

보 철거 우선순위 결정을 위한 기초 조사 연구

A Preliminary Investigation about the Priority Decision Criteria on Removal of Weirs

이동섭*, 우효섭**, 안홍규***, 권보애****

Dong Sop Rhee, Hyoseop Woo, Hong Kyu Ahn, Bo Ae Kwon

요 지

하천 수위 유지나 용수 취수 목적으로 사용되는 보는 현재 국내에 약 18,000여개 정도가 설치되어 있으며, 대부분 용수 공급 시설로 이용되고 있다. 하천에 보가 축조되면 하천생태통로의 차단, 보 상류부 수질 악화, 수변 생물서식처의 변화, 경관 훼손 등의 문제가 발생하게 되지만, 이를 해결하기 위한 방법은 극히 일부 보에 생태 통로로서 설치되는 어도 외에는 거의 없는 실정이다. 최근 농경지 도시화, 경작 방식의 변화, 취수시설물 통합, 시설 노후화 등으로 매년 수십 개 이상의 보가 폐기되고 있으나, 폐기된 보는 철거되지 않고 하천에 존치되어 여전히 문제를 발생시키고 있다. 외국의 경우에도 기능을 상실한 보/소형 댐을 보 철거 의사 결정 과정을 통해서 철거를 결정한 후 철거를 시행하고 있으며, 기 철거 사례를 분석한 결과를 바탕으로 과학적이고 공학적인 보 철거 우선 순위 결정 방법을 제시하기 위해서 노력하고 있다. 국내의 경우 아직 보 철거를 통한 환경 복원이 일반화 되어 있지는 않지만, 그 필요성이 점차 증가하고 있으며, 이를 위해 국내 환경에 적합한 보 철거 의사 결정 과정 마련을 위한 연구 필요성이 같이 증가하고 있다.

본 연구는 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 기술 개발을 위한 기초 연구의 일환으로 보 기능 저하 요인 파악을 위해 각 주요 수계에 설치된 보를 현장 조사하였다. 조사 결과 기능이 저하 중인 보로 판단되는 보를 분석하여 유형화하고, 요인별로 대표적인 예를 제시하여 이후 판단 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 보, 기능 상실, 기준

1. 서론

하도 내에 축조된 보로 인하여, 어류 및 수중 생물이 이동할 수 있는 하천생태통로가 차단되며, 흐름 정체로 인하여 보 상류부의 수질이 악화되고, 수변 생물 서식처가 변화하며, 하천 경관이 크게 훼손당하게 된다. 이러한 문제는 이미 널리 알려져 있지만, 아직 국내의 경우에는 적극적으로 대처하지 않고 있으며, 회유성 어류가 소상하는 하천에 설치된 일부 보에 대해서만 어도가 어류 생태통로로서 인위적으로 설치되고 있다. 하지만 이러한 인위적인 대응은 생태통로의 복원이라는 관점에서 바라볼 때 전체적으로 극히 미미한 수준이며, 대상 생물의 특성을 제대로 고려하지 않아 어도로서의 순기능이 매우 미약한 것이 사실이다.

외국의 경우에도 국내와 마찬가지로 소수력 발전, 관개, 홍수 조절, 용수 저류 등의 목적으로 하도 내에 수많은 보를 설치하여 활용하고 있다. 특히 미국의 경우 지난 백 년 동안 대략 1.8 m 이상의 높이를 가지는 소규모 댐을 75,000개 이상 설치해 왔으며, 보다 규모가 작은 보(weir)의 경우에는 그 수를 헤아릴 수 없을 정도로 많이 설치되어 있다고 한다(Friends of the Earth 등, 1999). 미국의 경우에는 국내와는 달리 대부분의 보나 소규모 댐이 개인이나 회사 등에 의해서 설치되어 이용되고 있는 경우가 많다. 이러한 보 중 기능을 상실하거나, 노후화

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : dsrhee@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구위원·E-mail : hswoo@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임 연구원·E-mail : ahnhk@kict.re.kr
**** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : bboranee@kict.re.kr

하여 용도가 없어진 보의 경우 더 이상 관리가 제대로 이루어지지 않아 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.

국내의 경우 아직까지는 하천 생태통로 복원, 안정성 등을 목적으로 보나 소규모 댐을 철거하는 경우는 거의 없다. 현재 전국적으로 약 18,000여개의 보가 가동 중인데 그 중 높이 2.0 m 이하의 보가 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, 양수장/취수장의 통폐합, 시설 노후화 등을 이유로 폐기되고 있다(한국건설기술연구원, 2005). 하지만 폐기된 보는 대부분 하천에 남아있어 계속하여 문제를 발생시키고 있으며, 국내의 경우에도 이러한 기능을 상실한 보 철거를 통하여 하천생태통로복원 및 수질 개선, 하천 경관 개선 등을 할 필요가 점차 증가하고 있다. 따라서 보 철거 우선순위를 결정하기 위해서 적절한 기준이 필요하다.

본 연구에서는 국내 환경에 합당한 보 철거 기준을 제시하기 위한 기초적인 연구로, 현재 외국에서도 정립 이전 단계에 있는 보 철거 결정 방법론을 일부 소개하며, 보 철거 예비 단계 중의 하나인 "보 기능 상실 여부 판단" 기준 제시를 위한 기본 인자를 파악하기 위해서 경기도 북부 수계의 보를 중심으로 현장 조사를 수행하여 분석하였다.

2. 보 철거 결정 방법론

2.1 일반적인 보 철거 의사 결정 과정

일반적인 보 유지/철거(retention/removal) 과정은 다음과 같다(The Heinz Center, 2002).

1. 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. 보 철거와 관련하여 대상 보와 직접적으로 관련된 문제로부터 지역 주민들이 관심을 가지는 여러 관련 민원까지 포함하여 가장 큰 문제점이 되는 부분이 무엇인지 파악한다.
3. 법률적, 경제적, 사회적, 환경적 측면을 모두 고려하여 보 철거를 통해 얻어질 잠재적 이익을 평가하며, 이와 관련된 하천 운영(river operation) 자료를 수집한다. 이러한 평가는 현재 및 미래의 상황을 통찰할 수 있는 일련의 지표를 예측함으로써 수행된다.
4. 앞 단계를 통해 구성된 보 철거를 통해 얻어질 이득(gain) 및 손해, 비용과 이익(benefit), 민간의 지지와 관심, 공익과 사익(私益)에 대한 지식을 모두 망라하는 판단 체계 내에서 보 철거 결정을 내린다.

2.2 기대 비용 및 이익을 이용한 우선순위 결정

현존하는 보의 철거 결정은 다양한 환경 인자 및 사회적 요소 간의 복잡한 상호 작용을 포함한다. 개별 요소들 간의 상호관계를 이성적으로 철저히 고려하면 제안된 단일 보 철거 사업에 대해 극단적으로 복잡하고 비용이 많이 드는 분석이 필요해지는 경우가 많다. 따라서 잠재적 이익이 더 큰 사업에 초점을 맞추어 보다 광범위하고 시간이 많이 필요한 정밀 분석을 수행하기에 앞서 제안된 보 철거 사업의 우선순위를 이성적으로 정할 수 있는 단순화된 분석이 필요하다.

Anderson과 Barber(2000)는 공학적인 원칙을 조합한 지표형 분석(indexing type analysis)을 통해 이익/비용 지표(Benefit/Cost Index; BCI)를 개발하였다. 분석을 통해 나온 BCI는 가장 저비용으로 가장 큰 이익을 얻을 것으로 기대되는 철거 우선순위를 결정하기 위해서 사용된다. 개별 소요 비용과 개별 기대 이익의 가치는 효용(utility)으로 표현된다. BCI는 철거로 인한 기대 이익(EBR)과 철거로 인한 기대 비용(ECR)의 비로 정의되며, 다음과 같다.

$$BCI=EBR/ECR \quad (1)$$

전체 보 목록에 대하여, 가장 높은 BCI를 가지는 보의 철거가 선호된다고 가정한다면, BCI를 이용해서 우선순위를 매길 수 있을 것이다. 말하자면, 가장 적은 기대 비용에 가장 큰 기대 이익을 가지는 보가 가장 먼저 철거 대상이 될 것이다.

EBR과 ECR을 결정하기 위해서, 철거에 드는 잠재적 비용과 보 철거를 통해 얻어질 잠재적인 이익은 현장 조건을 고려하여 비용 범주와 이익 범주를 구분하여 제시하는 것이 필요하다. 일반적으로 4가지 비용 범주(cost category)를 사용하는데, 각각의 범주는 다음과 같다; 1) 댐 구조물만 철거(C_1), 2) 댐 구조물을 철거하고 오염된 댐 상류의 저수지 퇴사를 개선(C_2), 3) 댐 구조물을 철거하고, 오염된 댐 상·하류의 저수지 퇴사를 개선(C_3), 4) 댐 구조물을 철거하고, 오염되지 않은 저수지 하류의 퇴사를 개선(C_4). 각각의 비용 범주에 대해 총 비용 지표를 나타내는 비용 효용이 부여된다. 이 비용 효용과 개별 비용 범주에 대한 초기 조건부 확률(initial conditional probability)은 과거의 보 철거 사례로부터 산정한다. 따라서 ECR은 다음과 같이 계산되며,

$$ECR=U_1P[C_1]+U_2P[C_2]+U_3P[C_3]+U_4P[C_4] \quad (2)$$

여기에서, U 는 비용 효용이며, $P[C]$ 는 개별 보 철거 사업에 대해 각각의 비용 범주가 나타날 조건부 확률이다. 마찬가지로 이익 범주(benefit category)도 4가지를 사용하며 1) B_1 은 근소한 이익 증가(예, 수변 여가 활동 개선), 2) B_2 는 내수면 어업 이익 증가, 3) B_3 는 공공 건강(public health) 및 안전(public safety) 기준 만족, 4) B_4 는 음용수 표준 충족 등으로 구분된다. 이러한 개별 이익 범주에 대하여 총 이익 지표를 나타내는 이익 효용이 부여된다. EBR을 계산할 경우 과거에 보의 가동으로 얻어지는 이익에 대하여 고려해야 하는데, 이는 이익 상실 범주(loss-of-benefit category)로 고려되며, 이 범주들은 각각 1) L_1 은 관개 능력 상실, 2) L_2 는 소수력 발전 가능성 상실, 3) L_3 는 홍수조절능력 및 저류 능력 상실인데, 마찬가지로 이익 상실 효용이 부여된다. 이러한 이익의 총량은 멸종 위험종이 있거나, 보 하류에서의 용수 취수와 같은 현장 특성에 따라 달라지며, 역시 과거의 사례로부터 산정 한다. EBR은 다음과 같이 고려된다.

$$EBR=U_1P[B_1]+U_2P[B_2]+U_3P[B_3]+U_4P[B_4]-L_1-L_2-L_3 \quad (3)$$

여기에서, U 는 이익 효용이며, $P[C]$ 는 개별 보 철거 사업에 대해 각각의 이익 범주가 나타날 조건부 확률이며, 이익 상실 효용은 필요한 경우에만 고려한다.

3. 보 현황 조사 결과

경기도 북부 지역의 지방 1, 2급 하천을 대상으로 조사를 수행하였다. 경기도 북부 지역은 농촌 지역이 점차 개발로 인해 도시화가 진행되고 있는 지역이기 때문에 기존 보의 기능 상실이 어떤 방식으로 진행되는 지 조사를 통해 파악할 수 있을 것이라 기대되어 조사 지역으로 우선 선정하였다.

가동 중인 보는 45개소, 현 기능이 저하하고 있는 것으로 판단되는 보는 52개소로 총 97개소를 조사하였다. 조사 지역이 대부분 농촌 지역이었기 때문에, "가동 중" 판단은 주로 주변 토지의 농경지 이용 여부, 취수 시설 운영 여부를 먼저 조사하여 결정하였으며, 또한 주변 토지 이용이 농경지에서 관광지로 변화하여 취수 기능이 더 이상 필요하지 않는 것으로 생각되더라도, 관광 및 레크리에이션 용도로 사용되는 것이 명확할 경우 가동 중인 보로 파악하였다.

조사 결과를 종합하여 기능 저하 요인은 "상부 퇴적", "구조물 노후", "주변지역 토지이용 변화"로 구분하였으며, 특히 구조물 노후 범주에는 구조물이 노후하여 파손되어 취수 기능이 저하한 경우 및 구조물이 노후하여 안전상의 위협이 되는 경우도 포함하였다. 그러나 본 조사결과는 보 관리기관에서 공식적인 가동 및 폐기 여부를 확인한 것이 아니며, 연구자의 공학적 판단에 의지하여 분류하였다. 이러한 방법으로 현재 가동 중인 보와 기능이 저하하고 있는 보를 동시에 조사하여 표 1.과 같이 보 현황을 파악하였다.

표 1. 전제 조사 보 현황

수계명	하천명	가동 중	기능 저하 중(추정)					합계
			상부 퇴적	구조물 노후	주변지역 토지이용 변화	기타	소계	
북한강	구운천	-	9	2	1		12	12
	조종천	2	1				1	3
	가평천	9	1				1	10
	문호천	1	7	3			10	11
영평천	포천천	-	9	2	1		12	12
	외북천	-	1				1	1
신천	신천	4			1	1	2	6
	석우천	1		1			1	2
	우고천	3						3
	입암천	5						5
	홍죽천	2	1				1	3
	효촌천	1						1
곡릉천	곡릉천	9	2	2		1	5	14
	고산천	1						1
	석현천	4		1	1		2	6
	장진천	3		4			4	7
계		45	31	15	4	2	52	97

조사된 보 중 기능이 저하 중인 보가 차지하는 비율은 53%로 비록 조사 지역이 제한되어 있었고, 조사 지역의 지역적 특성을 감안하더라도 상당히 높은 비율을 보이고 있다. 그리고 기능이 저하 중인 보로 분류되는 사례 중 상부 퇴적이 저하 요인인 보가 차지하는 비율이 전체의 32%로 조사 지역이 주로 농촌/도시화 진행 지역으로 하천의 토사 유출이 심한 지역적인 특성을 반영한 결과로 판단된다.

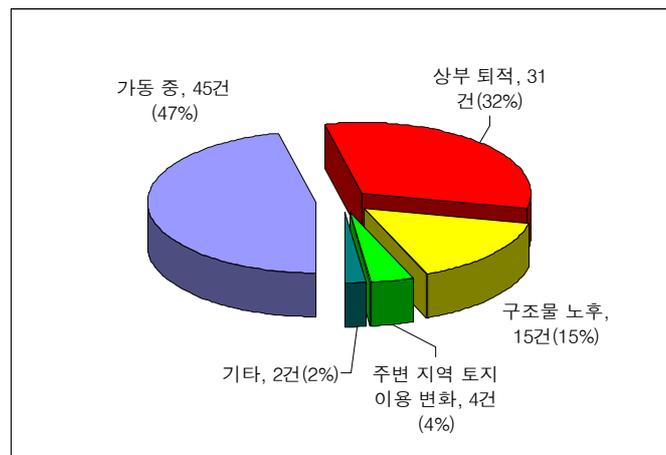


그림 1. 전제 조사 보 현황

그림 2.에 각 수계별 특징을 도표로 나타내었다. 조사 지역 중 북한강 수계와 영평천 수계는 주변 지역에 대부분 농경지로 전체 현황과 유사하게 상부 퇴적으로 인한 기능 저하 사례가 많았으며, 곡릉천 수계는 구조물 노

후화로 인한 기능 저하 사례가 두드러진다.

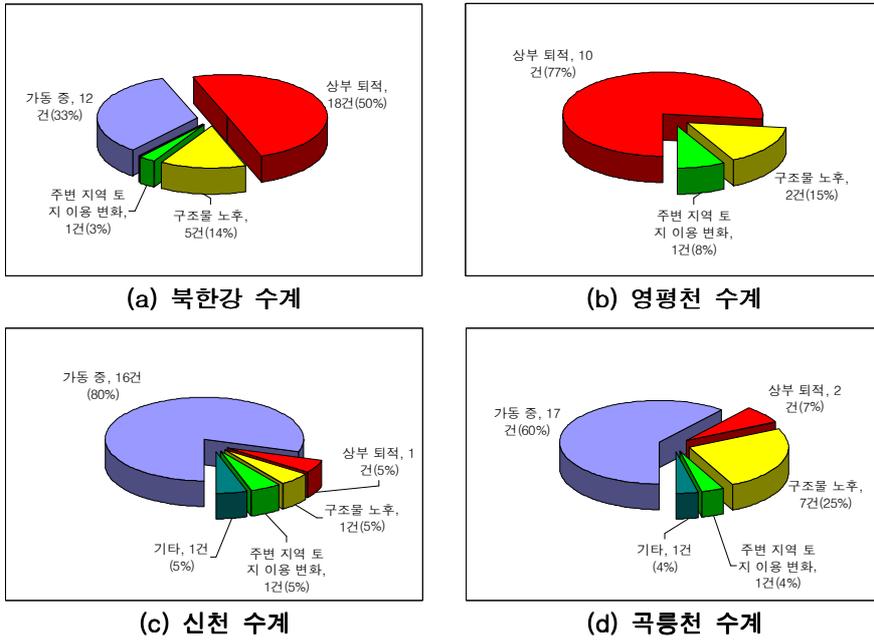


그림 2. 수계별 조사 보 현황

표 2.에 각 기능 저하 요인별 대표 사례를 나타내었다.

표 2. 기능 저하 요인별 대표 사례

기능 저하 요인	하천	위치 및 특징	현황
상부 퇴적	외북천	포천시 신북면 신곡리	
		상부 퇴적으로 식생 번성, 저류 능력 저하	
주변지역 토지이용 변화	석현천	양주시 장흥면 일영리	
		주변 지역이 관광지로 변화, 취수 필요성 감소	
구조물 노후	석현천	양주시 장흥면 일영리	
		구조물 노후화로 일부 파손, 저류 능력 감소	

4. 결론

본 연구는 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 기술 개발을 위한 기초 연구의 일환으로 보 철거 우선순위 결정 기준 연구를 위하여 각 주요 수계에 설치된 보를 현장 조사하였다. 기능이 저하 중인 보들은 주변 경관과 조화를 이루어 친수 환경 조성 등에 기여하는 경우도 있었지만, 대부분의 경우 하천에 방치되어 주변 상태 및 경관을 해치며 흉물스럽게 방치되거나, 주변 하천 구조물의 안전을 위협하고 있는 경우도 있었다.

조사 결과 기능이 저하 중인 보로 판단되는 보가 전체 보에서 차지하는 비율이 기대 이상으로 높았으며, 조사 결과를 바탕으로 3가지 기능 저하 요인을 제시할 수 있었다. 하지만 조사 지역의 제한과 지역적 특수성으로 인하여 기능 저하 요인을 더 다양화하지 못했으며, 정성적인 조사방법에 바탕을 두어 기능 저하 요인을 정량화하여 제시하지 못하였다. 따라서 앞으로 보 철거 우선순위 결정 기준 제시를 위해서는 조사 지역을 확장하고 범용적인 기준 마련을 위해 보다 정밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감 사 의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업의 지원을 받는 “기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 및 수질개선 효과”과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원 (2005). 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 및 수질개선 효과 1차년도 중간보고서.
2. Friends of the Earth, American Rivers, and Trout Unlimited (1999). *Dam Removal Success Stories*. <http://www.americanrivers.org>.
3. Glen R. Anderson, Michael E. Barber (2000). "Condition Assessment Needs for Prioritizing Small Dam Removal." *Water Resources 2000: Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000*, ASCE, Minneapolis, Minnesota.
4. The Heinz Center (2002). *Dam Removal: Science and Decision Making*. Washington, D.C.