

외국 댐관리 관점에서 바라본 향후 한국의 댐관리 방향 (노후화된 댐 관리방안 중심으로)



조 영 대 |

한국수자원공사 하천기술센터장
choyd@kwater.or.kr



한 지 현 |

한국수자원공사 차장
jhhan@kwater.or.kr



장 성 필 |

한국수자원공사 과장
jang@kwater.or.kr

1. 머리말

‘한강의 기적’의 출발점인 소양강댐이 건설된지도 어느덧 40년이 지났다. 소양강댐은 우리나라 다목적댐 건설의 시발점을 알린 댐으로, 홍수예방과 수도권을 포함한 인근지역의 물공급, 수력발전을 통한 친환경에너지 생산 등 우리나라 국민에게 미친 영향이 크다고 할 수 있다. 소양강댐 건설전 상습 침수구역이었던 압구정은 댐 건설후 우리나라에서 가장 비싼 땅값을 자랑하는

지역이 되었다. 우리나라에는 1910년대 초반 일제강점기부터 본격적으로 하천조사가 시작되면서 100여년간 2m 이상 높이의 댐 약 18,000개가 건설되었다. 이 기간은 크게 4단계로 구분할 수 있다(표 1 및 표 2).

- 1단계(~1960년) : 치수위주의 하천개수 및 단일목적댐(농업용, 발전용) 건설 시기 ; 이 시기에는 일제하에서 우리나라의 14개 하천에 대해 조사를 실시하여 하천개수계획을 수립하였다. 이를 기초로 부족한 인프라를 보완하기 위한 농업용 또는 발전용 댐을 건설하고 치수 위주의 하천 개수사업이 중점적으로 수행되었다.
- 2단계(1960년대) : 종합적인 수자원 개발을 위한 초기 다목적댐 개발 시기 ; 본격적인 유역조사를 통해 수계의 종합적이고 장기적인 개발방향을 설정하고 치수와 이수를 동시에 해결하기 위해 유역 수자원종합개발의 핵심인 다목적댐 건설이 시작되었다.
- 3단계(1970~1980년대) : 본격적인 대규모 다목적댐 건설 시기 ; 인구증가 및 본격적인 산업발달에 따른 급격한 용수수요 증가에 안정적으로 대처하고 항구적인 홍수피해 예방대책 수립을 위

표 1. 국내 댐 연도별 설치 현황(출처 : 한국 대댐회)

건설시기	합 계	'45년 이전	'46~'59	'60~'69	'70~'79	'80~'89	'90년 이후	
총계	개 소	17,742	9,558	2,042	3,618	1,547	550	427
	비 율	100%	53.9%	11.5%	20.4%	8.7%	3.1%	2.4%

표 2. 국내 댐 용도별 현황(출처 : 수자원장기종합계획(2011~2020))

구 분	합 계	다목적댐	용수전용댐	발전전용댐	농업용저수지	하구둑
전 체	17,742	15	54	12	17,649	12
용수공급(백만㎥/년)	18,771	10,883	881	1,335	2,742	2,930

하여 본격적으로 다목적댐이 건설되었다.

- 4단계(1990이후) : 환경과의 조화를 고려한 중규모 다목적댐 전환 시기 ;

1970~1980년대 활기를 띠었던 대규모 다목적댐 건설은 1990년대 들어 댐 건설 적지의 감소, 지역주민의 반대, 토지가격의 상승, 환경에 대한 국민의식의 전환 등 댐 건설 여건의 변화로 대규모 댐 건설에서 이수·치수·환경보전을 목적으로 하는 중규모 댐 건설로 전환되었다. 이로써 부안, 밀양, 용담, 황성, 장흥, 군위댐 등 중규모 다목적댐이 건설되었으며 현재 부항, 성덕, 영주, 보현산댐 등은 건설 중에 있다.

우리나라 댐의 노후화 정도를 살펴보면, 1960년대 이전에 건설된 댐이 11,600개소로 댐의 내구연한인 50~100년을 고려할 경우 65%이상이 준공후 50년 이상된 노후댐으로 분류된다. 이는 비단 우리나라에 국한된 문제가 아니다. 본고에서는 미국의 댐 철거 사례를 중심으로 외국에서

댐의 노후화에 대해 어떻게 대비하는지에 대해 살펴보고, 노후화 된 댐 관리방향이 있어서 우리가 나아가야할 방향을 고찰해 보고자 한다.

2. 미국의 댐 현황

미국은 세계 최대의 댐 보유국가중 하나이다. 미국 전역에 보나 소규모 댐은 약 2,500,000개가 건설되어 있는 것으로 추정된다. 이 중 미공병단(United States Army Corps of Engineers)의 NID(National Inventory of Dams)에 등록된 댐의 개수는 2010년 기준으로 84,134개이며, 이중 높이 1.8m 이상인 댐의 개수는 약 75,000개이고 높이 15m 이상인 대댐의 개수는 약 6,000개 이상이다(그림 1).

이들 댐 중 높이 1.8m 이상의 댐 57,000여개에 해당하는 66%의 댐을 개인이 소유하고 있다. 지방정부에서 소유하고 있는 댐은 약 22%, 주정부 및 연방정부에서 소유하고 있는 댐은 전체의

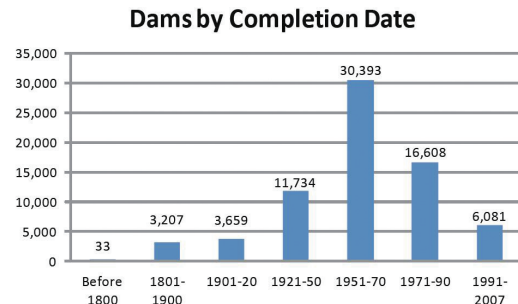
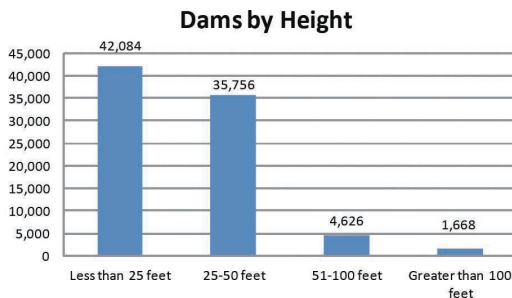


그림 1. 미국의 댐 설치 현황(출처 : NID)

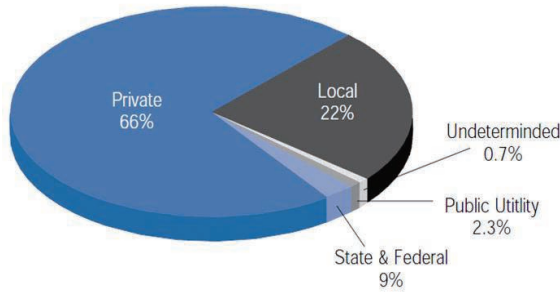


그림 2. 미국의 댐 목적 및 소유권(출처 : Dam removal option, The ASPEN INSTITUTE)

9%에 불과하다. 개인 소유의 댐이 많은 이유는 댐의 건설목적에 의해 알 수 있다. 미국의 댐 건설목적은 크게 레크레이션, Fire&Farm ponds, 홍수조절, 관개, 용수공급, 수력발전, 주운, 기타 등으로 나뉜다. 이중 레크레이션을 목적으로 지어진 댐이 전체의 30%를 넘게 차지한다(그림 2).

3. 철거되는 미국의 댐들

최근 들어, 미국의 경우 댐 노후화로 운영 및 관리비용 상승, 수변공간의 Amenity 개선욕구, 수생태계의 복원 등이 사회·환경적인 문제로 대두되면서 소규모 댐의 철거가 새로운 이슈로 등장하고 있다. 1912년 이후 100년 동안 미국에서는 약 1,100개 댐이 철거되었는데, 이는 홍수에 방과 물 공급 목적의 연방정부 소유 댐이 아닌 민간, 지방정부 및 공기업 소유의 댐 위주로 철거되었다(그림 3). 반면, 레크레이션과 주운을 위

한 댐은 철거대상에서 제외 되었는데, 이는 저수지를 기반으로 한 레크레이션이 저수지가 아닌 다른 수단으로 대체될 수 없으며, 주운은 철도 및 트럭 등을 이용한 육로수송 형태로 대체될 수 없기 때문이었다. 최근 20년 사이에 철거된 댐은 약 800개로, 대부분 설계수명을 다해 구조상 위험하거나 더 이상 경제적 이득이 없는(Cost >> Benefit) 댐들이 대상이었다. 또한, 최근 일부 환경단체를 중심으로 하천의 흐름을 방해하며 회유성 어류의 이동을 저해하는 소규모 댐들을 중심으로 연방 및 주 정부, 지자체 등과 협력하여 댐 철거사업들을 진행하고 있다.

2012년의 경우 미국에서는 63개의 댐이 철거되었으며, 철거된 댐들을 살펴보면 시설의 노후화에 따른 대민안전 확보 및 회귀성 어류 이동통로 확보를 위해 철거한 경우가 전체의 약 60%를 차지하였다. 또한 세부 시설제원 및 현황이 파악된 33개 댐 중 31개 댐은 건설된지 50년이 넘어 내구연한이 지난 댐으로 우리나라의 보에 해당되

목적	개소	비율(%)
합계	63	100
어류이동	21	33
대민안전	17	27
사유미상	10	16
가치상실	4	7
흐름개선	4	7
기타	7	10

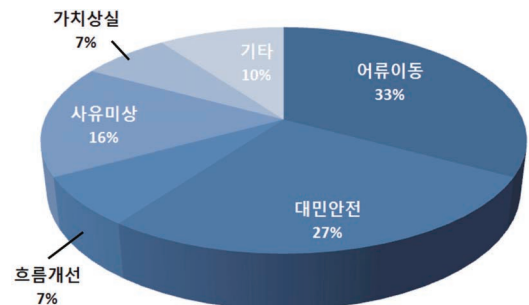


그림 3. 2012년 댐 철거현황(출처 : Wikipedia)

는 높이인 10m미만의 소규모 댐에 해당되었다. 높이가 10m 이상되는 댐은 Brown Bridge Dams(36.58m)과 M Seeman Dam(12.19m)으로 두 댐 모두 수력발전시설로 활용되었으나 경제적 가치를 상실하고 지역사회에 심각한 위험을 줄 것으로 평가되어 철거되었다.

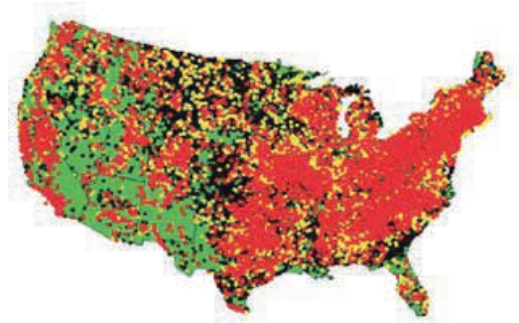
미국에서 댐을 철거하는 목적을 살펴보면 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫째, 댐의 내구연한 경과로 붕괴 등의 안전 문제가 있을 경우, 둘째, 유지보수, 환경, 안전 및 사회문화적 충격을 포함하는 비용이 수력, 홍수제어, 관개, 여가활동에 따른 이익보다 크다고 판단되는 경우, 셋째, 법과 정책에 따라 댐이 건설당시의 목적에 해당하지 않을 경우, 넷째, 환경복원에 대한 이슈가 있는 경우이다.

■ 댐 철거 : 안전성

국내와는 달리 미국의 경우 대부분의 소규모 댐들이 개인이나 회사 등에 의해서 설치되어 이용되는 경우가 많다. 이러한 시설물중 기능을 상실하거나 노후화되어 용도가 폐기된 댐의 경우는 더 이상 관리가 제대로 이루어지지 않고 있어 사회적 문제로 부각되고 있다. 이러한 댐들은 노후되어 지진·홍수에 의한 붕괴 위험, 퇴적물로 인한 댐의 저수 기능 상실, 봄철 유빙에 의한 수위 상승, 홍수 발생시 유량제어 불능에 의한 수위 상승 등 심각한 문제를 야기하기도 한다. 이러한 상태는 인근 주민들에게 위험을 가할뿐만 아니라 하천 제방 및 둔치의 침식을 야기하고 상·하류에서의 홍수를 발생시키며 공공 및 사유재산에 영향을 미치기도 한다. 또한 어류의 이동을 방해하고 토사를 퇴적시키며 수질을 악화시킨다.

미국 ASDSO(The Association of State Dam Safety Officials)에 의하면 미국 내 약 14,000개의 댐이 심각한 위험 상태이며 2020년 이 되면 전체 댐의 약 85%가량이 내구연한이 초

과되어 구조적으로 위험하다고 분류되어 있다(그림 4). 이러한 결과는 향후 미국내에서 댐 철거에 대한 논의가 더욱 활발해질 것이라는 예측을 가능하게 한다.



red : 고위험도 13,990
yellow : 상당한 위험 12,662
black : 낮은 위험 57,362

그림 4. 미국 댐의 위험도(출처 : NID)

■ 댐 철거 : 경제성

미국에서 댐 철거를 고려함에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것은 경제성이다. 미국 위스콘신에 위치한 14개의 댐 철거 사례 보고서를 살펴보면 댐 보수를 통해 댐 수명을 연장하기 위한 비용은 댐 철거에 예상되는 비용보다 3배나 높다고 한다 (Born et al. 1998). 또한 어업은 주민들에게 있어 중요한 수입원의 하나로 어획 및 생태·낙시 관광을 통한 수입, 유지보수 및 어도설치를 위한 비용, 댐을 통한 전력을 생산하는 것에 대한 종합적인 비교를 통해 댐 철거를 결정한다(Kruse and Scholz 2006).

2010년 댐의 철거가 확정된 워싱턴주 화이트 새먼강의 콘디트댐은 댐을 철거하는 이익이 수력 발전중단에 따른 이익보다 크게 평가되어 철거된 대표적인 사례이다. 이 댐은 1996년 에너지규제 위원회가 운영업체에 재허가 조건으로 어도 개량과 상시 방류량 확대를 요구함에 따라 경제성 문제로 발전중지를 결정하였고 댐 철거를 진행하였다. 미국내에서는 노후화된 댐의 유지보수 또는

표 3. 댐 철거와 수리비용 비교

	Estimated	Removal	Diff.
Dam (removal date)	Repair (\$)	Cost (\$)	% Less
Lake Christopher Dam, CA (1994)	160,000	100,000	38
Edwards Dam, ME (1999)	9,000,000	2,100,000	77
Grist Mill Dam, ME (1998)	150,000	56,000	63
Sandstone Dam, MN (1995)	1,000,000	208,000	79
Two-Mile Dam, NM (1994)	4,100,000	3,200,000	22
Rat Lake Dam, WA (1989)	261,000	52,000	80
Waterworks Dam, WI (1998)	694,600	213,770	69
Mounds Dam, WI (1998)	3,300,000	500,000	85
Newport No. 11 Dam, VT (1996)	783,000	550,000	30

어도 설치 비용대비 댐 철거 비용이 약 60%이상 더 경제적인 것으로 조사되었다(표 3). 이렇듯 경제성을 고려할 경우 댐 철거는 막대한 유지보수 및 개선비용을 절감하기 위한 현실적인 대안이라고 여겨지며 점차 비율이 높아져가고 있다.

■ 댐 철거 : 법과 정책

미국에서는 「멸종위기동식물보호법(ESA, Emotional Support Animal)」과 「연방에너지법(Federal Power Act)」을 통해 댐의 활용성을 검증하고 철거여부를 결정한다. 멸종위기동식물보호법(ESA)은 현존하고 있는 생태계와 종을 보호하고자 만들어진 법이고 연방전력법(FPA)은 전력의 발전에 관한 것을 규제하는 법이다. 댐 철거는 연방에너지법에 따라 설치된 연방에너지규제위원회(FERC, Federal Energy Regulatory Commission)에서 30~50년 단위로 발전면허 재심사시 전력생산의 경제적 이익과 환경에 미치는 영향을 동등하게 재평가하며, 면허갱신시 환

경청(EPA, Environmental Protection Agency), 국립해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration), 어류야생동물청(FWS, Fish and Wildlife Service) 등 관련 연방기관들이 어도 개량 및 최신시설 교체, 유지용수 방류량 확대 등의 갱신조건을 제시하여 이를 만족하는 시설에 대해서만 발전에 대한 면허를 갱신하여 준다. 이를 통해 수력발전 댐의 허가와 재허가를 통제하여 댐의 철거여부를 결정한다.

■ 댐 철거 : 환경복원 이슈

미국에서는 멸종위기종을 보존하기 위해 매년 상당한 양의 비용을 투자하고 있다(Revenue Stream 2008). 콜롬비아 스네이크강(Snake river)유역의 예를 보면 댐 건설이후에 회유성 어종인 연어의 개체수가 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 연어잡이가 주소득원인 주민들에게 심각한 경제적 타격을 입혔다. 이에 대한 대책으로 댐에 어도를 추가로 설치하여 댐의 상류에서 하류로 어린 연어들이 이동할 수 있도록 개선하였으며, 그 결과 연어 개체수 감소율이 둔화되는 것을 확인하였다. 만약 어도를 설치하지 않았다면 연어는 스네이크강(Snake river)에서 사라져 버렸을지도 모른다. 이러한 사례는 강의 하구에 위치한 댐이 철거된다면 더 많은 연어의 개체수를 증가시킬 수 있을 것이라는 생각으로 이어져 추가적인 댐 철거 요구의 도화선이 되었다.

미국 워싱턴 주 엘화강(Elwha river)에 있는 엘화댐(Elwha Dam)과 글리네스캐년댐(Glides Canyon Dam)은 연어의 생태통로를 복원하기 위해 댐을 철거한 대표적 사례이다(그림 5). 이들은 각각 1913년, 1927년에 건설되었으며 2012년에 철거되었다. 엘화강 유역의 상류 지역은 올림픽 국립공원(Olympic National Park)안에 위치하고 있으며 강의 하류에는 인디안 보호구역



그림 5. 엘화댐 철거 전·후 비교

(Klallam Indian reservation)에 위치하고 있다. 인디언(Klallam)부족들에게 있어 강은 그들의 정신적 유산에 필수요소라는 강한 믿음을 가지고 있었기 때문에 댐의 철거를 요구하였다. 또한 위의 두 댐은 주법에 따라 어도가 필요함에도 불구하고 어도 없이 건설되었으며 그로 인해 연어 산란지의 90%가 차단되었고 연어의 이동을 방해하여 개체수를 급격히 감소시켰다(Gowan et al. 2006, Duda et al. 2008, Pess et al. 2008). 이는 경제적으로 연어잡이에 의존하며 생활하는 부족들에게 커다란 재정적 손실을 가져왔고 부족들은 이러한 문화적, 경제적 이유들을 근거로 댐 철거를 더욱 강력하게 요구하기 시작했다. 그 결과 전력생산을 목적으로 건설되었던 두 댐은 시설의 노후화와 어도 미설치에 따른 문제, 인디언부족의 문화적, 경제적 반발에 따라 국회에서 철거가 결정되었다.

댐 철거를 결정함에 있어서는 철거에 따른 영향을 최소화 하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 미국에서는 최근 댐 철거를 위한 가이드라인이 제시되고 있다. 대표적인 사례로 뉴햄프셔에서 2001년부터 댐 철거 및 하천복원 프로그램 “Guidelines to the Regulatory Requirements for Dam Removal Projects in New Hampshire”이 수립되었다(그림 6).

18~20세기 동안 뉴햄프셔주는 관개, 수로를 통한 물품운반 등을 위하여 댐들이 설치되었으나, 최근 들어 그 의존도가 줄어들었다. 뉴햄프

셔주의 댐 관련 데이터베이스에 있는 4,800개 이상의 댐들 중에 1,600개 이상의 댐들은 방치되어 있으며, 운영되고 있는 3,200개 이상의 댐들이 이 가이드라인의 규제를 받고 있다. 현재 운영되고 있는 댐들의 대다수는 100년 이상된 댐들로 설계당시의 기대 수명을 훨씬 넘어선 상태이다. 많은 수의 이러한 댐들은 본래의 목적과 기능을 상실한 상태로 인근 지역까지 황폐화시키고 있었다. 이러한 댐들은 하천의 홍수소통 장애와 수질 악영향을 야기시키며 장기적으로는 댐

Step One: Obtain Necessary Information

- Contact DES River Restoration Coordinator at (603) 271-3406
- Obtain necessary permit application materials
- Discuss potential funding sources
- Discuss regulatory process

Step Two: Research, Plan and Design Project

- Data collection
- Identify key issues to address early (e.g., sediment, historical resources)
- Identify and consult with stakeholders
- Consult with the river's Local Advisory Committee, if applicable
- Develop conceptual design plan

Step Three: Permit Application Package Preparation

Prepare the following required forms and their supporting materials:

- Standard Dredge and Fill Application, and Attachment to the Standard Dredge and Fill Application for Dam Removal Projects
- Obtain dam owner signature
- Obtain Town Clerk signature
- Submit permit application package to Town Clerk to be forwarded to DES Wetlands Bureau

Step Four: Permit Review and Issuance

DES Wetlands Bureau has 75 days to review permit application (for projects with less than one acre of impact).

- A Memorandum of Agreement on mitigating effects to historic resources may be required
- Public information meeting(s) or public hearing may be required
- For most projects, the U.S. Army Corps of Engineers must also approve the project after DES Wetlands Bureau approval

그림 6. 뉴햄프셔주 댐철거 절차
(출처 : Guidelines to the Regulatory Requirements for Dam Removal Projects in New Hampshire)

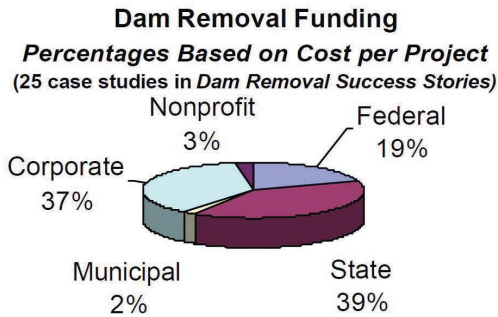


그림 7. 미국의 기관별 댐 철거 Fund 제공비율
(출처: Paying For Dam Removal)

소유주들에게 재정적 부담과 사고 발생시 법률적인 부담이 될 것으로 예상되었다.

노후화된 댐의 제거를 통해 안전하고 효율적인 하천 복원을 위하여 2001년부터 DES (Department of Environment Service)는 댐 제거 및 하천복원프로그램을 만들어 댐의 소유주들에게 정보를 제공하고 댐 제거에 대한 의사결정과정을 돕고 있다. DES의 댐 관리부서는 댐 철거를 위한 서면 승인을 내리는데 다음 두가지 사항을 고려한다. 첫째, 댐이 철거되는데 더 이상의 규제가 필요하지 않을 때, 둘째, 댐 철거가 댐 하류에 직접적인 영향을 끼치지 않는 방법으로 시행 예정일 때이다. 두가지 조건을 만족할 경우 허가증을 발급하여 사람 및 자연환경에 미치는 영향을 최소화하여 댐을 철거하고 있다.

또한, 개인 소유의 댐에 대한 철거 비용은 유관기관이나 주정부로부터 자금을 제공받아 시행된다(그림 7). 특히 위스콘신, 뉴햄프셔, 메사추세츠, 펜실베이니아주에 있는 기관들은 댐 철거에 관심이 있는 사람들에게 댐 철거를 위한 자금이나 저금리 대출과 같은 기술적, 재정적 보조를 위한 프로그램을 제공하고 있다. 대표적인 사례로 펜실베이니아주는 Fishing and Boat 연합이 그들의 어도 및 어류 서식지 복원을 위한 보조금과 컨설팅 프로그램을 만들어 전 지역에 제공하고 있어 댐을 소유하고 있는 사람들은 이 연합에

댐 철거 프로젝트에 대한 도움을 청할 수 있다. 또한 PADEP(펜실베이니아 환경보호국)은 “Growing Greener”라는 보조금 프로그램을 도입하여 지원하고 있다. 이를 바탕으로 미국의 하천보호 기관인 American Rivers는 2003년부터 2006년 3년 동안 주 전역에 \$767,000에 달하는 보조금을 지원받아 53개 댐에 대해 철거 및 어도건설을 수행하였다.

4. 맺음말

앞서 알아본 바와 같이 미국에서는 대부분 노후화되어 기능을 상실하거나 용도 폐기된 소규모 댐을 대상으로 철거를 진행하였으며 일부 어도 신설 등 기능개선이 필요한 댐에 대해서는 철거로 인한 편익 등 경제성을 고려하여 철거대상에 포함하였다. 철거하는 댐은 환경영향 등을 고려한 후 댐 철거에 대한 허가를 받았을 경우에만 철거를 시행하고 있다. 또한 대부분의 철거 사업은 정부 기관이 주도적으로 시행하고 재정도 지원하고 있으며 민간단체와 지역 주민이 정부 기관과 협력하여 댐 철거 사업을 진행하고 있다.

국내의 경우에도 점차 댐이 노후화와 본래 기능상실로 그 가치가 현저하게 저하되고 있다. 대표적인 예로, 최근 붕괴된 경주 산대저수지는 농업용수전용 댐으로서 준공된 지 50년 된 노후시설이었다. 댐 시설은 붕괴 등의 안전사고 발생시 사회적 파급효과가 여타 기반시설보다 크기 때문에 노후댐에 대한 유지관리는 매우 중요하다. 국내에서도 2012년부터 댐 시설 노후화로 인한 안전사고 등에 대비하여 30년이상 된 용수댐을 대상으로 노후댐 성능개선을 위한 용수댐 성능개선 기본계획을 수립중에 있다. 또한 다목적댐을 대상으로도 금년부터 성능개선을 위한 기본계획을 수립할 계획에 있다. 지금까지의 댐 관리는 정밀 안전진단을 통해 결함 및 손상을 평가하고 파손

시설물을 보수하는 사고대응형 유지관리였다면 댐의 급속한 고령화에 대비하여 댐시설의 성능과 수명을 고려한 예방형 유지관리로 패러다임이 전환되어야 할 것이다. 이를 위해서는 무엇보다도 댐의 노후화정도평가, 경제성, 기능개선 및 환경

복원 등을 고려한 기준마련과 관련 제도의 재정비가 시급한 실정이며, 특히 철거시 저수지내 퇴적된 퇴사관리 등을 고려한 댐 철거관련 기술개발이 절실히 필요하다. 🌊

● 참고문헌

1. 수자원장기종합계획(국토부, 2011~2020)
2. 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 - 미국, 프랑스의 사례(이동섭, 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원)
3. 한국대댐회 웹사이트(<http://www.kncold.or.kr/>)
4. 경기도 지방하천의 보 실태 및 관리방안(경기개발연구원, 2007)
5. Friends of Earth, Trout Unlimited. Dam Removal Success Stories(American Rivers, 1999)
6. PAYING FOR DAM REMOVAL - A Guide to Selected Funding Sources(American Rivers, 2000)
7. Exploring Dam Removal A Decision Making Guide(American Rivers, 2002)
8. Dam Removal - new option for a new century(The Aspen Institute, 2002)
9. Permitting Dam Removal : The state of several states(American Rivers, 2006)
10. Guidelines to the Regulatory Requirements for Dam Removal Projects in New Hampshire(New Hampshire Department of Environmental Services, 2007)