 위해서는 신중한 의사결정 과정이 필요하며, 이에 따라 The Heinz Center(2002)는 주로 미국에서 이루어진 댐 철거 사례를 기초로 하여 다음과 같이 네 단계로 구성된 일반적인 의사결정기준을 제시하였다.

1 단계: 보 철거의 목적과 목표를 정의 - 보 철거 결정을 위하여 보 철거의 목적, 보 철거 대상, 보 철거 원칙을 수립하며, 보 철거와 관련되어 있는 환경 문제, 사회·경제적 조건, 관련 규정 및 정책 등에 정보를 수집한다.

2 단계: 보 철거 시 발생하게 되는 주요 문제점 파악 - 보 철거와 관련하여 대상 보와 직접적으로 관

련된 문제로부터 지역 주민들이 관심을 가지는 여러 관련 민원까지 포함하여 가장 큰 문제점이 되는 부분이 무엇인지 파악한다.

3 단계: 관련 자료 수집 및 평가 - 법률적, 경제적, 사회적, 환경적 측면을 모두 고려하여 보 철거를 통해 얻어질 잠재적 이익을 평가하며, 이와 관련된 하천 관리 및 운영(river operation) 자료를 수집한다. 이러한 평가는 현재 및 미래의 상황을 통찰할 수 있는 일련의 지표를 예측함으로써 수행된다.

4 단계: 보 철거 결정 과정 수행 - 이전 단계를 통해 파악된 보 철거를 통해 얻어질 이득(gain) 및 손실(loss), 비용(cost)과 이익(benefit), 민간의 지지와 관심, 공익(公益)과 사익(私益)에 대한 지식을 모두 망라하는 판단 체계 내에서 보 철거 또는 보존 결정을 내린다.

만약 4 단계에서 보를 철거하기로 결정이 되면 다음의 두 단계가 추가된다.

5 단계: 보 철거 - 보 철거를 현장 상황에 적절한 공법(완전 철거, 부분 철거 등)을 적용하여 수행한다.

6 단계: 보 철거 후 관련 자료 수집 및 평가, 모니터링 - 보 철거 후 모니터링을 통하여 관련 자료를 수집하고 보 철거에 의한 영향을 평가한다. 다른 보 철거 사업의 자료로 활용하기 위하여 모니터링은 정해진 기간 내에 계속하여 수행한다.

국내의 경우 대부분의 보는 개인적으로 설치·사용되기 보다는 지자체나 하천관리청 등에 의하여 관리되고 있으며, 철거 대상은 철거 사업 진행 시 주민 의견 및 여론, 각종 민원 등을 반영하여 하천관리청이나 지자체에서 선정하게 된다. 이에 따라 이동섭 등(2007)은 곡릉천에서 수행한 보 철거 시범 사업 경험을 바탕으로 그림 1과 같은 보 철거 의사결정 흐름도를 제시하였다.

The Heinz Center에서 제시한 가이드라인과 이동섭 등이 제시한 흐름도에서 한 가지 주의하여야 할

것은 이러한 의사결정과정에서 진행되는 것이 반드시 대상보의 철거를 의미하는 것은 아니라는 것이다. 보 철거를 인한 영향을 평가하는 과정에서 보가 존재하여 얻을 수 있는 이익이 철거로 인하여 얻어지는 이익보다 더 크거나, 보 철거로 인한 순영향 보다 철거로 인한 악영향이 더 큰 것으로 예상되는 경우 대상보는 보 철거 후보에서 제외되게 된다.

2.1 기능 및 용도 상실 판단

생태 및 환경 복원을 위하여 철거할 대상보를 선정하기 위해서는 우선 보의 기능 및 용도 상실 여부를 판단하여야 한다. 기능 및 용도 상실 판단 과정에서 대상 보에 대한 사업 진행 및 후보 제외 여부가 결정되기 때문에 이 판단 과정은 매우 성실하게 수행하여야 한다.

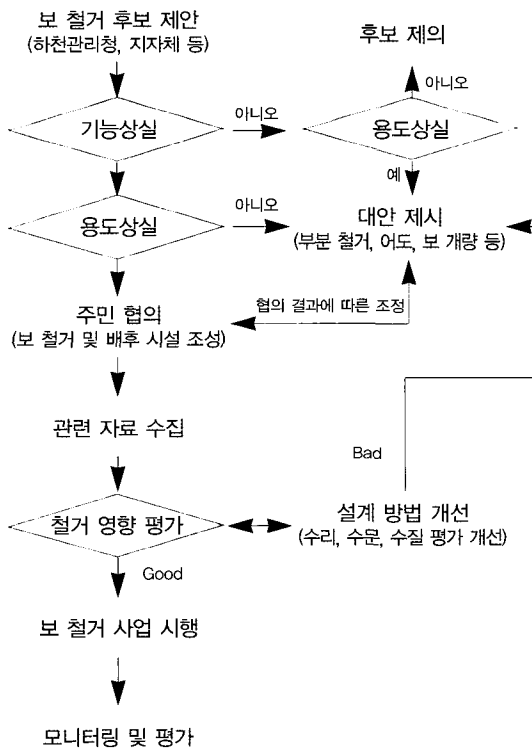


그림 1. 보 철거 의사결정 흐름도(이동섭 등, 2007)

먼저 보의 기능 상실은 상류부 퇴적, 구조물 노후화, 취수구 폐쇄 또는 훼손 등으로 인하여 더 이상 보가 용수 공급 등 본연의 기능을 수행하지 못하는 경우를 말하며, 보의 용도 상실은 주로 농민이 이루어지던 주변 지역이 온실 농업으로 전환이 되거나, 또는 도심지 확장이나 도시 계획 변화로 인하여 주변 지역이 택지로 전환되는 등 주변지역 토지 이용이 변화하여 농업 용수나 공업 용수 등의 용수 공급이 더 이상 불필요하게 되어 보의 용도가 사라진 경우를 말한다.

일반적으로 철거 대상으로 고려되는 보가 기능 및 용도를 동시에 상실한 경우 철거 우선순위가 높아지며, 가능한 철거 사업을 진행하여 하천의 상태를 자연스럽게 복원하는 것이 제일 바람직하다. 용도는 살아있으나 기능을 상실한 경우에는 보 건설 당시의 용도 및 현재의 보 사용 용도를 면밀히 비교, 검토하여 보 기능을 복원하며 동시에 보의 환경성을 일부 복원하는 방안을 같이 검토하는 것이 좋으며, 보 자체의 기능은 살아 있으나 보의 용도를 상실한 경우에는 보에 의한 생태나 환경에 대한 악영향이 심대할 경우에 철거를 고려하는 것이 좋을 것이다. 만약 보의 용도 및 기능 상실 여부를 모두 판단하였을 때, 보가 기능상이나 용도상 문제가 없다면 철거 대상에서 제외하며(no action plan), 생태나 환경 상의 악영향이 클 경우에만 환경 개선을 위하여 철거를 제외한 다른 방법을 고려하여야 할 것이다.

2.2. 보 철거 영향 평가

기능 및 용도 상실 평가가 끝나고, 주민 협의가 원만히 진행된 경우 보 철거로 예상되는 영향을 엄밀히 평가하기 위하여 보 철거 영향 평가 과정을 거쳐야 한다. 보 철거 영향 평가 인자는 크게 수리·수질, 생태, 사회·경제로 구분할 수 있다. 이러한 평가 인자 중, 현재 기술 수준으로는, 수리·수문·수질에 대해서는 정량적인 평가가 가능하며, 사회·경제에 대해서는 정성적인 평가를 통한 설계자의 판단이 중요한

역할을 한다. 생태 평가의 경우 정량·정성 평가가 가능하기 때문에 그 평가 결과를 다른 평가인자들과 긴밀히 연관시켜 일반적으로 보 철거 영향 평가 시 가장 중요한 인자로 고려하게 된다.

2.2.1 수리·수질

보 철거 영향 평가 시 수리 평가 인자는 보 철거로 인한 설계 홍수위 저하, 유사량 변화 등과 긴밀하게 연관되어 있다. 보 상류에 퇴적되어 있는 퇴사 특성 및 흐름 특성 변화는 보 하류 지역의 생태계와 수질 변화에 큰 영향을 미치므로 보 철거로 인한 유사량 및 유사 이송 특성 변화를 엄밀히 평가하여야 한다. 보 철거 과정이 진행되는 동안 상류 유사 조절은 바로 하류 지형 제어를 의미한다는 관점에서 접근할 필요가 있으며, 보 상·하류의 입도 분포와 하도 형성 유량, 하도의 평면형, 보 하류의 하상 저하 정도를 정확하게 파악하여야 한다. 오염된 토사가 방류될 경우 전체 수변 시스템의 생태 및 환경 복원 가능성을 매우 저하시키며, 퇴사의 대부분이 세립질로 구성되어 있을 경우 방류 시 하류 서식처 및 생태계를 파괴시킬 위험성이 매우 높으므로 보 철거에 따른 유사 방류 계획 수립 시 퇴사 특성을 정확히 알고 있어야 한다. 보를 철거하게 되면 용존산소량이 증가하고 보 상류에 정체되어 있던 오염 물질이 하류로 방류됨에 따라 일반적으로 수질이 크게 개선된다. 하지만 보 철거를 하더라도 하류 지역 수질에 크게 변화가 없는 경우도 많이 나타나며, 많은 경우 세립질 퇴사로 인하여 수질이 오히려 악화되는 경우도 있으므로 보 상·하류 지역에서의 수질 변화를 면밀히 검토하여야 한다.

2.2.2 생태

생태적 영향 평가는 보 철거 시 가장 중요하게 고려하여야 하는 요소 중의 하나로 수중 서식처 및 생태계, 수변 식생의 변화를 면밀히 검토하여야 한다. 수중 서식처 및 생태계는 유사량 증가로 인한 탁도 증가의 직접적인 영향을 그대로 받게 된다. 일반적으로

로 보 철거로 인하여 우수성 생태계가 복원되거나 보 철거로 인하여 사라지게 되는 보 상류 지역의 정수성 서식처 및 생태계는 다양한 생명 단계에 대한 영향과 특이 종을 포함할 가능성이 있으므로 보 철거 전·후에 보 철거로 인한 생태적 가치 변화를 면밀히 검토하여야 한다. 식생의 변화는 주로 지표수 및 지하수 조건의 변화와 관계가 깊으며 식생의 분포와 천이는 이외에도 상류 퇴사의 입도 분포, 상류 노출 지역의 지형 영향을 받게 된다. 상부 저수지가 사라지면서 노출된 지역에 대해서는 침식 방지를 위하여 생태공학적인 안정 기법을 적용하는 것이 가능하며, 보 설치 이전과 유사한 식생 복원을 위하여 보 철거 후 침입종을 조절하는 것이 필요하다.

2.2.3 사회·경제

보 철거가 사회·경제적인 평가 인자에 대하여 항상 긍정적인 영향만을 주는 것은 아니다. 사회·경제적인 영향의 범위는 일반적인 예상보다 훨씬 광범위하기 때문에 예측하지 못한 부분에서 부정적인 영향이 발생하기도 한다.

일반적으로 보를 철거하게 되면 하도의 상태가 개선되고 물이 정체되지 않고 자유롭게 흘러가기 시작하기 때문에 심미적 가치가 증가하는 매우 긍정적인 효과를 가져오게 된다. 이러한 심미적 또는 경관 가치의 변화는 보 주변 지역 토지의 재산 가치를 변화하게 하는데, 이렇듯 보 철거로 인한 경제적인 영향은 보 철거 주변 지역의 현장 조건에 따라 매우 달라진다. 따라서 보 철거 시에는 철거로 인한 현장 조건 변화가 주변 산업에 어떠한 영향을 주는지 면밀히 조사하여야 한다. 보 철거로 인한 손실 및 피해를 최소화하기 위하여 보와 관련된 시설에 대한 철거는 재산 및 환경 등에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 계획하여야 하며, 또한 보가 오염 물질의 이동을 막으며, 생태적으로는 상류 서식처로부터 하류 서식처로의 외래종, 유해종, 질병의 침입을 막는 방벽으로서의 순기능을 할 수 있다는 사실을 고려하는 것이 좋다.

3. 보 철거 공법

보 철거는 하천생태통로 복원을 위하여 보 자체를 물리적으로 하도 내에서 제거하는 것이므로 다양한 공법이 존재하지 않으나 크게 완전 철거와 부분 철거로 구분할 수 있다.

3.1 완전 철거

완전 철거는 철거 대상으로 결정된 보를 하도 내에서 완전히 제거하는 것으로 방법적으로는 매우 단순하나, 철거 과정 중 예상되는 유사량의 증가를 조절하기 위하여 철거하기 전 반드시 입도 분포와 상류 지형에 대한 면밀한 조사가 필요하다. 이러한 조사 자료를 바탕으로 철거를 위하여 투입되는 장비(백호우, 도자 등)의 특성을 고려하여 횡단 상 최초 철거 지점의 위치 및 철거 진행 속도를 조절하여야 한다.

3.2 부분 철거

부분 철거는 철거 대상 보의 본체를 완전히 철거하지 않고 일부만 철거하는 것을 의미한다. 부분 철거는 그림 2에서 볼 수 있듯이 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 그림 2의 (a)에 나타난 것처럼 횡단 상의 일부 구조물만을 제거하는 것이다. 이러한 경우 보체가 남아있는 쪽에서는 여전히 취수가 가능하여 일부 용수 공급 기능이 유지되며, 생태통로도 동시에 복원되게 된다. 하지만 상류 퇴사가 부분 철거된 부분으로 이동하게 됨에 따라 보 상하류의 횡단면이 불균형하게 변화하게 된다. 그림 2의 (b)는 보 본체의 마루

(crest) 높이를 점차 낮추어, 상류에 퇴적되어 있는 토사의 침식량을 조절하여, 보 하류로의 급격한 유사량 증가를 방지하고자 하는 경우에 주로 사용되는 부분 철거 방법으로 보 마루 높이를 낮추는 정도는 하류 유사량에 대한 모니터링 결과를 기초로 하여 결정한다. 유사량의 급격한 증가에 의한 하류 생태계 피해는 감소하지만, 생태통로 복원에는 시간이 걸리게 된다.

4. 보 철거 시범 사업

4.1 곡릉천 곡릉2보 철거 시범 사업

기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원을 위한 시범 사업의 대상으로 최초로 선정된 보는 경기도 고양시 오금동 구간의 곡릉천 곡릉2보이다. 곡릉2보는 1970년대에 보 좌안의 오금동과 신원동 일대의 농경지에 농업용수를 공급하기 위하여 설치된 보로 보의 규모는 길이 76m, 높이는 약 1.5m 정도였다. 보 설치 초기에는 주로 논농사를 위한 용수 공급의 목적으로 사용되었으나, 보 주변 지역이 점차 온실 농업 형태의 장미 화훼 단지로 변화하여 취수량이 점차 줄어들었고, 보 철거 시범 사업 진행 당시에는 용수 취수가 거의 이루어지지 않아 용도를 상실한 상태로 파악되었다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 곡릉2보는 어도가 설치되어 있는 상태로 보 자체의 기능은 여전히 유지하고 있었지만, 생태통로로서의 기능을 하지 못하고 있는 상태였으므로, 본 연구팀에서는 적극적인 대안 제시



그림 2. 보의 부분 철거 방법

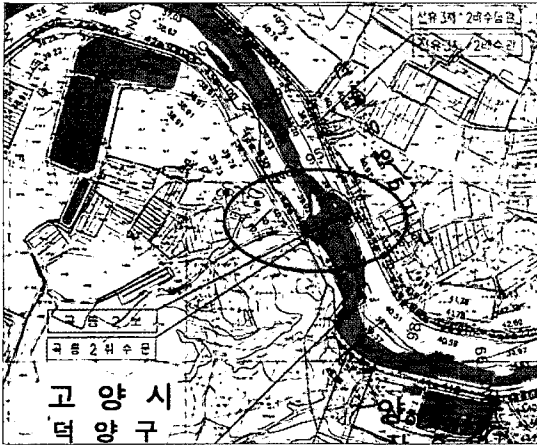


그림 3. 곡릉천 곡릉2보 위치도

의 일환으로 관리청인 고양시청과 함께 주변 주민에 대하여 “완전 철거” 방안을 제시하였고, 주민 협의를 통하여 완전 철거에 의한 보 철거 시범 사업을 진행

하기로 결정하였다.

보 철거 시범 사업이 완료된 후 하천생태통로 복원의 효과는 어류상의 변화를 통하여 극적으로 확인되었는데, 상하류의 간 하도가 점차 자연스럽게 이어지면서 하천을 통한 어류의 종적 생태통로가 형성되었고, 보 철거 전에는 하류에서 확인되지 않던 돌고기, 버들매치, 왜매치가 보 철거 후에는 상류, 하류에서 모두 확인되어 어류의 이동이 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

4.2 한탄강 고탄보 철거 시범 사업

곡릉천 곡릉2보 철거시범사업의 성과에 힘입어 두 번째로 보 철거를 통한 하천생태통로 복원을 위한 시범 사업의 대상으로 선정된 보는 경기도 연천군 전곡



(a) 철거 전



(b) 철거 중



(c) 철거 후 복원된 하도(우안)



(d) 철거 후 복원된 하도(상류)

그림 4. 곡릉2보 철거 시범 사업 진행 과정

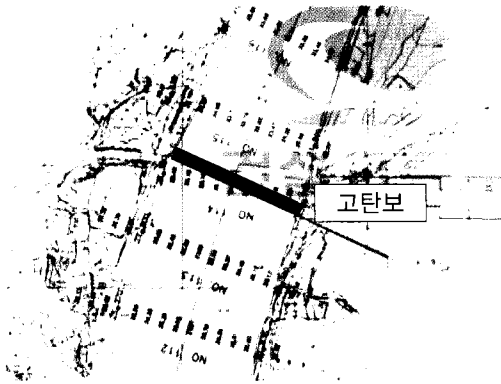


그림 5. 한탄강 고탄보 위치도

읍 은대리 구간의 한탄강 고탄보이다. 고탄보는 1980년대 초에 연천군 전곡읍 일대에 생활용수를 공급하기 위한 취수보로 설치된 보로 보의 규모는 길이 190m, 높이는 약 1.9m 정도였다. 그러나 보 상류지역으로

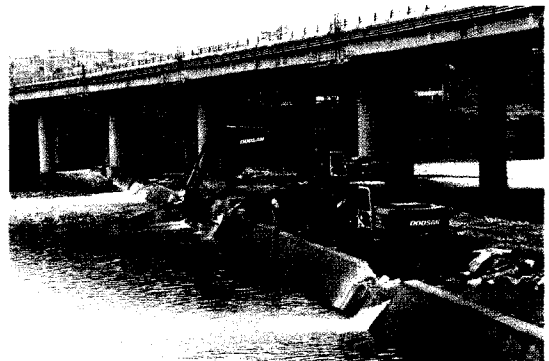
연천군의 상수원이 이동함에 따라 취수 용도를 상실하게 되었고, 보 상류지역의 영평천 유역에서 내려오는 오염 물질이 하류로 바로 흘러내려가지 못하고 보 상류에 정체됨에 따라 수질이 악화되고, 하절기에 악취가 발생하여 보를 철거하고자 하는 주민 민원이 발생하였다.

그림 6에서 볼 수 있듯이, 고탄보 역시 담수 기능이 여전히 유지되고 있는 상태로 파악되었으나, 본 연구팀에서는 관리청인 연천군청과 주민 의견을 적극적으로 반영하여, 완전 철거에 의한 보 철거 시범 사업을 진행하기로 결정하였다.

현재 고탄보 철거 시범 사업은 철거 후 모니터링 수행 단계이며, 폭령2보와 마찬가지로 어류이동통로 복원에 따른 생물상의 극적인 변화로 보 철거의 효과가 확인될 것으로 기대하고 있다.



(a) 철거 전



(b) 철거 중



(c) 철거 중



(d) 철거 후

그림 6. 고탄보 철거 시범 사업 진행 과정

5. 맺음말

최근 국내에서 하천환경을 개선하는 적극적인 복원 기술로 주목받고 있는 하천횡단구조물 철거에 의한 생태통로복원 및 수질개선 기술을 의사결정 과정과 영향 평가의 관점에서 서술하고, 기술 개발의 근간이 되고 있는 기능을 상실한 보 철거 시범 사업의 사례를 소개하였다. 본 기술은 국외에서도 기술 정립을 위하여 활발히 연구되고 있는 기술로, 최근에는 보 철거로 인한 유사의 영향을 최소화하기 위하여, 보 철거 시 유사를 효과적으로 제어하고 그 영향을 평가하는 기술 개발에 연구 역량이 집중되고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 효과적인 기술 개발을 위해서는 보 철거 사례에 대한 모니터링 결과가 축적되어야 하며, 모니터링 결과 분석을 통하여 얻어진 교훈을 다음 보 철거 시범 사업에 반영하여야 하는 것으로 알려지고 있다. 본 기사에서 소개하였듯이 곡릉2보 및 고탄보 철거 시범 사업에 대한 모니터링 결과는 국내 환경에 적합한 보 철거 의사결정과정 및 영향평가과정의 확립에 기여할 것으로 생각되며, 이후 이러한 시범 사업의 성과에 기초하여 다른 보 철거 시범 사업이 진행된다면, 국내에서의 하천횡단구조물 철거에 의한 생태통로복원 및 수질개선 기술의 정립에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이동섭, 우효섭, 안홍규 (2007), “기능을 상실한 보 철거를 위한 보 선정 체계 연구”, 2007년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1154-1158.
2. 한국건설기술연구원 (2005), 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 및 수질개선 효과 1차년도 중간보고서.
3. ASCE (1997), Guidelines for Retirement of Dams and Hydroelectric Facilities, ASCE, New York.
4. Friends of the Earth, American Rivers, and Trout Unlimited (1999), Dam Removal Success Stories, <http://www.americanrivers.org>.
5. The Heinz Center (2002), Dam Removal: Science and Decision Making. The Heinz Center, Washington, D.C.
6. Trout Unlimited (2001), Small Dam Removal: A Review of Potential Economic Benefits, Trout Unlimited, Arlington. 