

하천 생태환경 및 자연성 회복에 기여할 수
있는 공공 녹지공간 조성 방안 연구
(미국 도심하천 복원지침과 댐 제거 실행방안 연구)

2019년 5월

장 지 선

국외훈련 개요

1. 훈련국 : 미국

2. 훈련기관명 : 포틀랜드 주립대

Portland State University

3. 훈련분야 : 공원

4. 훈련기간 : '18. 7 ~ '19. 6

목 차

I. 연구개요	1
1.1 배경	1
1.1 연구목적	1
II. 미국 도시하천 복원전략	2
2.1 하천유역의 프로세스와 기능	2
2.2 하천생태 저하	3
2.3 하천복원의 전략과 기술	4
2.4 도시지역 내 연결성 회복	7
2.5 도시지역 생태복원 사례	10
2.5.1 브롱스강 하천생태복원	10
2.5.2 튜알라틴강 하천생태복원	17
III. 미국 댐 제거관련 전략	20
3.1 댐 제거 관련 개요	20
3.1.1 댐과 부속건물의 정의	20
3.1.2 미국 댐의 크기와 위험성 분류	24
3.1.3 미국 댐 목록	26
3.1.4 미국 댐 철거 통계현황	27
3.2 댐 제거와 관련된 법적 현황	29
3.2.1 수력발전댐 관련법	30
3.2.1 댐 안전 프로그램 관련법	31
3.3 댐 제거를 위한 고려사항	33
3.4 댐 제거 프로젝트 계획과 의사결정	39
3.5 댐 제거 의사결정 방법	46
3.6 댐 제거 사례	56
3.6.1 오레곤주 칠로킨(Chiloquin)댐 제거	56
3.6.2 워싱턴주 엘화강(Elwha) 댐 제거	59
IV. 결론	66
4.1 도시지역 하천복원 방안	66
4.2 하천복원을 위한 댐제거 방안	67
4.3 하천복원을 위한 시민참여	68
V. 참고문헌	69

1. 연구개요

1.1 연구배경

하천을 둘러싼 다양한 사회, 문화, 환경적 여건이 변화함에 따라 하천의 관리 방향은 이수와 치수중심에서 생태환경적 가치와 기능 중심으로 변하고 있으며 생태하천에 대한 국민적 관심과 요구가 증대되고 있어 최근 생태적복원을 통하여 하천의 자연적 구조와 기능을 되살리는 사업이 급증하고 있다.

환경부는 ‘물환경관리 기본계획(‘16~‘25)’에서 향후 하천관리에서 기본방향을 수생태계 건강성 및 온전성을 목표로 하고 있으며, 우리시는 ‘2020 물환경관리 종합관리계획(‘09)’에서 ‘다양한 생물이 서식하는 하천생태를 회복한다’라는 수생태 건강성을 6가지 기본방향 중 한가지로 포함되어 있다.

하지만 국내에는 다양한 하천사업을 고려할 때 아직도 생태하천이 가진 본연의 의미를 기초로 만들어진 가이드라인이 없는 실정이며 서울시는 ‘02년부터 생태하천 복원사업을 실시하여 왔으나 복원효과에 대해 의문시 되고 있다. 또한 최근 4대강의 자연성회복을 위해 보 개방 및 철거문제가 이슈화 되고 있으며, 서울시는 한강 내 신곡수중보에 대해 환경단체 중심으로 개방 및 철거를 요구하고 있다. 서울내 지천별로 240여개의 보(낙차공)이 설치되어 있어 하천의 자연성회복을 위해서는 정확한 영향분석 및 보 시설물에 대한 향후계획이 필요하다.

1.2 연구목적

주요 선진국에서는 기후변화 대응 및 하천 생물 다양성 증대, 생물종 복원을 위해 하천생태계 보전 및 복원 정책을 자체 또는 국가 간 통합 조직하여 집중개발 중에 있는 실태이다. 이에 서울시는 ‘생태하천사업 성과평가 및 관리전략 수립 용역(‘15~)’을 추진 중에 있으며 서울시에서 추진했던 생태하천 사업의 문제점과 관리방향을 모색 중에 있다.

서울시는 ‘신곡수중보 영향 분석용역(‘15)’을 실시하여 한강 내 설치된 보(신곡수중보)에 대한 수리·수문, 수질·수생태계, 사회경제 분야에 대한 전반적인 영향을 분석하는 용역을 실시하였으며, 또한 한강-탄천합류부 구간 낙차공 개선계획을 검토 중에 있으며 서울시 전구간에 설치된 보(낙차공)에 대한 기능유지 여부와 생태계 보전 및 연속성 확보를 위한 전면적 검토가 필요한 실정이다.

따라서 이번 연구를 통해서 수생태 복원사업의 선도국인 미국의 기본방향과 미국 내 설치된 댐·보에 대한 관리계획 등을 비교분석하고 서울시 실정에 맞는 생태하천 관리전략과 보(낙차공)의 관리방안 마련을 위해 알아보하고자 한다.

II. 미국 도시하천 복원전략

2.1 하천유역의 프로세스와 기능

자연 상태에서, 강은 물 수송과 저장, 침식, 침전물 수송을 포함한 다양한 지질학적, 수문학적, 생물학적 과정을 수행한다. 수로들은 영양분과 유기물을 공급하고 동물이나 식물 종을 위한 서식지를 제공한다. 강과 범람구역은 주 수문학과 같이 수문 규모의 수문학적 과정에 의해 영향을 받는다.

하도 거칠기 및 홍수 저장 용량, 강바닥 형태는 유속을 조절한다. 산에 있는 강은 바위와 자갈이 높은 난류를 일으키고 흐름 속도를 감소시킴으로서 거칠기가 상당히 높은 반면, 저지대 강은 부유 퇴적물이 매우 작아서 강의 형태나 식물의 거칠기가 하도 내 흐름 속도에 더 큰 영향을 미친다. 거칠기 값이 높은 식물을 갖고 있는 지역은 범람 홍수가 발생하더라도 방출을 늦출 수 있다. 전형적으로 큰 강에서는 곡식과 초목의 거칠기가 거의 영향을 미치지 않는다. 사실 흐름 저항은 주로 하도 굽음과 거칠기에 기인할 수 있다. 불규칙한 강바닥, 곡류 하천, 수영장, 목재 축적은 물의 속도를 현저히 감소시킨다. 범람원 연못, 호수 및 습지는 흐름을 느리게 하여 많은 양의 물을 저장함으로써 하류 방류를 감소시킨다¹⁾

하천 흐름은 또한 강가의 숲과 수생 서식지와 같은 범람원 시스템에서 발생하는 생태학적 과정에도 영향을 미친다²⁾. 하도 특성(깊이, 속도, 거칠기)과 강가 식물은 서식지 및 생물학적 다양성 증대에 기여하여 종족의 공동체의 설립과 유지를 지원한다. 특히, 범람원 저장지의 정수성 서식지는 하천 야생동물의 먹이제공과 산란을 위한 이상적인 조건을 제공한다.

손상되지 않은 강은 가장 다양하고 복잡한 생태계 중 하나이며 특정한 동적 과정에 의해 특징지어진다. 변화하는 강변 풍경은 하천 흐름과 연결되어 있어 지속적인 서식지 변화를 결정하지만 서식지 형태의 패턴과 분포는 상당히 안정적으로 유지된다. 하천변화는 배수, 제방 침식, 장애물 퇴적(횡방향 하도 이동), 범람원 설치 및 하도 전환 등을 포함한다. 하천의 조절은 수류의 열 및 화학적 특성을 결정하며, 따라서 범람원 서식지의 생물학적 다양성을 통제한다.

하도 구조와 범람원 상호작용은 무기질 퇴적물과 유기물질의 운반과 저장에 영향을 미친다. 후자는 주로 하천(예: 수생 식물, 조류, 이끼)과 강가 지역(예: 잎 쓰레기, 씨앗, 육지 무척추 동물)에서 생성된다. 하도의 복잡성은 유기물 수송을 방해하고 하천 내 소비율을 증가시킨다. 하천 내 정체율은 하도의 구조적 특성에 따라 달라진다. 나뭇잎과 같이 더 큰 입자는 나무나 자갈로 쉽게 가둘 수 있다. 씨앗과 같

1) Roni and Beechie, 2012

2) Ward et al., 2002; Doy et al., 2005; Moore and Richardson, 2012

은 더 작은 입자들은 역류에서 정착하거나 수생 및 강가 식물에 의해 포획된다. 하천 내 생물학적 과정은 서식지 선정, 먹이주기, 경쟁, 포식 등 하천 생태계의 구조와 기능에 영향을 미친다. 손상되지 않은 하천 환경은 다양한 생태계 서비스를 제공하나, 도시 계획 및 유역 시스템 개발에 관한 의사결정에서 항상 고려되지 않았다.

2.2 하천생태 저하

하천유동 및 형태에 대한 인위적인 변화는 홍수조절 관리, 수자원 및 수력발전 등을 도모하고, 농업, 산업 및 운송 수요를 충족시키기 위한 것이다. 게다가, 하천 시스템은 도시의 성장과 도시의 수자원 수요에 의해 심하게 변형되었다. 범람을 광범위한 개발과 높은 오염률로 인해 지속적으로 강조되어지며, 강은 하수 폐기물과 유독성 화학 처리와 같은 폐기물의 통로로 자주 사용되어서 오염의 확산을 야기시켰다. 준설, 집중적인 어업, 강가식물 및 수생식물의 제거, 유동체 변화 및 외래 종의 유입은 강 주변의 자연적 복잡성을 줄였고 생태학적 기능의 상실을 초래했다. 하천 건전성은 기본적인 생태계의 기능과 인간 활동으로 인해 위협에 처했으며, 수로의 흐름, 품질, 구조에 영향을 준다. 따라서 일차적 생태계 프로세스는 이러한 과정에 의해 부정적인 영향을 받고 있으며 기능이 저하된 강은 작아진 생태계 기능과 서비스를 제공한다.

북미와 유럽에서는 강물의 집중적인 이용이 500년 전에 시작되었고 19세기 후반과 20세기에 기계화의 도래로 증가하였다. 최근 연구에 따르면 현재 세계 인구의 거의 80%가 물 안보와 강가 서식지의 퇴화로 인한 높은 수준의 위협에 노출되어 있으며 세계수자원위원회는 세계 강의 절반 이상이 오염되었거나 말라버릴 위협에 처해 있다고 추정하였다. 또한, 세계 민물들의 20%이하만이 오염되지 않은 상태이며 서식처의 손실은 수생 생태계에서 주요 멸종 원인으로 지적하였다³⁾

인위적 활동은 하천 환경을 직간접적으로 변화시켜 유역내 공정, 서식지 조건 및 생태적 보전성에 중요한 변화를 가져왔다. 직접적인 변화는 강 유역 규모에 영향을 미치며 관개 목적을 위한 수로 전환, 수로 크기 감소, 수력발전 댐 건설 및 홍수 제어 메커니즘 등은 하류의 퇴적물 및 유기물 수송을 방해한다. 심하게 댐으로 막힌 강에서는 침전물 전달의 시간과 용량을 크게 감소시키며, 농경지의 식물, 강 생물군, 서식지 조건에 큰 영향을 미친다. 수로의 교차부분을 단순화하는 제방 건설 및 독 강화는 홍수 흐름(특히 제방이 위치할 때), 독 침식(특히 독을 강화할때 발생), 하도 이동, 연결 및 강-범람지역 상호 작용을 제거하여 범람원 서식지와 생물학적 다양성을 감소시킨다. 이러한 과정은 또한 범람지역의 형성 및 농경지 생태환경 조

3) UN Water, 2009; Roni and Beechie, 2012

건에 영향을 미친다. 수원의 통로화는 유기물 수송과 저장량을 크게 감소시키고, 수로의 거칠기와 이질성이 유기물 보존에 기여하기 때문에 서식지 단순화를 초래한다.

게다가, 사람들은 강변 지역의 토지 이용을 변화시켜 강변 생태계에 간접적인 변화를 일으킬 수 있다. 이러한 변화는 유역적 규모의 유출 과정뿐만 아니라 침식 및 영양 전달에 영향을 미쳐 하천 유량 균형, 수질 및 생물학적 상호작용의 손실을 초래한다. 농경지 또는 도시개발을 위해 토지를 개간하기 위해 수로의 거칠기를 조절하고 습지를 채우는 것은 서식지의 다양성과 생물학적 능력을 변형시킨다. 자연 서식지의 상태로의 변화는 방목, 농업관행, 불침투성 표면(도로, 포장지, 지붕 꼭대기) 건설을 위한 강변 식물들을 제거함으로써 발생한다. 이로 인해 하천 범위 내에서 제방 침식이 증가하고 영양소와 오염물질 유입이 증가한다. 삼림 벌채는 또한 표면 침식을 증가시키고 초목의 침입과 증발산량을 감소시켜 토양의 압축을 유도하고 침투 능력을 감소시킨다. 도시 집수량 내에서 가장 일관된 효과는 하천의 수문학과 지형학을 변화시키는 불침투성 표면의 증가이다. 집수지역 내 불침투성 지면으로 인한 차단으로 지표 밑의 흐름은 수로로 빠르게 흘러들어 더 빠른 유출을 초래할 수 있다. 또한 도시화와 도로 건설은 하천의 침전물 공급을 증가시키며 농약을 포함한 오염물질, 도시 및 산업 폐기물, 금속, 그리고 질소와 인과 같은 농경지 영양소 등과 같은 오염원은 점오염원(하수처리장과 하수)과 비점오염원(도로, 표면 유출, 지하수)에서 하천으로 전달될 수 있다.

2.3 하천복원의 전략과 기술

최근 몇 십 년 동안, 하천 기능의 가치와 수로에서 제공되는 생태계 서비스에 대한 강조가 증가하면서, 하천 복원에 대한 관심이 상당히 증가되었다. 복구라는 용어는 재활, 강화, 개선, 완화, 간척 전략을 말한다. 도시지역은 기후변화에 적응하고 자연 물순환을 재통합하며 물에 세심한 도시를 만들어야 한다는 합의가 널리 퍼져 있다. 영국 환경식품부가 밝힌 바와 같이 물을 위한 공간을 만드는 과정은 학술 문학과 정치적으로 많은 공감대를 얻고 있다⁴⁾. 현재 침수는 구조적 방어를 구축할 뿐만 아니라 홍수에 대한 복원력을 발전시키는 것에 대해서도 언급되고 있다. 강과 유역을 자연 상태로 되돌리는 것이 환경과 생물의 다양성을 향상시키기 위한 핵심 전략이라는 것이 세계적으로 인식되고 있다. 하천복원은 퇴화되거나 잃어버린 생태계 서비스를 복원할 수 있는 기회를 제공하며 하천유역의 자연적 기능을 더욱 균형 있게 만든다. 하천재활은 생물다양성보전(지원), 지속가능한 홍수관리(규제), 물리적 서식지의 질 복원(규제), 어업환경 개선(문화/보급), 오염관리(규제), 그리고 문화적

4) DEFRA, 2005; McBain 등, 2010

의식(재활용 및 편의성)등을 고려한다.

유럽에서는 20세기 초부터 식재와 생명공학적인 접근에 의존하는 비결합적 강독을 안정화시키는 전략이 진행되어 왔다. 최근 미국(추정 10억달러 예산)과 유럽 국가(특히 덴마크와 영국) 모두 하천 및 유역 복구에 상당한 자원을 투자하고 있다⁵⁾ 몇몇 하천 복원 기술은 단일 측면, 특히 어류 서식지 개선에 초점을 맞추고 있으며 현재 지역 하천 복원 종합계획은 거의 마련되어 있지 않다. 도시화가 심한 지역 내 하천 매립은 공공의 녹지 공간과 자원에 대한 사람들의 인식을 바꾸는 데 도움이 될 수 있지만, 자연적인 과정과 서식지에는 거의 영향을 미치지 않는 경우가 많다. 도시화와 기후 변화의 증대는 사실 지속적인 서식지 감소로 이어지는 도시 수생 생태계를 위협한다. 그러므로 이런 맥락에서 고품질의 서식지의 보호는 도시 복구의 우선순위가 될 필요가 있다.

최근 몇 년 동안 공정 기반의 하천 복원이라는 개념이 중요해지고 있다. Beechie 외 연구진(2010년)에 따르면 이 통합적인 사회생태학적 접근법은 생태계 퇴화의 근본 원인을 해결하고 사회 경제적 요구와 지속 가능한 유역 관리 사이의 새로운 균형을 확립하기 위해 전체론적 기법을 채택했다. 또한 자연과정에 있어서 인위적인 간섭을 피하고 하천의 범람에 대한 생태계의 복원력을 높이는 데 초점을 맞추고 있다. 이는 지속적인 인간의 개입과 유지보수 없이 복원 계획과 조치가 지속적인 회복이 가능하다는 것을 확인시킨다. 프로세스 기반의 복원 목적은 "강과 범람원 생태계를 조성하고 유지하는 물리, 화학, 생물학적 공정의 규범적인 요율과 크기를 재확립하는 것"이다. 이 과정은 단기, 중기, 장기간에 걸친 복구 편익을 극대화하기 위해 지방, 지역, 국가 차원의 다양한 원인과 사회경제적 맥락을 분석한 것이다⁶⁾

수역의 생태학적 가치를 회복하기 위한 최선의 조합 전략으로 규제 체계와 정책계획을 고안하여 인위적인 변형 압박을 감소시키며 이는 자연계의 자율규제, 배출 감소 및 서식지 및 수질개선 등을 가능하게 한다. 특히 하천복원기법의 선택은 구체적인 유역평가와 현안, 목적에 따라 달라진다. 기술은 서로 다른 규모의 도입으로 해결할 수 있다. 강과 강변의 서식환경 개선에 초점을 맞춘 전략(하도 재측정, 식재, 울타리, 방목지 제거)은 직선유역 규모로 설계하고, 연결성(예: 방벽제거, 제방후퇴, 어로통행) 또는 침전물 및 수문공정(예: 폭풍우 유출 규제, 하천흐름)을 복원하는 것은 유역규모에서 맞출 수 있다. 복원 전략은 시간적은 측면에서도 다양하다.

5) 버나르트 외, 2007; Boon 등, 2000

6) (로니·비치(에드), 2012; 길버리 외, 2013).

〈하천복구 방법 및 중간생태계공정, 형태, 장기생태계서비스의 효율화 사례〉



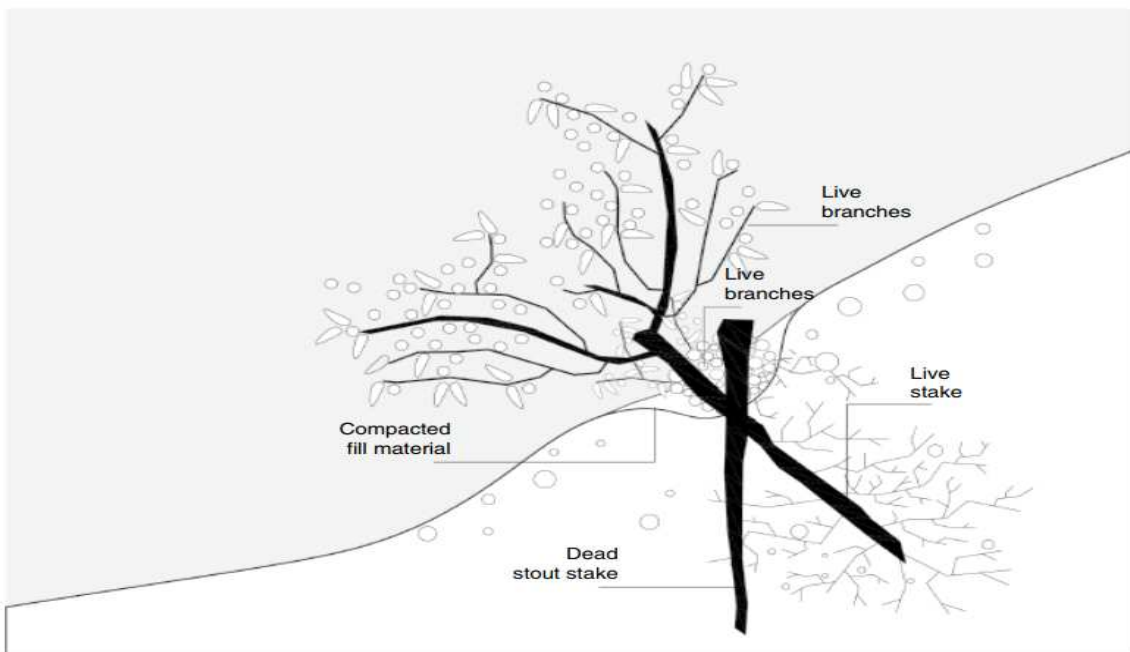
즉, 하천 내 서식지 개선과 연결 복원은 빠른 개선을 가져올 수 있는 반면, 도로 제거나 강변 식재 기술은 효과를 보기 위해서는 몇 년이 걸릴 수 있다. 시스템의 복원력을 높이는 동시에 초기 이득을 얻기 위해 장기 및 단기 전략을 구현할 수 있다. 강변 서식지 개선은 생태계의 생물적 생산성을 향상시키기 위해 자연적인 굴곡화를 복원하고 구조물(옹덩이, 여울, 새로운 홍수림 서식지)를 만들어 수원의 복잡성과 다양성을 증가시키는 것에 기초한다. 직선과 좁은 통로를 구상하는 하천 재 굴곡화는 농업 풍경에서 특히 유용하다. 직선유역 규모에서 강변 버퍼는 이전에 울타리나 집중적인 방목에 의해 손상되었던 제방의 안정성과 강 흐름을 개선할 수 있다.

도시지역에서는 수로들이 도시정착을 위한 공간을 마련하기 매립되어지거나 파이

프와 되어졌고, 많은 도시 지역에서는 개방된 강과 제방의 재설계에 대한 필요성이 널리 퍼지게 되었다. 발달된 유역에서는 시멘트 둑이 서식지 손실을 야기하므로 복원 방법으로는 주로 단단한 구조를 제거하고 식물성 둑을 설계하며 나무와 덩불과 함께 수로를 굴곡화으로써 제방의 재-자연화에 초점을 맞춘다. 생명공학 기술은 강변이나 물속 서식지를 개선하는 반면 제방의 침식을 감소시켜 제방을 안정화한다. 이 접근법은 목재(예: 통나무, 나무, 파진스), 살아있는 식물(살아 있는 나뭇가지, 버드나무 다발), 바위, 천연 섬유 매트(코어 식물, 잔디)와 같은 자연재료를 조합하여, 강변 식물이 자라고 자연스럽게 제방을 안정시킬 때까지 경사 침식을 억제한다⁷⁾

하지만 제방을 보호하고 수로 이동을 방지하기 위한 구조물의 효율성은 유역반경 규모의 과정에서 강의 연결 및 ,침천물, 수문학과 관련하여 방해할 수 있다. 복구 계획의 대표적인 목표는 정착지역내 침천물 및 유출, 수문학적 등의 감소나 복구를 하는 것이다. 일반적인 전략과 기법으로는 천연 배수 시스템, 재포장, 제방 안정화, 지하배수로의 추가 또는 제거, 교차 배수 및 불침투성 표면을 줄이기 위한 도로 개선 등이 있다.

〈제방의 안전화를 위한 생명공학 기술 이용사례〉



2.4 도시지역 내 연결성 회복

도시화와 정착지역의 개입은 하천 연결 작업과 관련되며 인위적인 압력은 물리적, 화학적, 생물학적·생태학적 프로세스의 용량을 감소시켜 강 유역의 연결에 영향을

7) 보칼라로, 2012; 아이작 윌튼 2006; Principato, 2011

미친다. 많은 도시의 하천복구 프로그램은 물이 유입되는 하천을 안정화하고 근접지역의 물의 흐름과 기반시설을 보호하기 위한 단기적인 프로그램을 활성화한다.8). 도시 경로 내의 도시 하천의 기능적인 단기 목표는 오염원 제거, 하도 형태 재구성, 자생 생물군에 대한 서식지 제공 등이며, 장기적인 완전한 하천복원은 도시화의 제한 하에서 항상 가능한 것은 아니다. 그러나 이는 지역적 규모의 하천 서식지 강화 수로는 상류-하류 연결(종방향 연결), 범람원 및 강변지역 연결(측방향 연결) 및 하상간극 및 지하수 영역 연결(수직 연결)을 나타낸다. 연계성은 도시화로 인해 범람원으로부터 고립된 횡방향 수로의 절단에 의해서도 영향을 받는다. 연결성의 회복은 측면 서식지를 다시 연결할 뿐만 아니라 유기물, 침전물 및 영양소의 수송을 재활성화 한다는 것을 의미한다. 그것은 또한 댐, 배수로, 제방과 같은 분리 기반 구조의 제거나 변경을 포함하는 다양한 기술을 통해 수로의 자연스러운 이동을 가능하게 한다.

댐 제거와 자연 수문 시스템의 복원은 주로 하천과 범람원 서식지의 종적 연결을 검토한다. 재연결 기술은 댐, 배수로, 교각의 제거와 수로의 재건 및 강변 식재를 통한 강의 자연형질과 지질을 복원하는 기술을 포함한다.9). 지난 수십 년 동안 종적 연결을 복원하기 위해 배수로와 다른 유형의 도로 교차로를 개조하거나 교체하는 것이 유럽과 북미 모두에서 수많은 복원 계획의 초점이 되어 왔다. 배수로의 교체나 제거는 빠른 어류의 대량서식으로 이어졌고 더욱이 다양한 어류 이동 구조물은 효과적인 이동통로의 복원과 종적 서식지 연결을 위해 사용되어졌다. 연결성은 시멘트, 사석, 암석으로 안정화 된 제방으로 제한될 수 있다. 가능할 경우 제방의 보호구 제거는 수로 이동 및 기타 범람구의 복원에 효과적인 방법이 될 수 있다. 횡방향 연결성 강화는 일반적으로 물의 정체를 강화시키는 하천과 범람구 사이의 연계, 지표와 지표면 아래의 흐름의 교환, 유기물 정체, 자연 침식/침적물 퇴적과 및 수로의 이동 과정을 증가 등 서식지의 다양성을 창출하는 복원을 추구하다. 제방의 제거, 저하 및 후퇴는 하천의 모든 또는 대부분의 하천 기능(물, 목재, 침전물, 씨앗 및 영양분의 보유 및 자연 교환, 미세한 침전물, 수로 이동, 하천의 이동, 강변과 서식지형태의 다양성)회복을 위해 인접 범람구와 연결, 하천의 이동, 하천이 자유롭게 곡류할 수 있게 한다. 인접 토지 이용은 또한 물의 확장 한계와 침수되는 범람구의 부분에 영향을 미친다. 토지 이용은 실제로 토양 침식과 침전물에 영향을 미친다. 홍수 조절은 종종 수로를 재측정하거나 재구성하는 것과 같은 수로 형태학을 조정하기 위한 다른 복원 기법을 요구한다.

가장 도시화된 지역에서 유역 연결 복원은 Green and blue Infrastructure (GBI)를 적용한 포장 도로와 불투수성 표면의 영향을 줄이는 데 달려 있다. 사실

8) Brooks et al., 2002; Nilsson et al., 2003; Walsh et al., 2005

9) 로니 외, 2005; 로니와 비치, 2012

불투수성 표면은 최고수위와 수로 침식의 빈도와 크기를 극단적으로 증가시켜 수생 생태계에 영향을 미친다. 더욱이 도시화는 하천 서식지를 단순화하고 수질과 생물 다양성과 생산량을 감소시킨다. 몇몇 연구에 따르면, 유역 지역의 불침투성 표면(ISC)이 10-20% 증가하면 유출은 2배 증가, ISC가 35-50% 증가하면 3배 증가, ISC가 75 - 100% 증가하면 유역이 5배 이상 증가를 기록한다. 이러한 변화들은 수문학, 침전물 공급, 수질에 변화를 가져온다. 또한, 다양한 도시 개발 수준의 유역을 통과한 하천을 평가하는 연구에서는 불침투 지역이 증가함에 따라 생물학적 조건이 감소한다는 것을 보여준다¹⁰⁾

극심한 홍수는 하천 복원 노력을 저해할 수 있으므로 더 빈번하고 극단적인 수문학적 사건에 대처하는 것이 필요하다. 도시 지역에서는 주로 자연 수문학을 개선 또는 복원하고 침전물 공급의 균형을 맞추고 오염물질 수치를 낮추는 것을 목표로 하는 빗물 유출의 통제와 처리에 노력을 집중하고 있다. 이러한 목표는 폭우 저장장치를 고안하고 하천으로의 도착을 지연시키며, 불침투성 표면의 양을 줄이고 수질 개선을 위해 폭풍수를 여과 또는 처리하는 것이다. 특히 바스티엔 외 연구진(2012년)이 밝힌 바와 같이 홍수 위험관리에 위한 Blue-Green 접근법은 생물 다양성과 문화적 가치에 특별한 주의를 기울여 홍수 방어에서 물 관리로 관점을 전환하는 데 유용할 수 있다¹¹⁾. 도시화된 환경에서, 폭우 관리와 GBI는 밀도와 표면 밀폐를 효과적으로 줄일 수 있어 도시 지하수 대수층을 재충전하고 토양 침식을 줄일 수 있다. 장기적인 관점에서 보면, GBI는 Gray Infrastructure에 비해 비용을 절감시키며 다양한 식물(탐지, 보존, 분지 또는 연못; 생물습지, 우림, 습지) 및 무식물(빗물통, 고속 우회 통로, 다공성 및 투수성 포장) 시스템은 유출을 줄이고 침투를 증가시키도록 설계할 수 있다. 이러한 기법들은 기존 도시지역뿐만 아니라 새로운 도시지역에서도 유용할 수 있다. 연구에 따르면 기존 주택개발지에 레인가든과 식물성 습지를 개발하면 폭우 흐름이 최대 90%까지 감소한다고 한다¹²⁾

더 나아가, GBI는 자체적으로 지속가능하고 변화에 탄력적인 생태계를 만들 수 있을 것이다. 도시의 유역과 하천 공정의 상호작용을 보다 잘 이해하고 사회, 경제, 지역사회 및 정치적인 조정자들과의 전략도 통합하는 것이 과제이다. 도시 하천 복원 분야는 물리적 과학자와 기술자가 장악하고 있으나 폭우 관리와 제방 안정화까지 범위를 확장하는 경우는 드물다. 대신에 하도 지형을 재정립하고 주변지역의 동적 평형을 유지하는 것이 주된 목표가 되어야 한다. 도시 하천 복원은 물

10) Booth et al. 2004

11) Wright et al., 2011; Kenyon, 2007; Werriitty, 2006; Johnson and Priest, 2008

12) Nassauer and Faust, 1998

리적, 화학적, 생물학적 과정을 통합하여 훼손된 생태계를 복원할 수 있는 기회를 제공한다. 지형에 대한 미학과 인간의 태도를 고려하고 생태학과 사회과학을 조정 디자인에 접목시켜 지속가능한 도시 조성을 더욱 심화시킬 수 있는 독특한 기회다.

2.5 도시지역 생태복원 사례

2.5.1 브롱스강 하천생태복원 13)

○ 지역별 특징

브롱스(Bronx) 강은 뉴욕의 발할라 부근에서 시작되며 캔시코담 웨스트체스터와 브롱크스 카운티를 거쳐 37km 남쪽으로 흐른 후 동강으로 흘러 들어간다. 브롱크스는 도시 북쪽에 위치하며 저 소득, 환경오염으로 오랫동안 환경 및 사회적 불평등 지역으로 특징지어져 왔다. 지난 40년 동안 공공 및 민간기관들에 의해 실행된 조치로 브롱크스 강 그린웨이를 건설하였으며 강을 따라 흐르는 이 오솔길은 레크리에이션과 환경보전을 위해 고안되었고, 주변과 하천 유역 내 생태환경이 뚜렷하게 개선되었다.

강의 중부와 북부지역은 Hunts Point 반도의 하구 부분이며 Bronx강의 남쪽지역은 대부분 산업, 공원 및 주거용으로 사용되며 일부 상업기관 및 공터 등이 있다. 남쪽지역은 작은 녹색 지역인 헛츠 포인트 리버사이드 공원을 제외하고 강변으로 가는 길은 극히 제한적이다.

브롱스 강의 남쪽 지역은 최근 몇 년 동안 중요한 변화를 겪었고, 암트랙 철도와 세리던 고속도로의 존재에도 불구하고 시민들이 점점 강에 쉽게 접근할 수 있게 되었다. 철도와 고속도로는 브롱크스 강을 따라 중요한 위치를 차지하고 있으며, 약 1.5 km 동안 강의 남쪽 부분을 따라 남북 축에서 운행되고 있어 이 지역의 시각적 영향과 사용에 영향을 미치고 있다.

브롱스 강의 북쪽 지역을 따라 단독주택과 준단층 주택, 타운하우스, 다층집, 다세대 아파트 건물 등이 혼합되어 있으며, 상업용 건물과 산업 건물이 들어서면서 브롱크스 공원 가까이 동쪽 측은 대부분에 주거지역으로 브롱스 강 지역의 중심부는 뉴욕 식물원과 브롱크스 동물원이 있는 브롱스 공원이 차지하고 있다. 브롱크스 공원은 주로 주거지역에 인접하며 일부 산업지역과 강과 평행하게 이어지는 브롱크스 리버 파크웨이가 있다. 마지막으로 브롱스 강의 동쪽 해안의 북쪽 끝은 주거지 구역제에 의해 분명하게 구분된다. 결론적으로, 산업 지역을 흐르는 브롱스 강의 인구밀도가 높은 지역은 도시 강의 전형적인 문제들을 보여주는 반면 브롱크스 공원을 통과하는 북쪽 지역은 대부분 자연화 되어 있고 식물들이 잘 자라는 지역이다.

13) Urban Sustainability and River Restoration, John Wiley & Sons Ltd 2017

○ 시대별 변화과정

브롱크스 강을 따라 400년 이상 행해진 인간 활동은 강의 생태학과 환경에 매우 큰 영향을 끼쳤다. 브롱스강은 브롱크스라고 불리게 된 본토 반도에 거주하고 있던 모헤간 인디언의 시대부터 인간의 활동에 사용되었다.

- 1639년, 조나스 브롱크라는 네덜란드 이민자가 모헤간에서 이 땅을 구입했다. 그 계곡은 식물이 유지되어 있었고 그 강물은 "순수하고 건강에 좋은 물"고 여겨졌다.

- 1798년에 브롱스 강은 뉴욕시의 식수원으로 제안되었다.¹⁴⁾ 그러나 1680년대에는 댐(현재는 182번가 댐으로 알려져 있음)의 건설이 하천의 건강에 영향을 미쳐 흐름을 늦추고 어로를 감소시켰으며 생태계에 큰 영향을 미쳤다.

- 1840년대에, 철도 건설은 그 계곡을 담배, 페인트, 면, 고무제품을 생산하기 위한 산업단지로 바꾸었다. 그 이후로 브롱크스 강은 폐수 배출과 산업 공정의 수원으로 사용되어 왔고 18세기 초까지, 12개의 수차는 종이, 밀가루, 도자기, 태피스트리, 배럴, 스너프를 제조했다.

- 1900년대 초, 브롱크스 강으로 흘러가는 하수구의 건설은 수질을 악화시켰으며 같은 기간 뉴욕시의 물 수요가 계속 증가했고, 켄시코 댐의 건설로 브롱스 강의 상류를 저수지로 전환시켜 그 흐름을 약 25% 줄였다.

- 1934년까지 브롱크스 강을 따라 수차가 운영되어 수질이 악화됐고 브롱스 강의 힘을 이용하는 댐은 소하성 어종이 상류에서 헤엄치는 것을 방해했다.

산업생산에 의한 피해는 1세기 동안 지속되었고 2003년 에디슨사와 뉴욕주 환경보전부(DEC)가 실시한 연구에서 증명된 바와 같이 인간 보전에도 부정적인 영향을 미쳤다. 이 연구는 1900년대 초 발전소에서 생성된 유해 폐기물이 암과 천식의 원인이 될 수 있다는 것을 발견했다.

그러나, 수차가 폐쇄되기 시작했을 때 브롱스 강의 수질은 하수도에서 배출되는 분리된 강우시 오염물질로 인해 훨씬 더 큰 걱정거리가 되었다. 도시화는 하수 네트워크와 산업으로부터 인구증가와 더 많은 부하를 발생시켰으며 하수 시스템의 구성과 물리적 변화는 표면 지형과 유역 불투수성에 영향을 미쳤다. 일부 지역은 도시화되지 않았지만(예: 268에이커스 브롱스파크) 브롱크스를 나누는 고속도로 연결 등 많은 대규모 프로젝트가 실현되었다.

이 역사적 개요는 브롱스 강이 어떻게 아름답고 번영하는 자원으로부터 산업과 주거용 쓰레기의 오염된 하천으로 빠르게 변했는지 보여준다. 이 지역은 시민의 관심이 증가하고 있음에도 불구하고, 교통과 산업과 관련된 많은 생태학적 그리고 환경적인 문제들이 여전히 존재한다.

14) 뉴욕시 환경보호국, 2010

○ 브롱스강 환경문제

브롱스 강 주변의 도시화(브롱크스 파크 제외)는 유역의 연간 우수 유출을 증가시켰고, 빗물을 흡수하는 데 도움이 될 수 있는 자연 반응 장치(예: 조력 습지, 완충지대)를 거의 제거했다. 맥도넬과 라슨에 따르면 지붕, 주차장, 도로와 같은 불투수성 표면이 강 상류의 60% 이상을 차지하였고 자연적인 수문학적 기능을 억제하였다.

이로 인해 급류, 침식, 낮은 서식지 가치, 높은 수온, 낮은 흐름 및 과도한 침전물 등이 하천 내 흐름 패턴을 교란시켰으며 이러한 인간의 활동은 더 많은 문제를 야기한다. 예를 들어 브롱스 파크 구역에 위치한 댐은 물고기 통로의 장벽을 만들고, 떠다니는 쓰레기, 용존산소를 저하시켜 수생태계를 파괴하는 하수 등과 같은 문제들이 있다. 서식지 파괴와 수질 저하는 동식물군의 성장을 막고 건강 기준을 저해하며 이 물은 시민의 여가활동에도 적합하지도 않다.

시의 하수도는 브롱크스 강을 오염시키는 데 중요한 역할을 한다. 합류식 하수도는 풍우가 발생하는 동안 처리되지 않은 하수를 빗물과 함께 강으로 배출된다. 합류식 하수도는 동일한 배관에 빗물 및 가정용 하수, 산업 폐수를 수집하도록 설계되었다. 강우나 눈이 녹는 기간 동안 합류식 하수 시스템의 하수량이 용량을 초과하는 경우 초과하는 하수는 인근 수역으로 직접 방출될 수 있다. 매년 1,000억 리터의 쓰레기와 오염된 하수가 합류식 하수 오버플로를 통해 뉴욕시의 하천으로 유입된다.

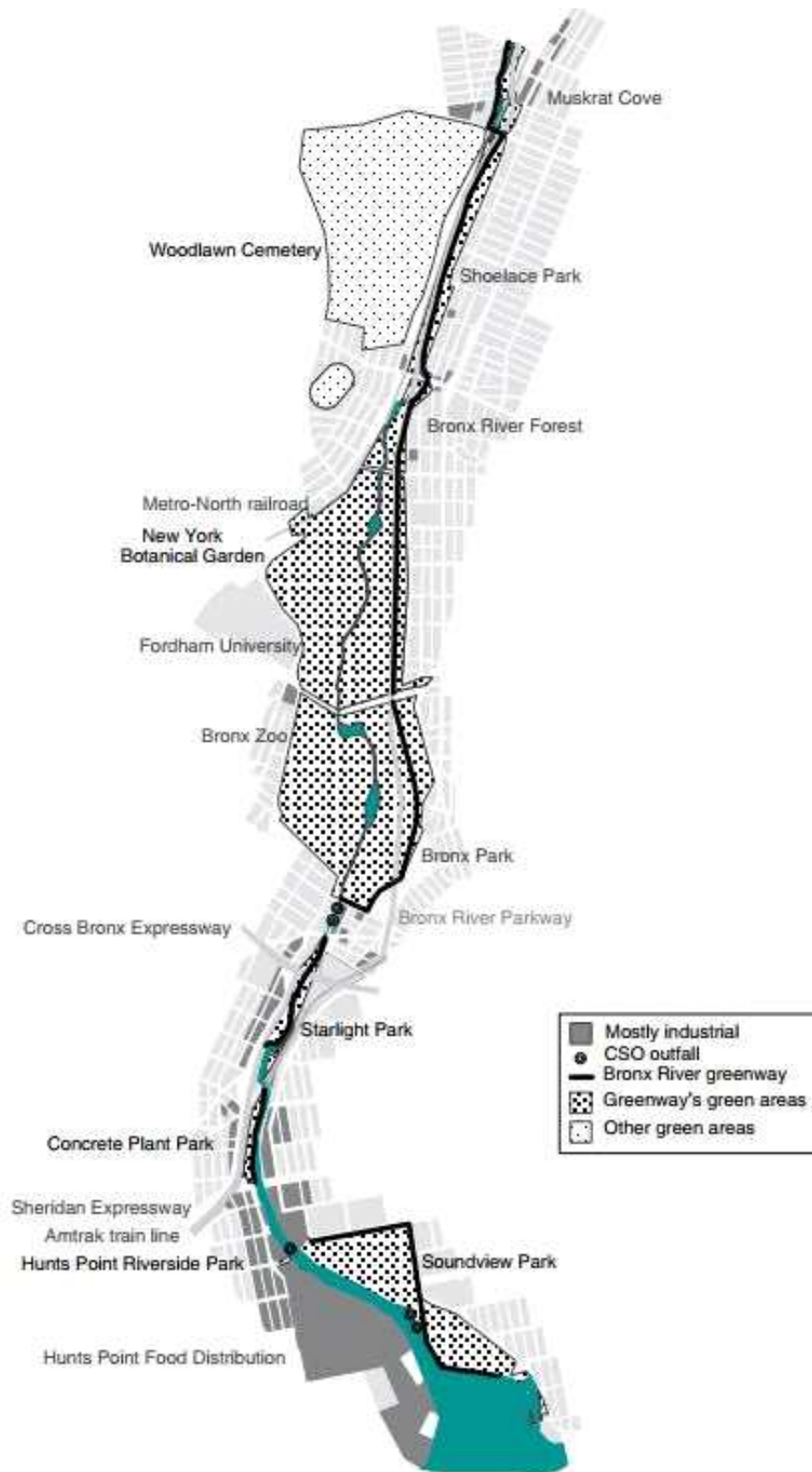
또 다른 중요한 문제는 외래식물의 침입으로 식물계의 다양성을 제한하고 제방의 불안정성을 높이는 것이다.

○ 브롱스강 하천복원 전략

- 초기강우 하수유출수 저감

Bronx 강의 생태와 환경을 향상시키기 위해 시행된 전략은 운영과 유지관리 및 수질개선을 위해 하수시스템에서 CSO 포획을 극대화하고 오염물질을 줄이기 위한 관련 계획이다. 그린 솔루션을 제어 도구로 사용하여 월류수를 포획, 침투, 증발시켜 용량과 최대 초과 용량을 모두 감소시킬 수 있다. 결과적으로, 적은양의 빗물이 합류식 하수 시스템에 도달하게 되고 수질은 개선된다. ("첫번째 유출"은 질소, 다른 영양소 및 도시 오염물질의 가장 높은 농도를 포함한다.) 이러한 솔루션에는 레인 가든, 식물 완충원, 습지, 그린루프, 숲 증가가 포함된다. 이것들은 침식, 침전물, 그리고 서식지 장애를 감소시키는 수문학의 개선에 기여한다. 뉴욕시 환경 보호부(2015년)는 2030년까지 브롱크스 강 합류식 하수 서비스 지역 내 불투수성 면적의 14%를 그린 인프라(GI) 침투율로 관리할 것이라고 주장했다.

〈브롱스강 지역 토지이용 및 그린웨이 현황〉



- 생물다양성 복원

생물다양성 또한 중요한 역할을 한다. 생태학적 목표는 외래식물의 제거와 서식지 연결성 강화를 통한 수생 및 농경식물 생물 다양성 보호 및 개선을 포함한다. 외래종인 일본의 마디풀 종은 매우 빠르고 키가 커서 주변에서는 다른 어떤 것도 자랄 수 없다. 따라서 토종 종들을 심으면 식물과 동물의 이익을 위해 서식지를 재설계할 수 있다. 일반적으로 시행된 새로운 계획은 강 유역 내의 어류, 조류, 생물 다양성을 지원하면서 서식지와 야생동물을 복원하고 건강한 생태계를 육성하기 위해 노력해 왔다. 설명했듯이 브롱크스 강은 다른 특징을 보인다. 북부를 (브롱크스에서) 지칭하는 자연 해안선의 긴 구간과 남부를 배경으로 한 변경 해안선은 중공업화된 지역에서 발견될 수 있다. 이러한 불균형은 복원을 위한 설계 전략과 관련 결과 모두에 영향을 미쳤다.

〈브롱스강 초기강우 하수유출수 저감방안〉



A green street in the Bronx River sewershed. Photo: Earth Institute, Columbia University.

- 그린웨이 생태축의 전략

브롱스 강과 접해 있는 지역의 녹색 기반 시설 통합은 남북 축(브롱스 강 동맹)의 동서 해안선 양쪽에서 강의 길이를 포괄하는 다용도 도로인 브롱스 강 그린웨이와 강하게 관련되어 있다. 그린웨이는 37km까지 확장되며 여러 개의 공원, 연결부(일반적으로 자전거 및 자전거용 '회색' 연결부)를 포함하며, 일부 중요한 방해물이 있다. 대부분의 녹색 지역은 생태학적, 환경적, 사회적, 오락적 긍정적인 효과를 이용하기 위해 그린웨이 구조와 함께 건설되거나 개선되었다.

2006년 이후 브롱크스 강 그린웨이 사업으로 인근 지역의 새로운 녹색공간이 생기

고 기존 공원이 확대되면서 고속도로, 철도, 기타 장벽으로 분리되어 있던 일부 지역을 연결하게 되었다. 그린웨이 설계는 경관, 빗물 관리, 공원 조경 및 가두전경, 지속 가능한 유지 실행과 관련된 생태적 성능 지침을 따르는 것을 목표로 한다.

브롱크스 강 그린웨이는 1960년대 폐쇄된 매립지였던 브롱스 강을 따라 가장 큰 공원인 사운드뷰 파크에서 출발한다. 사운드뷰 파크 자전거도로(2001년부터 2011년까지 건설)는 브롱크스 강을 따라 물에 접근할 수 있는 지점을 제공하며, 강변을 내려다볼 수 있는 앉을 수 있는 지역을 지속적으로 제공한다. 최근 몇 년 동안, 공원의 남동쪽 끝에 위치한 사운드뷰 늪은 자연 서식지를 복구하기 위해 정화되었다.

브롱크스 강 그린웨이의 북서쪽 길은 강 건너편에 인접한 녹지대인 헨츠 포인트 리버사이드 공원과 아직 연결되지 않았으며, 이 공원은 최근 60년 이상 동안 사우스 브롱스에서 건설된 최초의 수변 공원으로 탈바꿈하였다. 현재, 헨츠 포인트 리버사이드 공원과 콘크리트 공장 공원 사이의 그린웨이 연결과 사운드뷰 공원과 콘크리트 공원의 연결은 실현되지 않았다. 그러나, 연방 기금은 두 개의 자전거/보행 교량 및 콘크리트 프랜드와 스타라이트 공원 간 약 1.2Km 진입도로 건설을 검토 중 이다.

콘크리트 플랜트 공원은 브롱크스 강의 서쪽 해안선을 따라 접근할 수 있는 수변 공원으로 2009년에 완공되었다. 예전에는 버려진 콘크리트 공장이었다. 1987년 문을 닫은 시멘트 제조시설의 기존 구조물 중 절반은 현장 산업사의 유물로 유지되었으며, 공원에는 카누와 카약 선착장 뿐만 아니라 기존 및 계획된 다용도 보행자 그린웨이를 연계하는 시설물이 들어 있다. 부지의 재 개선은 대규모의 습지풀 식재를 통한 갯벌의 생태 복원, 수생 묘목장 건설 등이 포함되었다.

더 상류에는 아직 콘크리트 플랜트 공원과 연결되지 않은 스타라이트(Starlight) 공원이 있다. 스타라이트파크는 브롱크스 강과 셰리단(Sheridan) 고속도로 사이에 위치하며 고속도로가 건설된 1960년대에 개발되었다. 그 공원은 거의 사용되지 않았고 상태가 좋지 않았다. 2003년 배수시설 조성을 위해 발굴된 토양을 시험했을 때 높은 수준의 오염이 발견되었다. 이 부지는 이전에 가스공장을 수용한 곳이었다. 오염된 토양의 제거와 안전한 폐기를 포함한 정화작업 후 공원은 2013년에 재개장하였다.

브롱크스 공원은 스타라이트 파크 보다 상류에 위치하고 있으며, 뉴욕 식물원(1891년 개장)과 브롱크스 동물원(1899년 개장)으로 구성되어 있으며, 자연 해안선이 길게 펼쳐져 있는게 특징이다.

쇼엘라스(Shoelace) 공원은 브롱크스 공원의 좁은 구역으로 카누와 카약 출발장이 있어 공공 카누 관광과 강 와이드 이벤트를 담당한다. 지난 몇 년 동안, 레인가든과 습지대의 설치와 같은 이 지역에 대한 개선이 완료되었다. 토종 나무, 식물, 관목

뿐만 아니라 녹색 인프라 요소도 브롱크스 공원과 쇼엘라스 공원의 연계와 함께 추가되었다. 마지막 그린웨이 구간인 머스크라트 코브(Muskrat Cove)는 우수유출관을 안정화 시키고 주변 지역의 여건 개선을 목표로 레인가든을 설치하고, 토종목과 관목들을 식재하였다.

그 동안 소외되었던 브롱크스 이웃과 이전에 퇴화된 강에 매우 중요한 환경, 생태 및 사회적 영향을 주는 방해물이 거의 없는 37킬로의 그린웨이가 설치되었다. 수질 개선과 시행된 조치들은 상당한 다양성이 증가되는 중요한 결과를 만들었다.

지난 몇 년 동안, 그린웨이 개통에 따른 분수령 지역의 주변 조건 및 토지 가치 향상과 함께 생태 및 환경 개선이 나타났다. 그러나 교통 및 산업과 관련된 접근성, 생태학적, 환경적 문제는 아직 다루어지지 않았으며 향후 미래 계획은 시민과 자원봉사자의 참여로 확립될 것이다.

○ 브롱스 리버 연맹(Bronx River Alliance) 비영리 민간단체 활동

브롱스리버 연맹은 1974년 소규모 지역 사회 운동가들이 브롱스 강 복원 사업을 조직하고 강을 청소하고 복원하는 과정으로 시작되었으며, 1997년 브롱스 리버 워킹 그룹을 결성하여 60개 이상의 지역사회 단체, 공공기관, 사업체들이 강 복원 및 접근 개선 약속하였다. 2001년 하천복원을 위해 워킹그룹이 영구적인 조직으로 브롱스강 연맹(Bronx River Alliance)을 창설하고, 뉴욕시 공원부와 긴밀하게 협력하면서 브롱크스 리버 파크웨이 공원 관리소 내에 본부를 두면 활동하게 된다

브롱스강 연맹의 주요활동으로는 강 정화활동, 그린웨이 계획을 위한 지역협력 및 가이드, 시민교육활동 등이며, 하천복원을 위한 활동 등으로 점차 범위 확대하고 있다.

〈브롱스강 동맹 활동사진〉



2.5.2 튜알라틴강 하천생태복원

○ 오레곤 주 Tree For All 단체개요

1970년에 설립된 Clean Water Services(CWS)는 튜알라틴(Tualatin) 강 수역의 자연환경을 개선하는 동시에 공중보건을 보호하는 공공기관이다

- 관할지역 : 워싱턴 카운티, 멀티노마 및 클락마스 카운티 일부
- 주요업무 : 하수 및 하수처리, 하천수질 및 유역관리 등

2005년 CWS는 건강하고 회복가능한 하천유역의 필요성에 맞춰 임무를 수행하는 지역 핵심 파트너들의 집단 자원과 비전을 활용하기 위해 모두를 위한 Tree For All을 창설하였으며 미국에서 가장 크고 성공적인 경관 보존 프로그램 중 하나인 Tree for All은 2005년부터 파트너와 함께 오레곤 튜알라틴(Tualatin)강 유역의 강과 지류 140마일을 복원했다. Tree For All은 인간과 야생동물을 위해 건강하고 탄력 있는 환경을 만들어야 할 필요성을 인식하고 도시화, 기후변화, 농업의 활기, 생태적 다양성의 도전에 대응하며, 현재와 미래 세대를 위한 건강한 강 유역을 보장하는 규모로 행동할 수 있다는 것을 증명하였다.¹⁵⁾

○ Tree For All 역할

오레곤의 튜알라틴 유역에서는 35개 이상의 파트너가 이 지역의 생태계와 경제 건강에 대한 생태계 차원의 접근을 추진하고 있으며 12개의 도시가 카운티 및 지방 정부와 함께 참여한다. 공공 시설과 기관으로는 4세대 농장에서 국제 기술 단체에 이르기까지 비영리 단체와 다수의 민간 기업들과 함께 핵심적인 역할을 수행하고 있음.

경관보전을 위한 11가지 수단으로는 비즈니스 혁신, 공동체 영향의 촉매역할, 공동 커뮤니티 비전, 공동언어, 커뮤니티 가치, 공동투자, 굿비즈니스, 장기적인 수행, 대자연의 인식, 파트너십, 하천유역의 접근성 강화에 두고 있다.

튜알라틴강의 건강을 위한 최우선 과제는 물을 시원하게 유지하는 것이며 이에 대한 해결책은 그늘, 야생동물 서식지, 그리고 많은 수질 혜택을 제공하는 나무를 심는 것이었다. 또한 지역사회가 나무 심기에 참여시키는 것은 책임 있는 유산을 만드는 기회가 되었다. 문제의 해결책은 확실했고, Tree For All 공동체의 하천에 나무를 심는 과제가 탄생했다. Tree For all은 20년 동안 1,000만 그루의 나무와 관목을 심기를 착수했으며, 그들은 중요한 과업목록을 시작했다.

- 동일 생각을 가진 기관 및 비영리 기관과의 파트너십 개발
- 나무가 심어져야할 곳을 확인하기
- 지역 묘목장과 협력하여 심기에 충분한 나무들이 있는지 확인

15) <https://www.jointreeforall.org>, 2019

- 식재를 도와줄 계약자를 동원하고 시행하는 것

10년도 안 되어 우리는 당초의 20년 목표를 초과 달성했다. 이러한 놀라운 협력 덕분에, Tree for All은 한 번의 식재 기간(2014-2015)에 200만 그루 이상의 토종 나무와 관목을 심었다.

○ Tree For All 성과

2019년 1월 현재 140마일 이상의 강과 하천 서식지를 복원하였으며, 냉각기를 설치하고 운영하는 것보다 저비용 다기능 녹색 인프라를 구축하여 대중에게 1억 달러 이상을 절약했고, 거의 천만 개의 토종 식물들을 심었으며 최근 몇 년 동안 매년 100만 개 이상의 식물들을 심었다. 150만달러 이상 가치인 21,400명 이상의 자원 봉사자가 있었다.

나무 식재는 10,000대 이상의 자동차가 적도를 주행하는 정도를 상쇄하고 최소 18만 마리의 송어를 위한 서식지를 제공하였으며, 14만 명 이상의 거주자를 위해 대기 질 개선(식물이 자라는 한 계속 상승)과 2,300만 톤 이상의 얼음상자보다 큰 냉각효과가 있었다. 또한 아래의 추가적인 성과를 이루었다

- 건강적 혜택

자연을 우리 공동체로 다시 가져오는 것은 단지 수질이나 야생동물에만 이익이 되는 것이 아니라, 튜알라틴 강 물가에서 살고 일하고 노는 모든 사람들의 건강과 복지에 필수적이다. 나무 밑에 앉거나 공원을 산책한 후에 기분이 좋아진다는 것을 직감적으로 알 수 있지만, 자연이 상당한 건강상의 이점을 제공한다는 과학적 증거가 확인되었다. 30년의 과학적 연구는 나무와 녹지가 인간의 건강과 복지에 중요하다는 것을 보여준다. 자연은 더 건강한 생활 환경을 조성할 뿐만 아니라, 우리의 신체적, 정신적 건강을 증진시키고 인지 기능을 강화하며, 더 행복하고, 더 많은 연관이 있는 공동체를 만들어낸다. 다시 말해서, 우리는 물고기, 송새, 비버가 하는 것만큼 자연을 필요로 한다.

가장 좋은 점은, 우리가 자연을 이웃으로 다시 데려올 때, 우리는 이러한 혜택을 위해 도시 밖에서 휴가를 보낼 필요가 없다는 것이다. 그것들은 우리 지역사회에서 바로 이용 가능하다. 게다가, 도시 지역의 높은 인구 밀도 때문에, 근처의 자연은 매일 수백 명의 사람들에게 혜택을 줄 수 있는 잠재력을 가지고 있다. Tree for All이 대자연을 대규모로 되살리고 있기 때문에, 이것은 똑같이 대규모의 건강상의 이점으로 해석된다.

- 생태적 혜택

튜알라틴 계곡은 한때 굽은 개울과 홍수로 이루어진 복잡한 생태계였다. 그러나

20세기에 도시화가 강물과 지표수의 흐름에 악영향을 주면서 지역 식물과 동물의 다양성에 타격을 주었고, 수질도 악화되었다. 수많은 자원 봉사자들 뿐만 아니라, 유역 전반의 공공, 민간, 비영리 협력자들의 노력 덕분에, 그 많은 하천들이 다시 한번 번창하고 있다. 조류, 물고기, 포유류 개체수가 다시 증가하였고 특히 성공 지표 중 하나는 비버 개체수가 워싱턴 카운티의 도시 및 교외 환경으로 되돌아가는 것이다. 계곡의 자연 시스템이 다시 조화롭게 되는 것은 지역사회 전체의 자부심이다. 지난 10년 동안 모든 파트너는 거의 1,000만 그루의 토종 나무와 관목을 심었고, 튜알라틴 강과 그 지류 140마일 이상을 복원했다. 생태학적 이점은 수생 생물을 위한 더 건강한 수온, 개선된 수심 관리, 조류와 동물 개체군의 중요한 연결성, 날씨 패턴의 변화에 직면한 복원력, 야생 동물과 인간의 수질 개선 등을 포함한다.

- 경제적 혜택

태평양 북서부에서 가장 빠르게 성장하는 도시 중 하나인 워싱턴 카운티는 종종 "오레곤의 경제 엔진"으로 불린다. 이 엔진에 연료를 공급하기 위해 인텔과 나이키와 같은 업계 지도자들은 계속해서 국내외의 인재들을 끌어들여야 한다. 설문조사는 일관되게 튜알라틴 계곡의 깨끗한 공기와 물, 그리고 그곳의 지역사회가 야외 레크리에이션 기회에 쉽게 접근할 수 있다는 것을 보여준다. 그 지방의 수로에서 노를 저어 낚시를 하거나, 광활한 숲과 공원을 탐험하거나, 도로와 오솔길을 페달을 밟거나, 농업의 풍요로움을 빠지던 간에, 자연에 대한 모험은 결코 멀리 있는 것이 아니다. 그 결과, 번창하는 레크리에이션, 가깝거나 먼곳의 방문객을 환영하는 관광사업은 귀중한 세수를 창출하고 오레곤의 가장 다양한 카운티의 60만 명 이상의 정규직 거주자들에게 삶의 질을 강화시킨다.

Tree For All 또한 경제에 직접적으로 영향을 미친다. 유역 복원력과 책임감 있는 사업은 우리의 투자의 결과로 강화되어 온 수많은 부문에 걸쳐 지속 가능한 일자리를 창출한다. 예를 들어, 2005년에는 토종 식물 산업은 경쟁력 있는 가격으로 많은 수의 토종 식물들을 구매하는 것이 과제로 남아 있었으나, 오늘날 이 지역은 매년 백만 그루 이상의 토종 나무와 관목을 성공적으로 생산하고 심는다. 그리고 묘목생산은 이제 시작일 뿐이다. 활기를 되찾은 환경은 엄청난 양의 과일, 채소, 나무 견과류, 그리고 약초, 곡물, 견초, 풀씨 등을 생산한다. 한편 부동산 가치는 계속 개선되고 있다. Tree For All 모든 파트너는 유역의 헌신적인 관리자로서, 튜알라틴 계곡의 호감도와 경제 활력을 유지하는 데 전념하고 있다.

III. 미국 댐 제거 관련 전략

3.1 댐 제거 개요

댐 국가 재고목록에 따르면, 미국에는 적어도 높이 25피트, 저장량 50에이커 이상이며 붕괴할 경우 중대한 위험을 초래할 수 있는 댐이 8만7천개 이상 있다. 작은 댐을 포함하면 전체 댐 수는 훨씬 더 많다. 댐은 전 세계적으로 우리 인프라의 중요한 부분이 되고 있다¹⁶⁾. 수십 년 전에 많은 댐들이 건설되었고, 몇몇 댐들은 안전 문제나 침전물로 가득 찬 저수지를 가지고 있을 것이다. 어떤 경우에는 댐의 본래 목적이 더 이상 필요치 않거나 댐을 철거함으로써 얻을 수 있는 환경적 이득이 더 중요할 수도 있다. 댐과 저수지의 손실된 이익을 대체수단을 통해 충족시킬 수 있을 때 댐 제거는 실행 가능한 관리방안이 될 수 있다. 예를 들어, 적절한 물고기 스크린이 있는 펌핑 시설은 물고기 통행을 방해하는 우회 댐의 필요성을 없게 만든다. 단일 목적에서 발생하는 전기, 수력발전 댐은 다른 발전소에서 발생할 수 있으나 댐을 제거하면 많은 댐이 제공하는 저수 및 수해방지 혜택을 대체하기 어려워질 수 있다.

3.1.1 댐과 부속건물의 정의

이 지침은 모든 댐에 적용된다. 물을 돌리거나 저장하는 어떤 구조도 댐으로 볼 수 있지만 댐의 법적 정의는 주마다 다르다. 캘리포니아의 댐이 주 댐 안전 관할 하에 놓이려면 저장 용량이 50 에이커 이상인 높이 6피트 이상 또는 저장 용량이 15 에이커 이상인 높이 25피트 이상이어야 한다. 많은 주들은 캘리포니아와 비슷한 크기와 저장 요건을 가지고 있다. 그러나 뉴햄프셔에서 댐은 높이가 4피트 이상이고 2에이커 미만으로 저장되는 구조물로 정의되며, 따라서 도로의 제방과 배수로가 포함될 수 있다. 아래 표는 주댐안전관리자협회(ASDSO) 홈페이지(www.damsafety.org)에서 정리한 주 댐 안전 규정에서 모든 주의 댐에 대한 법적 정의를 요약한 것이다. 여기서 사용하는 바와 같이 댐의 높이는 하천이나 수로의 자연 강바닥에서부터 댐의 꼭대기까지로 방호벽의 하류 끝에서 측정한다. 그러나 연방재난관리청(FEMA)은 최대 관리 가능한 수면의 높이까지 댐 높이를 측정한다¹⁷⁾.

재생관련부서에서는 수압 높이를 댐 축 또는 댐 꼭대기 중심선의 원 하상 지점과 최대 관리 가능한 수면의 차이로 정의한다. 저수지 자장은 일반적으로 달리 명시되지 않는 한 댐에 의해 최대 관리 가능한 수면 아래의 전체 물량으로 간주된다.

16) Boyer, 2013

17) FEMA, 2004

〈주별 댐 안전규정 요약〉18)

State	Jurisdictional Height/Storage/Area	Dam Removal Noted In Regulations?	Comments
Alabama	>25 ft and 50 ac-ft	Yes	Legislation pending
Alaska	>10 ft and 50 ac-ft or >20ft or high hazard	Yes - requires application	
Arizona	>25 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	
Arkansas	>25 ft and 50 ac-ft	Yes	
California	>25 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	
Colorado	>100 ac-ft or >20 acres or > 10 ft	Yes - requires application	
Connecticut	>3 ac-ft	Yes - requires application	
Delaware	>25 ft or 50 ac-ft, or significant or high hazard		Dam Safety Program established in 2009
Florida	Not defined - varies by water mgt district	Yes	
Georgia	>25 ft or 100 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	
Hawaii	>25 ft or 100 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes – requires application	Dam Safety Program established in 2007
Idaho	>10 ft or >50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes	
Illinois	>25 ft and 15 ac-ft or >6 ft and >50 ac-ft	Yes - requires application	Includes some low hazard dams
Indiana	>20ft or >100 ac-ft	No	Exempts dam based on use
Iowa	>50 ac-ft; >18 ac-ft and > 5 ft	Yes	Includes dams based on location and drainage basin
Kansas	>25 ft and 50 ac-ft; <6 ft exempted	Yes	
Kentucky	>25 ft or > 50 ac-ft	No	
Louisiana	>25 ft and 15 ac-ft or >6 ft and >50 ac-ft	No	
Maine	>25 ft and 15 ac-ft or >6 ft and >50 ac-ft	Yes	
Maryland	No minimum size or storage defined; small impoundments <20 ft high with 1 mi ² drainage exempted		
Massachusetts	>25 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	Dam Removal Permitting Manual prepared in June 2003
Michigan	>6ft or 5 acres	Yes - requires application	
Minnesota	>25 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes	
Mississippi	>8 ft or 25 ac-ft or high hazard	No	
Missouri	>35 ft	No	

18) ASDSO, 2011

State	Jurisdictional Height/Storage/Area	Dam Removal Noted In Regulations?	Comments
Montana	No minimum size or storage defined. High hazard dams require approval	Yes	
Nebraska	>25 ft or > 50 ac-ft or high hazard; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	
Nevada	No minimum size or storage defined. Approval req'd for dams >20 ft or 20 ac-ft	Yes - requires application	
New Hampshire	>4 ft or >2 ac-ft or >10 acres	Yes - requires application	Dam removal and river restoration program
New Jersey	>5 ft	No	
New Mexico	>10 ft or >10 ac-ft	Yes - requires application	
New York	>10 ft or >3.07 ac-ft, or > 1 sq. mile drainage basin	Yes - requires application	
North Carolina	>25 ft and >50 ac-ft	Yes - requires application	
North Dakota	No minimum size or storage defined.		
Ohio	No minimum size or storage defined.	Yes	Regulations revised in 2007
Oklahoma	>25 ft or 50 ac-ft	No	
Oregon	No minimum size or storage defined. Approval req'd for dams >10 ft or 9.2 ac-ft	No	
Pennsylvania	No minimum size or storage defined. Approval req'd for >100 acre drainage or >15 ft and >50 ac-ft	Yes - requires application	Waives permit requirements for removal of small and abandoned dams
Rhode Island	No minimum size or storage defined.	Yes	Regulations revised in 2007
South Carolina	>25 ft and >50 ac-ft	Yes	
South Dakota	>25 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes	
Tennessee	>20 ft or 30 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	Yes - requires application	
Texas	>6 ft	No	
Utah	>20 ft	Yes - requires application	
Vermont	Min height not defined. Jurisdictional if >500,000 ft ³ storage (11.5 ac-ft)	Yes - requires application	
Virginia	>25 ft and >50 ac-ft; <6 ft exempt	No	
Washington	>10 ft or 10 ac-ft	Yes - requires application	
West Virginia	>25 ft and 15 ac-ft or >6 ft and >50 ac-ft	Yes - requires application	
Wisconsin	>25 ft and >15 ac-ft; or >6 ft and 50 ac-ft	Yes - requires application	Has active dam removal program
Wyoming	>20 ft or 50 ac-ft; <6 ft or <15 ac-ft exempted	No	

댐은 물을 다른 곳으로 돌리고 저장하기 위해 다양한 재료를 사용하여 건설된다. 일반적으로 현장에 건설되는 댐의 종류는 부지 지형, 지질, 자재 가용성, 사업 목적, 공사 기간 등에 따라 달라진다. 댐을 어떻게 설계하고 건설했는지에 대한 지식은 댐 제거를 계획할 때 중요하다. 현재의 댐은 현장의 2세대 또는 3세대 댐일 수 있으며 오래된 댐(또는 커피댐)의 일부가 현재의 댐에 통합되거나 저수지 내에 남아 있을 수 있다. 댐 제거에 앞서 현지의 기존 상태와 역사적 중요성을 평가하고 문서화하기 위해 국가역사보존책임자(SHPO)와 협의해야 할 수 있다. 댐의 종류와 건설 자재들은 다른 요인들 중에서도 댐 제거에 사용되는 방법과 장비에 영향을 미칠 것이다.

댐은 다섯 가지 일반적인 유형으로 분류될 수 있다.

- 제방댐 - 흙 및/또는 암석으로 구성된 댐, 암석댐은 침수를 통제하기 위해 불침투성 코어 또는 상류 막이가 필요하다.
- 중력댐 - 안정성을 위해 자신의 무게에 의존하는 콘크리트나 석재에 의존하는 댐, 또한 초기 형태의 중력댐은 바위로 채워진 목재 틀을 포함한다. 최근의 중력댐은 전압 콘크리트(RCC)로 건설되고 있다.
- 아치댐 - 암반으로 하중을 전달하기 위한 계획에서 곡선을 이룬 콘크리트 또는 석조댐. 어떤 경우에는 아치가 콘크리트 중력을 드러스트 블록에 의해 하나 또는 양쪽 암반에 지지한다.
- 부벽댐 - 연속 하류콘크리트 버팀목에 의해 지지하는 경사 콘크리트 슬래브나 아치형 콘크리트 돔으로 구성된 댐.
- 복합댐 - 제방과 콘크리트 양쪽으로 구성된 댐

댐에는 일반적으로 다음과 같은 유압 제어용 부속물이 있다.

- 배수구 - 일반적으로 홍수 조건에서 원하는 수위 유지를 위해 잉여 물이 저수지에서 방출되는 구조
- 배출시설 - 저수위 파이프, 도수관, 특별한 목적을 위해 저장소에서 배출할 때 사용하는 터널, 발전시설, 비상 배출구 등

댐은 시·내수공급, 홍수조절, 레크리에이션, 어류 및 야생동물, 수력발전, 항행, 화재방호, 관개 등 다양한 기능을 수행한다. 대부분의 저장댐은 그 명시적 목적과 상관없이 여러 가지 기능을 제공한다. 예를 들어, 도시 급수 저수소는 홍수 피크 감쇠, 소방용수 공급원 및 휴양 장소를 제공할 수 있다. 전환댐은 일반적으로 하천에서 컨베이어 시스템으로 물을 이동시키기 위해 만들어진 작은 구조물이다. 댐은 홍

수 유출을 지연시키고 하류 수로에 대한 갑작스런 홍수의 영향을 줄이기 위해 임시 보관을 위해 건설된다.¹⁹⁾

3.1.2 미국 댐의 크기와 위험성 분류

댐은 보통 하천바닥 부터 최대 높이 또는 정상 최대 수위에서의 저장 용량으로 분류된다. 여러 주들 사이에서 댐의 규모 범주에 대한 일관된 정의는 없다. 예를 들어 매사추세츠주는 아래 표와 같이 나타난 댐 크기 범주를 위해 저장 및 높이 매개변수를 사용한다.

〈Dam Size Categories Used by Massachusetts〉

Category	Height (feet)	Storage (acre-feet)
Small	>6and<15	>15and<50
Intermediate	>15and<40	>50and<1,000
Large	>40	>1,000

이와는 대조적으로 네바다주는 아래와 표와 같이 댐의 크기를 분류하는 기준이 많이 다르다.

〈Dam Size Categories Used by Nevada〉

Category	Height (feet)	Storage (acre-feet)
Small	20 to 40	<1,000
Intermediate	41 to 100	1,001 to 5,000
Large	>100	>50,000

국제댐위원회(ICOLD)는 대형 댐을 50피트 이상 또는 33피트 이상으로 규정하지만 꼭대기 길이가 1,640피트 이상 또는 810에이커 피트 이상의 저장용량 또는 초당 70,600세제곱피트 이상의 유수로 방류용량을 가진 댐으로 규정한다. 이 지침의 목적상, 대형 댐은 저장 용량에 관계없이 50피트 이상의 높이를 갖는다. 댐의 위험 분류는 댐이나 부속공장의 고장이나 부적절한 운전시 인명 또는 재산손실의 가능성을 기술하고 있다. 댐에 할당된 위험 분류는 댐의 구조적 건전성을 나타내는 지표나 고장 가능성을 나타내는 지표도 아니고, 고장이나 제어되지 않은 방류가 발생 할 경우 발생할 수 있는 잠재적 결과에 대한 지표다. 댐 안전에 대한 연방지침에는 낮음, 중대함, 높음 등 세 가지 수준의 잠재적 위험 분류 시스템이 포함하고 있다(FEMA, 2004). 이 수준들은 댐의 파손이나 잘못된 작동 없이 발생할 수 있는 결과 이상으로 댐의 고장이나 잘못된 작동으로 발생할 수 있는 역증가적 결과를 증가하는 순서

19) Bureau of Reclamation, 1987

대로 나열되어 있다. 더 높은 순서 분류 수준이 더 낮은 분류 수준에 대한 결과 목록에 추가된다. 이러한 레벨은 다음과 같이 정의된다.

- 잠재적 저위험 - 저위험성 분류를 배정받은 댐은 고장이나 잘못된 작동으로 인해 인명 손실이 발생하지 않고 경제적 또는 환경적 손실이 적은 댐이다. 손실은 주로 소유자의 재산에 한정된다.
- 잠재적 중대한 위험 - 심각한 위험성 분류가 할당된 댐은 고장이나 잘못된 작동으로 인해 인명 손실이 발생하지 않지만 경제적 손실, 환경적 손상, 중요설비의 붕괴, 기타 우려 사항에 영향을 미칠 수 있는 댐이다. 상당한 위험성 잠재적 분류 댐은 대개 시골이나 농업 지역에 위치하지만 인구 또는 기반시설이 중요한 지역에 위치할 수 있다.
- 잠재적 높은 위험 - 높은 위험 잠재력 분류가 할당된 댐은 고장 또는 오작동으로 인해 인명 손실이 발생할 가능성이 높은 댐이다.

댐 붕괴에 따른 잠재적 환경 피해는 위에서 제시한 위험 잠재성 분류에 대한 연방의 정의에 포함되며, 매사추세츠와 일부 다른 주에서도 검토되고 있다. 미국재생부서에서는 댐 안전 위험 분석에서 캘리포니아 주 클리어 호수댐의 시정조치를 정당화하고 사업상의 편익을 보존하기 위해 멸종 위기에 처한 어종과 관련된 댐 붕괴의 잠재적 환경적 영향을 고려했다²⁰⁾.

연방 규제 기관은 댐 크기와 위험 분류를 엔지니어링 검토 및 검사 빈도를 결정하는데 사용한다. 예를 들어 연방에너지규제위원회(FERC)는 수력발전용 FERC 면허로 갖고 있는 모든 높음과 중대한 위험댐을 연1회 점검한다. 최소 높이 25피트 또는 최소 저장용량 50에이커-피트의 저위험 댐을 2년마다 점검한다. 상기 기준에 맞지 않는 수력허가발전사업 내 소규모 댐은 최소 3년마다 점검한다. 또한 FERC는 다음과 같은 경우 5년마다 독립 컨설턴트가 댐을 점검하도록 요구하고 있다.

- 높이가 33피트를 넘거나
- 저장 용량은 2천 에이커피트 이상 또는
- 위험성 분류가 높음

일부 주들은 댐의 검사 빈도를 결정하기 위해 위험 분류를 사용한다. 예를 들어 아리조나의 댐 안전 검사는 다음과 같이 수행한다.

- 고위험 - 매년
- 중대한 위험 - 3년마다
- 저위험 - 5년마다

분류 시스템의 주된 목적은 적절한 설계 기준을 선택하는 것이다. 몇몇 주에서는

20) Hepler, 2002

수로 크기를 위한 유입 설계 홍수(IDF)에서 요구되는 최소 반환 기간 또는 비율을 결정하기 위해 댐 크기와 위험 분류를 사용한다.. 예를 들어 아이다호가 사용하는 지침은 아래와 같다.

〈Hazard and Size Classifications for Sizing Spillways in Idaho〉

Hazard Classification	Size Classification	Inflow Design Flood
Low	Small	50 year
	Intermediate	100 year
	Large	500 year
Significant	Small	100 year
	Intermediate	500 year
	Large	$\frac{1}{2}$ PMF
High	Small	100 yea
	Intermediate	$\frac{1}{2}$ PMF
	Large	PMF

3.1.3 미국 댐 목록

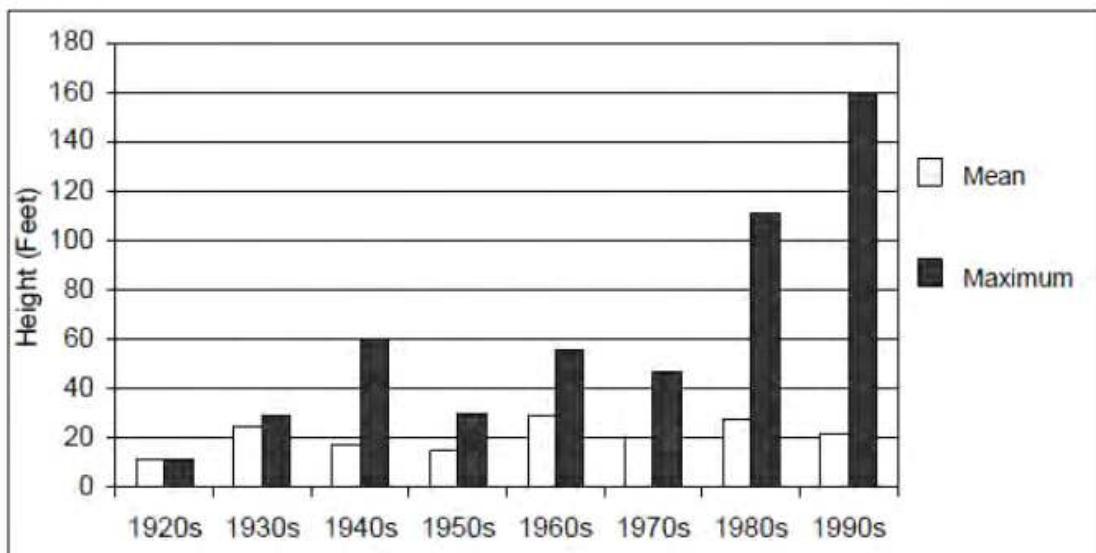
2013년 현재, 미국 전국 댐 목록(NID)에는 87,000개 이상의 댐에 대한 정보가 포함되어 있다. NID는 저장용량이 50 에이커 이상인 최소 높이 6피트이상인 댐과 저장용량이 15 에이커 이상인 최소높이 25피트인 댐, 하류 위험이 크거나 높은 댐을 모두 포함하고 있다. 목록에 있는 각 댐에 대해 기술 자료, 사업장 위치, 점검 정보를 제공한다. 많은 고위험군 댐에 대해서는 NID의 정부 목록 사용자가 상태 평가 정보를 이용할 수 있다. 조건 상태는 만족, 타당, 불량 또는 불만족 등이 포함된다. NID는 NID 웹사이트(<http://nid.usace.army.mil>) 를 방문하면 접속이 가능하다. NID 내 댐의 3분의 2(65%) 가까이가 민간 소유인 반면 NID 내 2900개 댐은 소유주가 없는 것으로 나타났다(3%). 대부분 소형에서 중간 크기(93%는 높이 50피트 이하)로, 3분의 2(67%)는 저위험도로 분류된다. NID에 있는 댐의 대부분(86%)은 흙으로 이루어져 있다. NID 댐의 일차적인 목적은 레크리에이션(31%), 홍수조절(17%), 방화(13%), 관개(9%), 급수(7%), 수력발전(3%) 등이다. FERC가 허가한 사업은 NID의 약 3%인 2,600개의 댐을 포함한다. 댐이 노후화됨에 따라 현재의 안전기준을 유지하기 위해서는 전형적인 개선과 수리가 필요하다. NID에 있는 댐 중 2만 8천 개 이상(33%)은 1960년 이전에 건설되었다. FERC가 허가한 2,600개의 댐 중 70%가 50년 이상 된 댐이다. 2020년이 되면 전체 댐의 약 4만8000개(55%)가 50년 이상 될 것으로 보인다. 그러나 많은 댐들이 잘 관리된다면 기대수명이 50년보다 길다. 댐 제거의 잠재적 후보자들은 소유

주가 없는 댐, 폐기되거나 고립된 댐, 상태가 누락되었거나 불량 또는 불만족스러운 댐, 위험 분류가 중요하거나 높은 곳, 그리고 비상 조치 계획이 없는 곳 등으로 NID 데이터베이스를 사용하여 확인할 수 있다.

3.1.4 미국 댐 철거 통계현황

American Rivers는 2017년 미국에서 1912년 이후 거의 1500여개의 댐이 제거되었으며, 지난 20년간 대부분의 댐(850개)이 제거되었다고 보고했다.²¹⁾ 샌디에고 주립대학의 물리 포울(2001년)이 실시한 연구는 최소 높이 6피트 또는 최소 길이 100피트 이상의 구조물을 포함하는 댐 제거 데이터베이스를 개발하였다. 데이터베이스는 이름, 높이, 위치를 가진 428개 이상의 해체된 댐을 포함했다. 아래그림은 1920년대부터 1990년대까지 미국에서 제거된 댐의 평균 및 최대 높이를 나타내며, 최대 높이는 테네시 주의 옥시던트 캠 연못댐의 160피트이다. 높이 210피트의 워싱턴의 글린스캐니언 댐이 2014년 완공되면 제거된 댐 중 세계에서 가장 높은 댐이 된다. 물리 포울(2001)이 작성한 주별 댐 제거 분포는 아래와 같다. 2001년까지 위스콘신, 펜실베이니아, 캘리포니아, 오하이오, 일리노이 등 5개 주가 20개 이상의 댐을 제거했다.

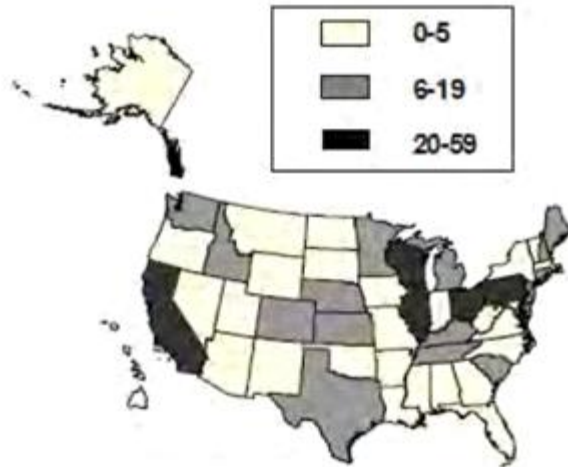
〈Mean and maximum height of U.S. dams removed 22)〉



21) <https://www.americanrivers.org>, 2019

22) Pohl, 2001

〈Number of dams removed by state〉

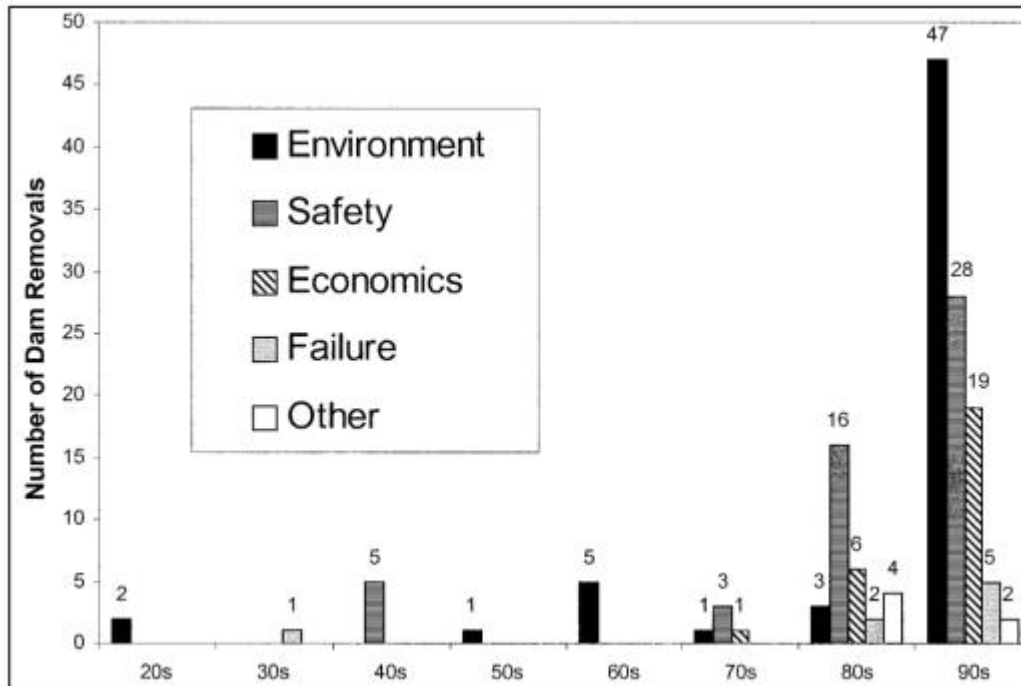


American Rivers는 2013년 앨라배마, 캘리포니아, 콜로라도, 아이다호, 일리노이, 메인, 매사추세츠, 미시간, 뉴저지, 노스캐롤라이나, 오하이오, 오레곤, 펜실베이니아, 사우스다코타, 버몬트, 버지니아, 위스콘신, 와이오밍의 강에서 51개의 댐이 제거되었다고 보고하였다. 제거된 댐이 가장 많은 곳은 펜실베이니아(12개), 오리건(8개), 뉴저지(4개) 등이었다. 지난 몇 년 동안, 대부분의 댐들은 작은 규모이며 강 복원과 물고기 통행을 위해 제거되었다. 지금까지 제거된 가장 큰 댐은 워싱턴주의 210피트 높이의 클린스 캐니언 댐, 125피트 높이의 콘디트 댐, 105피트 높이의 엘화댐 등으로 물고기 통로를 복원하거나 개선하기 위해 제거되었다. 버치런댐(60피트 높이)과 로건 예비용 연못댐(59피트 높이)이 댐 안전상의 이유로 펜실베이니아 주에서 철거됐다. 47피트 높이의 마못 댐은 물고기 통행을 개선하기 위해 오리건주에서 제거되었다. 45피트 높이의 철갑상어강댐은 미시간주에서 물고기 통로와 수질 개선을 위해 철거되었다.

미국의 댐은 현재 주로 환경, 댐 안전, 경제적 이유 순서에 따라 제거된다. 사용 가능한 자료(이유가 알려진 댐제거 사업에서)는 댐제거의 1차적 이유가 1980년대 댐안전에서 1990년대 및 그 이후의 환경으로 변했음을 보여주고 있다. 댐 안전상의 이유로 댐을 철거하는 것은 댐이 유지되지 않고 버려질 때 발생하는 경우가 많은데, 이는 더 이상 유용한 용도로 이용되지 않는 소규모 댐의 경우가 더 많다. 댐 제거에 대한 환경적 정당성은 소하성 어류통로 차단, 수질의 변화, 수문체제의 변화, 침전체제의 변화에 따른 하류 악화 등으로 인한 악영향 등을 기인하는데, 이는 대형 댐의 경우인 경우가 더 많다.

FERC와 같은 규제기관은 더 이상 경제성이 없는 댐이나 안전이나 환경적 요건을 충족하지 못하고 대안이 선정되지 못한 댐의 철거를 요구할 수 있다.

〈Reasons for dam removal by decade 23)〉



댐 제거에 관한 데이터를 유지하는 미국의 다른 기관으로는 American Rivers (<http://www.americanrivers.org>)와 NCDRI (National Clearinghouse of Dam Removal Information) (<http://library.ucr.edu/wrca/collections/cdri>)이 있다.

3.2 댐 제거와 관련된 법적 현황

댐 제거를 위한 모든 과정에 연방, 주, 지방법과 규정들이 영향을 끼친다. 댐의 제거로 '연방 위협받는 보호종에 대한 규정'(Endangered Species Act)에 의한 어류보호종의 서식처를 복원이 요구 될 때와 같이 이런 경우 법과 규정들은 첫단계에서 부터 논쟁을 자극시킨다. 법과 규정들의 넓은 범위의 관련성은 댐 제거의 결정할 때 뿐만 아니라 제거하는 과정에서 까지 연관되어 진다. 예를 들어 'The federal Clean Water Act(CWA)'는 댐의 제거와 저수지의 침천물의 배출로 인한 오염물질의 부하수준 및 하류의 온도가 변화되는 사항에 대해 적용된다. 이번 챕터에서는 댐 제거에 대한 연방정책의 맥락에 초점을 두고 있으며, 외부관점에서 주 법에 대한 맥락과 차이점에 대해 알아보았다. 일반적으로 연방소유의 댐의 연방 부서에서 관할하고 적정한 자금이 적용되며 반대로 개인소유의 댐의 경우는 연방법에 많이 관련되어 있음에도 불구하고 주나 지방정부의 법에 의해 관리되고 있다. 주 정부는 지방정부에 토지, 물의 사용계획, 도시계획설정, 세금, 지역 공공기반사업 등

23) Pohl, 2002

많은 주 정부의 권한을 이양하고 있다. 댐의 주인과 댐제거 가능성을 평가하는 사람들은 사법권한이 있는 지방정부나 주정부로부터 지침이 필요하다.

댐 제거에 대한 포괄적이며 지속적인 국가적인 정책, 연방규정 등은 없으나 연방정부는 댐 제거의 맥락에서 다양한 역할을 수행한다. Federal Energy Regulatory Commission(FERC), U.S. Department of the Interior, U.S. Army Corps of Engineers(USACE), U.S. Environmental Protection Agency(EPA), U.S. Department of Agriculture(USDA) 등 많은 연방단체들이 댐제거의 결정에 권한을 행사할 수 있다. 게다가 다양한 연방 상황들과 프로그램들이 건설, 변경, 댐의 운영과 관련되어 있으며 댐 제거와도 관련될 수 있다. 이들 중 가장 중요한 것들은 CWA, ESA, National Environmental Policy Act (NEPA), Federal Power Act of 1920, Electric Consumers Protection Act(ECPA) of 1986, National Historic Preservation Act(NHPA) of 1966, Western water right law, Small Watershed Rehabilitation Amendments of 2000, Indian Dam safety Act of 1994, National Dam Safety Program, FERC Dam Safety Program 등이 있다.

3.2.1 수력발전댐 관련법

개인 및 지방자치단체, 주정부의 수력발전댐의 제거는 FERC, 수력발전 면허 및 발전계획을 점검하는 독립적인 규제단체와 연관되어 있다. 그와 반대로 연방정부 수력발전댐은 의회에서 권한이 주어져서, 댐의 건설은 U.S. Bureau of Reclamation, USACE, Tennessee Valley Authority, NEPA 요구 등으로 건설된다. 의회의 법령으로 FERC를 1977년에 만들었으며, 그 당시 FERC의 전임 기관인 Federal Power Commission은 폐지되었고 FERC가 Federal Power Act(1920)에 의해 인정되어진 모든 권한을 이양 받았다. 수력발전댐의 소유주는 매 30~50년 마다 운영면허를 FERC에 재신청하여야 하며, 재 면허신청 과정에서 댐의 운영자는 공공의 이익을 위해 지속적으로 댐이 운영되어 진다는 것을 입증해야 한다. 1986년 Electric Consumers Protection Act가 의회가 통과됨에 따라 FERC는 댐의 재면허 신청시 환경, 레저, 어류 및 생태 등 비전력의 가치를 동등하게 고려하게 되었다. 또한 ECPA는 재면허 신청과정에 단체, 이해관계 협회, 대중들의 참여기회를 증가시켰으며, FERC에게 연방 및 주정부의 어류 및 야생동물의 권고안 및 반대하는 단체의 협상을 통해 면허제안의 반대적 영향을 최소화 할 수 있도록 요구하였다.

1992년 미국의회는 'National Energy Policy Act' 법령에 의해 FERC의 수력

발전 프로그램을 크게 변화시켰다. 이 법령은 수력발전 면허가 공원내 유명지역이나 레크레이션 지역, 주 법에 근거한 야생서식처 등 사용 권리를 금지시켰다. 이것은 면허신청자가 환경영향상태 기금을 조성하도록 허가하였고, 위원회에게 어류 및 야생단체에서 발생하는 비용과 Federal Power Act의 Part 1 법령에 의한 자연 및 문화자원 단체 연구비용에 대해 면허를 평가하도록 권한을 주었다.

FERC의 합법적인 법령에서 수력발전댐을 제거하는 과정을 제시한 법령은 아무것도 없다. 이러한 댐 제거를 포함하는 특정한 법률의 부재는 관련기관이 댐 건설 및 개조 프로그램처럼 철거 계획을 검토할 것으로 기대되며, FERC 또는 관련기관들은 댐제거 제안이 수행되어질 때 적절한 정책을 개발할 것으로 기대할 수 있다. FERC는 또한 수력발전댐의 재허가를 거부할 수 있는 권한을 가지며, 이는 댐을 제거하는 결과를 만드는 조치이다. 특히 FERC가 댐의 재허가를 거부하면 다른 단체가 면허를 요구할 수 있으며, 면허를 거부 초래한 문제들이 완화되어질 수 있다. 만약 아무도 면허를 요구하지 않으면 댐은 제거되어질 것이다.

3.2.1 댐 안전 프로그램 관련법

댐의 수명은 평균 50년이며 미국 댐의 25%는 50년이상 경과되었고 2020년까지 80%까지 도달할 것이다. 따라서 안전문제는 댐의 제거를 결정하는 중요한 요소이며 댐의 연령은 안전에 대한 우려를 높이고 있어 댐의 관리와 정기적 점검은 아주 중요하다. 더욱이 오래된 댐의 잠재적 제거 문제는 미래에 좀더 중요시 될 것이며 많은 단체들은 이와 관련되어 있다.

○ 국가 댐 안전 프로그램

1996년 Water Resources Development Act(WRDA) 215절은 FEMA의 관할로 국가 댐 안전프로그램을 설립하였다. 이 프로그램의 목적은 연방 및 비연방 단체에서 성취한 댐 안전위험을 저감하는 기술과 자원과 함께 효율적인 국가 댐 안전 프로그램을 설립과 유지를 통해 미국내 댐의 실패로부터 생명과 재산을 보호하기 위한 것이다. 국가 댐 안전 프로그램은 특별하게 댐의 제거를 통제하거나 규율하고 있지는 않다. 그러나 이것은 댐을 수정하기 위한 다양한 조치들과 관련되어 있다.

이 법안은 FEMA가 현재 댐 안전에 관한 부처간 협약을 수립할 것을 요구하며, FEMA는 그 위원장과 국가 댐 안전 검토위원회 구성합니다. 또한 FEMA는 주 댐 안전 협력을 조정하고 연방 및 비 연방단체에 지식 및 기술을 전달하고 댐 실패 및 관련문제의 위험성에 대한 공교육을 제공해야 합니다. 또한 FEMA는 주에 댐 안전 프로그램의 설치와 유지, 댐 안전 직원과 검사자의 훈련을 제공하는 권한을 지닌다.

안전문제에 댐 제거가 포함되는 경우 FEMA는 국가 댐 안전 프로그램에 따라 댐 제거 문제를 다룹니다.

○ FERC 댐 안전 프로그램

댐 제거가 위원회의 주요 관심사가 아니더라도 댐 안전은 FERC의 수력발전 프로그램의 중요한 부분이다. 댐을 검사하는 숫자를 통해 위원회의 댐 안전 프로그램은 연방정부 중 가장 큰 프로그램이며 FERC의 관할에 속하는 약 2,600개의 수력발전댐의 2/3의 수령이 50년을 넘었다.

안전문제는 댐의 일생의 모든 단계 존재하며, 댐이 건설되기 전 FERC 직원은 댐의 설계 및 계획, 댐의 사양, 발전소, 다른 건물들의 승인과 검토를 합니다. 또한 댐이 건설되는 동안 FERC 엔지니어 직원들은 자주 댐을 점검하며, 댐 건설 후 FERC 관계자는 정기적으로 구조적 강도, 필요한 유지 및 개선보수, 적절한 유지보수 확보, 면허 취득자가 조건을 준수하는 지 등을 확인한다. 검사 방문은 자원단체 및 주 댐 안전공무원, 관련 단체들로 편성되며 FERC 직원은 불시 점검도 수행한다.

매 5년마다 FERC가 승인한 독립적인 컨설팅 엔지니어는 10m이상 또는 2.5백만톤 이상 저장량을 가진 댐을 검사하고 평가해야 하며, 공공안전을 위협하고 댐의 소유자가 고쳐야 하는 실제적이거나 잠재적인 결함 등을 확인합니다.

또한 FERC 직원들은 댐의 안전을 위해 지진이나 큰 폭우를 대비한 실질적이고 잠재적인 효과를 평가한다. 위원회는 모니터링과 지진 활동 우려가 있는 지역의 지질학적 연구를 평가한다. 이런 정보들은 이 지역의 수력발전 프로젝트의 구조적 분석 수행과 조사에 적용된다. 폭우기간 및 그 후에 직원들은 댐을 방문하여 댐의 손상 정도를 결정하고 면허 소지자가 수행해야하는 필요한 연구 및 개선조치를 지시한다. 마지막으로 FERC는 면허 소지자에게 비상조치계획을 준비하도록 요구하고 이러한 계획을 개발하고 테스트하는 방법에 대한 교육을 실시한다.

이러한 계획들은 댐 관련 사고가 발생하거나 댐 물의 배출이 될 경우 조기경보 시스템을 제공하도록 설계되어 있으며 이 계획에는 저수지 수위감소 및 하류 흐름 감소와 같은 사용가능한 운영절차와 영향을 받는 거주자와 비상관리를 담당하는 기관에 통보하는 절차를 포함한다. 이 계획은 자주 업데이트 되고 테스트 됩니다.

3.3 댐 제거를 위한 고려사항

댐 제거 결정은 댐 복구 또는 보수, 댐 교체, 댐 제거, 저수지 재가동, '비조치' 대안 등 광범위한 잠재적 구조 및 비구조 대안에 대한 세심한 평가에 기초해야 한다. 댐 제거사업을 추진하기로 한 결정의 주요 요인은 댐 소유 유형(공공, 민간 또는 소유불명 등)에 따라 부분적으로 좌우되지만 다음을 포함할 수 있다.

- 공공안전 (댐 붕괴나 레크리에이션 위험의 발생)
- 어류 통로 및 수생이동 (보호종 이동용)
- 하천 복원(수질, 수생 서식지, 침전물 수송의 개선)
- 경제 (댐 노후화와 운영비 및 수리비 높은비용 부담)
- 프로젝트 파이낸싱(프로젝트 자금조달의 가용성과 출처)
- 공익(어업, 휴양, 항해, 미학)
- 소유주 혜택 (위험 및 책임감축 및 공익적 관련)
- 환경영향(환경준수 및 완화)

○ 공공안전

댐 소유자들은 국민의 안전을 보장하기 위해 규제 기관의 요구를 충족해야 한다. 댐 소유자의 책임은 댐의 광범위한 개조 또는 수리 대신에 인명 손실 및 하류 재산과 환경의 손상 등 댐 붕괴로 인해 발생할 수 있는 잠재적 공공 안전 위험을 댐 제거로 제거하거나 축소할 수 있다. 예를 들어, 요세미티 국립공원의 캐스케이드 댐은 보수에 자금을 투입하는 대신, 공원 방문객을 잠재적 붕괴로부터 보호하기 위해 2003년에 철거되었다. 다른 작은 댐은 정상 및 홍수 작업 중 여가활동 사용자가 물에 빠져 익사할 수 있는 공공의 안전상 위해를 가할 수 있다. 어떤 경우에는 댐이 소유주에 의해 버려져 연방, 주 및 지방 정부 기관이 잠재적 공공 안전 문제를 처리해야 한다. 정부기관이 버려진 댐을 소유 물품으로 추가하는 것은 법적으로나 재정적으로 어려운 경우가 많기 때문에 댐 제거와 부지 복원은 공공의 안전을 보장하기 위한 바람직한 대안이 될 수 있다. 수많은 버려진 댐들이 특별 공공 안전 프로그램으로 위스콘신에서 제거되었다.

댐을 제거하면 하류 지역의 잠재적 위험이 증가할 수 있다는 것을 인식하는 것이 중요하다. 홍수 보호를 제공하는 댐이 그런 경우일 것이다. 빈번한 홍수로부터 하류 주민을 보호하는 댐을 극한 홍수 때 댐 붕괴로 인해 발생할 수 있는 잠재적 위험 때문에 댐을 제거할 경우 이에 대한 영향에 대해 세심한 검토가 필요하다. 그러한 댐은 빈번한 홍수에 대비하여 하부 구조를 남겨두고 극한 홍수시 댐 붕괴로 인한 하류 위험 가능성을 없애는 부분적인 제거가 적합할 수 있다.

○ 어류통로 및 수생 이동

댐은 어류의 중요한 이동이나 도피를 위한 다양한 계절 동안 소하성 어종과 그 밖의 어종이 유명한 산란처나 보육처로 상·하류로 이동하는 것을 방해하거나 막을 수 있다. 어류 통로는 보호 종들에게 매우 중요한 환경 요인이 될 수 있으며 종종 댐 제거의 주요 원인으로 언급된다. 미국 서해안을 따라 계획되거나 완공된 대규모 댐 제거 및 하천 복원사업은 모두 소하성 어류 개체수(연어와 무지개송어)를 개선하기 위한 것이다. 이 프로젝트에는 워싱턴 주 엘화강의 엘화 글린스캐니언댐(Elwha and Glines Canyon Dams) 제거, 화이트살몬강에서 콘디트댐(Condit Dam) 제거, 오리건 주의 로그강에서 새비지 래피드댐(Savage Rapids Dam) 제거, 매틸리아댐(Matilija Dam) 제거, 캘리포니아주의 칼리시 산클레멘트 댐(San Clemente Dam) 제거 등이 포함될 수 있다. 어류통로의 대안으로 물고기 사다리나 잡아서 이동시키는 방법 같은 대형 댐의 어로 대체물은 매우 비쌀 수 있고 댐 제거에 의해 제공되는 어류이동의 자유로움과 의도보다 덜 효과적이다.

대신에, 댐은 토종 또는 관리된 어종의 개체군에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 외래어종과 침입 어종의 경우와 같이 수생 종의 이동에 유익한 장애물을 제공할 수 있다. 따라서 침입 어종들의 이동에 대한 통제는 토착 종들을 보호하기 위한 중요한 요소가 될 수 있고 댐을 제거하지 않는 근거가 될 수 있다. 예를 들어, 그레이트 레이크 주의 댐은 바다 칠성장어가 지류 하천과 강으로 상류로 이동하는 것을 막는다.

○ 하천복원

댐 뒤의 저수지는 물고기들에게 따뜻한 물 서식지를 제공할 수 있다. 댐 제거는 강의 환경에서 발견되는 차가운 물 종으로 다시 채워지는 자유흐름의 차가운 물 서식지를 제공할 수 있다. 이것은 수질(저수온과 용존산소 증가 포함)을 개선하고 수생 서식지의 다양성과 효용성을 향상시킬 수 있다. 작고 좁은 저수지를 제외하고, 댐 제거는 보통 하천의 새로운 제방 밖에 있는 이전에 침수되었던 지역의 재녹화되는 결과를 초래하고, 이로 인해 유익한 강변 완충지역과 범람 습지 지역의 조성이나 복구가 이루어질 수 있다. 재녹화는 자연적으로 일어날 수 있지만, 토종 식물 종과 관련된 적극적인 씨앗 뿌리기 및 심기 프로그램이 그 과정을 가속화하고 바람직한 결과를 보장하기 위해 종종 이용된다. 새로운 식물이 정착될 때까지 수질보전을 위해 침식방지책이 필요할 수도 있다. 외래 식물종을 조절하기 위한 관리 프로그램도 필요할 수 있다. 워싱턴 주 포트엘젤레스 인근 엘화댐 뒤편 올드웰 호수(Lake Aldwell)의 반복사진에서 저수지 경관의 예를 볼 수 있다.

〈올드웰 호수 배수 후 침천물 변화 2012~2014〉



○ 경제성

댐 제거를 추진하기로 한 결정은 특히 댐이 원래의 설계 목적(급수, 휴양, 수력 또는 홍수 조절 등)을 더 이상 이행하지 않고 있으며 이득을 거의 또는 전혀 제공하지 않는 경우에는 지속적인 유지와 보수에 따른 비용에 의해 추진될 수 있다. 현재의 공학적 기준과 적용 가능한 댐 안전 규정(연방 또는 주)을 충족시키기 위해 댐을 개선하는 데 필요한 잠재적 개선 비용은 댐 소유자에게 중요한 요인이 될 수 있다. 연방기관은 해당 기관이 소유하거나 관할하는 댐의 적절한 운영과 유지보수를 책임진다. 댐 안전 관련 연방지침(FEMA, 2004)은 댐의 계획, 설계, 건설, 운영, 규제 및 폐기를 담당하는 모든 연방기관의 댐 안전 관리에 적용된다. 주 댐 안전청은 NID에 등재된 8만7000여 개의 댐 중 약 80%를 규제하고 자체 규정을 제정한다. 댐 안전 결함 들은 즉각적인 조치가 요구되는 응급사항 부터 즉각적인 위험을 초래하지 않는 비 응급사항 까지 다양할 수 있다. 결함이 있는 댐은 큰 홍수, 지진, 점진적 약화 또는 유지보수의 부족으로 인해 붕괴할 수 있다. ASCE(2008) (www.infrastructurereportcard.org/dams/)에 따르면 결함이 있는 댐은 4000여 개로 추정된다.

노후 댐에 대한 일반적인 댐 안전 개선사항은 다음과 같다.

- 새로운 설계 홍수 통로를 위한 유도로 배출 능력 증가
- 입구 및 출구 구조, 관문, 밸브 교체
- 콘크리트 및 석조댐의 정압 또는 지진 안정성을 높이기 위한 개선
- 제방댐의 침전 및 배관 잠재력 제어에 대한 개선
- 제방댐 및 구획되지 않은 배수로의 침식제어 개선

- 댐 범람 보호

이러한 개선의 비용은 공사 중 하천흐름의 전환과 관리를 위한 잠재적 비용을 포함하여 상당한 프로젝트 자금의 지출이 필요할 수 있다. 또한 공사 중 수력발전 상실과 추가비용 발생 등으로 사업 편익에 악영향을 미칠 수 있다. 캐스캐이드 댐(Cascades Dam)은 요세미티 국립공원 내 머시드강(Merced River) 위치한 목재 크립 구조물로, 수해로 인해 큰 피해를 입었으며 더 이상 어떤 유용한 목적도 제공하지 못했다. 국립공원관리공단은 방문객들을 잠재적 붕괴 위험으로부터 보호하기 위해 고가의 보수보다는 악화 손상된 구조물을 제거하기로 결정했다.

- 프로젝트 재원

연방 및 주 댐 안전 프로그램은 일반적으로 연방 및 주 기관이 소유한 댐에 자금을 지원해 댐 안전 결함을 해결하고 공공 안전을 보장할 수 있다. 이것은 시민들에게 잠재적 위험을 줄이기 위한 우선적인 대안으로서 결정된 경우 댐 해체 사업을 포함할 수 있다. 운영 및 유지관리 프로그램은 일반적으로 댐의 지속적인 운영과 부속 설비의 유지를 위해 필요한 정기적인 유지관리와 보수에 자금을 제공하지만, 경제적 근거에서 정당화될 경우 댐을 철거하는 데 사용될 수 있다. 위스콘신, 펜실베이니아와 같은 일부 주는 소유주를 찾을 수 없는 버려진 댐을 제거하기 위해 특별 기금을 제공했다. 자연 보호(The Nature Conservancy), 아메리칸 리버(American Rivers), 지구의 친구(Friends of the Earth)와 같은 환경 보호 단체도 댐 폐로 사업에 대한 재정 지원을 제공할 수 있다. 어떤 경우 연방법은 민간 소유의 댐의 취득 및 철거를 통해 하천 복원과 보호종을 위한 어로통과 같은 상당한 환경적 이익을 제공하기 위해 자금을 지원해왔다. 1992년에 제정된 '엘화강 생태계 및 수산복원법'은 제임스 리버 코퍼레이션의 엘화강 및 소하성 어장 복원을 위해 엘화강과 글린스 캐니언 댐을 매입할 수 있도록 규정하였다. 엘화법 조항에 따르면, 민간 댐 소유자는 재산 양도 및 수력 발전 손실에 대한 보상을 받고, 미국 원주민의 이해관계에 기인하는 것을 제외하고는 댐과 관련된 모든 미래의 책임에 대해 해방된다.

칠러킨(Chiloquin)댐 어류통과사업 타당성 조사는 2002년 5월 농업보안 및 농촌 투자법에 따라 의회의 허가를 받아 자금을 지원받았고, 결국 모도크포인트관계지구(the Modoc Point Irrigation District, MPID)에서 오리건주 스프래그강의 칠러킨댐을 매입해 철거하는 결과를 낳았으며 관개용 MPID 주운하로의 물 수송을 위해 윌리엄슨 강의 댐 하류에 펌프장이 건설되었다. 연방정부와 주정부기관과 클라마스 수력정착 협약과 주요 프로젝트 이해관계자는 공공시설위원회의 승인과 함께

오레곤주 및 캘리포니아의 요금지급자(댐을 소유하고 운영하는 PacifiCorp의 고객)와 강복원 프로그램과 관련된 지급되는 추가재원을 가진 캘리포니아주가 미리 지급해야하는 클라마스강 수력발전소 4개 수력댐의 철거에 따른 총비용 제공하였다. 민간 소유 댐의 철거를 위한 연방 및 주 자금재원은 많이 존재한다. 미국 동부 연안의 소규모 댐 제거에 대한 연방정부의 자금 대부분은 국립 해양수산청(NMFS) 또는 국립 해양대기청(NOAA), 어업복원센터가 환경 및 환경보호단체와의 일련의 제휴를 통해 제공하고 있다.

○ 공공이익

댐 제거사업은 이전 댐 입지 주변과 상류에 하천 어장의 복구나 개량 등 다양한 공공의 이익을 가져올 수 있다. 댐 제거는 또한 하부 스네이크 강을 따라 4개의 댐을 제거할 때 제안되었던 것처럼, 강 보트(레프팅, 카약, 카누타기 등) 등 새로운 레크리에이션 기회와 상업용 운항을 제공할 수 있다. 캘리포니아의 Saeltzer 댐과 Battle Creek에 있는 몇 개의 우회 댐의 제거와 같은 우회 시설의 제거와 수권의 포기로 인해 물고기와 레크리에이션에 위한 더 높은 흐름을 만들 수 있다. 오레곤과 캘리포니아의 클라마스 강에 있는 4개의 수력발전 댐을 제거하자는 제안에 따라, 이전 대형 저수지의 호안가에 위치한 레크리에이션 시설(공용 보트 경사로 및 야영장 등)을 강가에 더 가까이 이전할 수 있다. 이전에 저수지가 점령했던 지역은 댐 이전 풍경을 복원하고 다른 공공 또는 민간 용도와 이전에 침수되었던 토지의 새로운 사업 기회를 제공할 뿐만 아니라 미적인 기회를 제공할 수 있다. 예전의 호숫가를 따라 있던 개인 토지 소유자들은 새로 건설된 하천에서 어느 정도 거리를 두지 않으면 호수 경치를 잃지만 강 경치를 얻을 수 있다. 만약 4개의 수력발전 댐을 제거한다면 클라마트 강을 따라 생긴 프로젝트 토지는 공공의 사용을 위해 퍼시피코프(PacifiCorp)에서 오레곤주와 캘리포니아주로 이전될 것이다. 댐 제거와 하천 복원 이후 일부 경우 부동산 가치가 증가하는 것으로 나타났다. 댐 제거에 따른 다른 잠재적 공공 이익으로는 맹금류 및 기타 육지 종의 개체수 증가와 같은 하천 및 유역 건강 개선, 댐 붕괴 또는 사업 시설 운영의 잘못으로 인한 위험 감소 등이 있다. 버려진 댐의 경우, 구조물 정비를 담당하는 지역사회에 대한 재정 부담의 제거가 있을 수 있다.

○ 소유자 혜택

소유자에 대한 댐 제거 사업의 잠재적 편익은 일반적으로 향후 댐 운영과 유지 댐 보수, 댐 안전 개선에 위한 자본비용의 감소이다. 소유주에 대한 전체 비용은 어

류 사다리 및 물고기 통행을 위한 스크린의 건설 및 운용이나 규제 기관이 요구하는 대규모 홍수나 지진을 수용하기 위한 구조 변경과 같은 개선 대안보다 낮을 수 있다. 이는 다른 사업 대안과 비교하여 댐 제거를 위한 공공 자금의 적용성을 고려할 때 특히 그러할 수 있다. 댐 제거 사업은 댐의 붕괴가 더 이상 소유주의 잠재적 책임이나 하류 인구 지역의 잠재적 문제가 되지 않도록 계획될 수 있다. 프로젝트 토지는 다른 목적으로 판매되거나 개발될 수 있다. 댐 제거사업은 공공복지에 대한 책임과 환경에 대한 관심을 보여줌으로써 소유자에게 홍보 혜택을 줄 수도 있다. 댐 제거로 인해 사업상의 이익(발전, 급수, 레크리에이션 등)이 상실되지만, 일반적으로 사업상 이익의 대체는 다른 방법을 통해서 얻을 수 있다.

○ 환경적 영향

대규모 사업이 국가환경정책법(NEPA)을 준수하기 위해서는 환경영향보고서(EIS)나 환경평가(EA)가 일반적으로 요구된다. 여기에는 완화가 필요할 수 있는 다른 모든 프로젝트 대안(환경 기준선 조건과 비교했을 때)과 제안된 조치에서 야기되는 잠재적 환경 영향의 확인이 포함된다. 소규모 프로젝트의 경우, 규제 프로세스의 일부로 환경 영향을 조사하여 검토하지만, 공식적인 EIS 또는 EA는 일반적으로 필요하지 않다. 소규모 프로젝트는 주 및 지방 허가 요건만 충족하면 될 수 있다. 저수지 저장소의 상실은 댐 제거 프로젝트의 일환으로 식별되고 평가되어야 하는 수많은 영향을 초래할 수 있다. 분명히, 댐이 승인되고 건설된 원래의 혜택은 영구히 상실될 수도 있다. 댐 제거로 인한 사업 이익의 상실은 관련된 사회경제적 영향과 함께 지역사회에 악영향을 미칠 수 있다. 이러한 손실된 이익은 급수, 홍수 조절, 전기발전, 그리고 레크리에이션 등을 포함할 수 있다. 물 유통에 대한 법적 권리는 다루어질 필요가 있을 것이다. 지하수 수위가 낮아지면 지하수 수위가 낮아져 지역 우물이나 샘물에도 영향을 미칠 수 있다. 하류 수질은 이전에 저수지 내에 포함되었던 자연 퇴적물(정지된 고형물 또는 하상유사)의 통행에 의해 영향을 받을 수 있다. 하류 통로를 따라 침전물이 퇴적됨에 따라 더 높은 강바닥과 잠재적 더 큰 범람이 발생할 수 있다. 하류 취수량은 침전물 퇴적에 의해 악영향을 받을 수도 있다. 댐의 제거와 저수지 저장소의 손실은 급수 지역 내 기반시설에도 상당한 영향을 미칠 수 있다. 수심 유실은 하천 항법에도 영향을 미칠 수 있으며 댐을 철거하면 교량을 대신 할 중요한 하천 건널목도 없어질 수도 있다. 기존 교각, 도로 및 철도 경사면, 제방, 지하 배수로 들, 급수 지역 내 매립 또는 침수된 시설물(물 및 천연가스 파이프라인 등)은 더 높은 유속, 쇄굴 및 표면 침식에 노출될 수 있어 보호 또는 재배치가 필요할 수 있다. 이전에 침수되었던 문화 유적지와 고고학 유적지가 노출되어 침

식이나 인간 훼손 대상이 될 수 있다. 오래된 구조물들은 제거될 경우 제거된 지역의 역사적 자원을 대표할 수 있다. 호수바닥 노출은 되면 침식 조절과 식물에게 위험한 분진이 발생할 수 있다. 허용 과정의 일부로 상류 영향 완화를 요구할 수 있다²⁴⁾.

댐의 철거와 수력발전소의 폐기는 시설과 관련된 토지의 최종 양도, 지역권, 통행권 등에 관한 결정이 필요하다. 영향을 받는 모든 토지 구획을 식별하고 소유권을 결정해야 한다. 타인에 의해 또는 타인에게 부여되는 모든 지역권, 임대 또는 통행권에 관한 정보는 폐기 선택에 영향을 미칠 수 있는 토지의 향후 사용에 대한 잠재적 제한을 파악하기 위해 필요하다. 사업지역 내 땅값과 재산세 수입은 저수지의 유실 및 제공된 홍수 보호 수준에 의해 영향을 받을 수 있다. 토지의 판매나 지역권 해제는 우선 잠재적인 공공 안전이나 환경적 위해를 제거하기 위해 일정 수준의 현장 복구가 필요할 수 있다. 어떤 경우에는 기존 기반시설에 대한 잠재적 영향이 너무 클 수 있으며, 그에 대한 복원이 너무 비싸서 댐 제거를 수행할 수 없을 수 있다. 이는 제안된 사업이 경제적으로 실현 가능하지 않다는 판단으로 이어질 것이다.

3.4 댐 제거 프로젝트 계획과 의사결정

○ 문제파악

댐 제거를 고려할 필요성은 일반적으로 공공 안전, 어로, 하천 복원 그리고/또는 기존 사업이 충족시키지 못하는 경제성에 대한 요건과 관련된 기존 프로젝트의 문제점을 파악한 데서 비롯된다. 제안된 조치의 목적과 필요성에 대한 명확한 표현은 규제 기관과 이해관계자들에게 제안된 조치가 필요한 이유와 확인된 문제를 어떻게 해결할 것인지를 설명할 것이다. 구체적인 사업목표는 사업목적을 확대하고 사업대안의 적절한 범위를 개발하기 위해 발전되어야 한다. 사업대안은 준비된 연구결과로 의사결정자들을 돕도록 사업목적들과 대응하여 평가될 것이다.

○ 이해관계자 파악

제안된 댐 제거 프로젝트는 해당 연방, 주 및 지방 정부 기관 및 영향을 받는 미국 원주민 부족의 개입을 필요로 한다. 예를 들어, 이 프로젝트가 FERC가 면허한 수력 발전 설비의 개선이 포함될 경우, FERC 면허를 개정하거나 포기해야 한다. 허가서 발급을 요구하는 모든 조치는 일반적으로 준설 또는 되메우기 위한 허가를 위해 미국 육군 공병대(USACE)(청정수법 제404조에 의거)와 수질 인증 취득(청정수법 제401조와 제402조에 의거)을 담당하는 주 정부 기관이 관련된다. 멸종위

24) Hepler, 2013

기에 처한 종(위기종관련법)에 영향을 미치는 조치에는 보통 미국 어류 및 야생동물 보호청(USFWS)과 미국 해양수산청(NMFS)이 관련된다. 환경보호청(EPA)은 대기질에 영향을 미치는 행동(청정공기법)에 관여하게 된다. 관할 구역 내의 댐에 대한 규제 권한을 가진 주 수자원이나 댐 안전 기관도 참여하게 되며 일반적으로 허가를 요구한다. 수로의 변경에는 캘리포니아 주 내의 하상 변경 허가(제1602절)을 위한 캘리포니아 어류 및 야생동물 관리국(CDFW)과 같은 주 어류 및 야생동물 기관이 포함될 수 있다. 저수지를 가로지르는 도로나 다리에 대한 잠재적 영향은 연방, 주, 카운티 또는 시 기관 또는 철도 회사가 관련될 수 있다. 수 있다. 카운티 정부는 철거 허가를 요구할 수 있으며 관할 구역 내에서 폐기물의 운송과 폐기를 규제할 수 있다. 제안된 조치가 어업권과 문화 자원을 포함한 미국 원주민의 이익에 영향을 미친다면 영향을 받는 부족 정부와 인디안 사무국(BIA)이 포함될 것이다.

많은 다른 프로젝트 이해관계자들로는 The Nature Conservancy, American Rivers, Trout Unlimited, Friends of the Earth 등과 같은 광범위한 비정부 기구(NGO)와 지역 기업 및 민간 시민을 포함할 수 있다. 댐 제거 사업의 직접적인 영향을 받는 토지 소유자와 지역 사회 구성원들은 이 사업의 중요한 이해당사자들이다. 저수지 근처 또는 하류 하천 수로의 물 사용자는 저수량 감소 및 침전물의 방출에 의해 지하수 공급의 양과 질에 대한 변화에 영향을 받을 수 있다. 수도관이나 송전선이 댐이나 저수지를 가로지르거나 수력발전원이 상실되면 공익사업이 영향을 받을 수 있다. 모든 잠재적 이해당사자를 조기에 파악하고 이들을 의사결정 과정에 참여시키는 것이 매우 중요하다.

○ 환경 준수 조건

댐 제거 사업에 대한 환경 준수는 연방, 주 및 지방 기관에서 얻을 필요가 있다.

- 연방관련

주요 연방조치로 취득된 댐 제거사업은 국가환경정책법(NEPA)에 따른 환경영향 보고서(EIS) 개발을 요구 할 것이다. NEPA 규정은 연방의 통제와 책임의 대상이 될 가능성이 있고 중대할 수 있는 조치를 포함하는 주요 연방 조치를 정의한다. 그러한 조치에는 전적으로 또는 부분적으로 자금을 지원, 도움, 시행, 규제 또는 연방 기관의 승인을 포함한 신규 및 지속적 활동이 포함된다. 또한 프로젝트는 지정된 지리적 영역에 위치한 건설 또는 관리 활동이나 보호 습지에 영향을 미칠 수 있는 활동, 허가 또는 기타 규제 결정에 의한 승인조치와 같은 특정 요소의 연방승인과 연방 및 연방 지원 활성화와 관련된다면 주요 연방조치 자격을 취득한다. EIS의 개발

과 승인을 목적으로 연방 주도 기관을 확인할 것이다. NEPA에 따르면, 협력 기관은 주 기관 이외의 기관으로, EIS를 요구하는 조치에 관련된 환경 영향과 관련하여 법에 의한 관할권이나 특별한 전문지식을 갖는다. 어떤 경우에는 환경평가(EA)와 특별한 영향 없음(FONSI)이 NEPA 준수에 충분할 수 있다. 소규모 댐 제거 사업의 경우, 규제 프로세스의 일환으로 환경 영향을 조사하고 처리하며, 공식적인 EIS나 EA는 일반적으로 필요하지 않다.

NEPA의 주된 목적은 환경 요인이 연방 기관에 의해 수행되는 의사결정 과정의 다른 요소들과 동등한 수준에서 평가되도록 하는 것이다. 그러므로 NEPA는 제안된 정부 활동의 환경적 영향을 평가하기 위한 상세한 환경 연구의 준비를 요구한다. EIS에서 사업목적과 필요항목, 사업목표와 일치하는 사업대안의 범위를 평가해야 한다. EIS에 대한 배경 정보에는 지리적 범위나 프로젝트 한계, 프로젝트 설명, 프로젝트 개발로 이어지는 이벤트의 일정 및 요약, 프로젝트와 관련된 환경적 고려사항의 논의가 포함된다. 제안된 조치와 타당한 대안에 따른 환경적 영향과 결과는 비교 형식으로 제시되어 제안된 조치나 프로젝트의 진행 여부에 대해 의사결정자와 시민들이 대안들 중에서 선택할 수 있는 명확한 근거를 제공해야 한다. 여기에는 대안이 실행되어도 피할 수 없는 부정적 환경영향 또는 대체가 불가능하고 돌이킬 수 없는 자원에 대한 확인 그리고 환경의 단기적 사용과 장기적인 생산성의 유지와 향상 사이의 관계에 대한 제시가 포함될 것이다.

공공 참여는 NEPA 프로세스와 댐 제거와 관련된 기타 규제 프로세스에서 필수적이고 필요 구성요소다. NEPA는 기술적 조언과 규제기관의 고려사항을 포함한 문제 및 우려사항과 함께 대중의 의견을 수렴하여 초기부터 개방적인 프로세스로 범위를 결정한다. 공공의 범위화 과정이외에도 시민의 참여는 EIS의 개발 전반에 걸쳐 장려된다.

NEPA는 영향을 받을 수 있는 광범위한 자원에 대한 기준 조건과 비교했을 때 각 조치의 "내용과 강도"를 고려하여 EIS가 각 조치 대안에 대한 환경적 영향과 중요성을 제시할 것을 요구한다. "No Action" 대안은 일반적으로 댐 안전이나 환경 개선 없이 댐이 제자리를 유지한다고 가정하는 것으로 EIS에서 환경 영향의 중요성을 결정하기 위한 기준으로 사용된다. 확인된 각 자원에 대한 영향 받는 환경 및 환경적 결과에 대해 상세히 논한다. 영향을 받는 환경에는 환경 설정(EIS 작성 전에 존재했던 프로젝트 주변의 물리적 환경 조건) 및 규제 설정(각 자원에 관련된 법률, 규정, 허가 및 정책)이 해당된다. 환경적 결과에는 각 자원에 대한 각각의 완화, 보상 또는 복원에 대한 논의뿐만 아니라 영향의 평가(사업상 편익 손실 포함)가 포함된다. NEPA에 따른 영향의 중요성은 일반적으로 영향이 발생하는 상황에 대한 전

문가의 판단과 지식에 의존한다. 다음과 같이 누적영향과 함께 상당한 영향, 덜 중요한 영향, 유익한 영향이 각 자원의 평가로 확인된다.

- 상당한 영향은 환경에 상당한 역효과를 초래할 수 있다. 모든 중대한 충격에 대해서는 완화 조치가 필요하다.
- 덜 중요한 영향은 환경에 부정적인 영향을 미치지만 상당히 부정적인 영향은 없을 것이다. 중요도가 낮은 모든 충격에 대해서는 보상이나 복구 조치를 권고한다.
- 유익한 영향은 환경을 더 좋게 변화시킨다.
- 누적 영향은 과거, 현재 및 합리적으로 예측 가능한 미래 조치가 추가되었을 때 제안된 조치의 증가되는 영향에 따라 환경에 미치는 영향이다. 누적 영향은 개별적으로는 경미하지만 일정 기간 동안 총체적으로 발생하는 중요한 조치로부터 기인한다.

경감 대책은 건설 중·후 환경적 악영향을 줄이기 위해 사업대안에 따라 시행할 수 있는 구조 및 비구조적 조치들이다. 이상적으로는 완화 조치가 대안의 일부로 포함될 것이다. 다음과 같은 잠재적 완화 조치가 적용되는 순서대로 나열되어 있다.

- 특정 행동이나 행동의 일부를 취하지 않음으로써 영향을 피한다.
- 조치의 정도나 규모, 실행을 제한하여 영향을 최소화한다.
- 영향을 받는 환경을 보수, 재건 또는 복원하여 충격을 시정한다.
- 실행기간 동안 보존 및 유지관리를 통해 시간 경과에 따른 영향을 줄이거나 제거한다.
- 대체 자원이나 환경을 대체하거나 제공함으로써 영향을 보상한다.

EIS의 목적은 사업의 승인이나 거부를 권고하는 것이 아니라, 의사결정 과정에서 시민들과 허가 기관에게 도움을 줄 수 있는 정보를 제공하는 것이다. 댐 제거 사업과 같은 NEPA 규정에 의한 주요 연방 조치의 의사결정 과정에는 다음과 같은 단계가 포함된다.

- EIS 작성에 대한 의향고지(Notice of Intent, NOI) 발행
- EIS에 대한 공공의 범위와 공공 및 기관의 의견 접수
- 제안된 조치와 대안 범위 등에 대한 EIS 초안 준비
- EIS 초안의 이용가능성 고지 발행, 공공 및 기관의 최소 60일간 검토·의견을 위한 EIS 초안의 배포.

- 최종 EIS 준비(수신되는 모든 의견에 대한 응답 포함) 및 권장사업 대안(제안된 조치 또는 선호되는 대안)확인
- EPA와 함께 최종 EIS를 서류정리하고 연방관보에 최종 EIS의 이용가능성 통지의 발행.
- 최종 EIS 30일 무조치 기간
- 추진해야 할 대안 또는 제안된 조치에 관한 연방 의사결정 기록(ROD)의 서류정리

이 절차에 따라 책임 있는 연방, 주 및 지역 의사결정자들은 제안된 조치의 실행을 위한 승인, 권한 및/또는 자금을 책정할지 결정해야 한다. 대규모 댐 폐로 사업의 최종 승인, 설계, 시행은 수년이 걸릴 수 있다. 이것은 다양한 법적, 환경적, 정치적, 사회적, 경제적 이유 때문일 것이다. FERC는 1989년 수력발전사업이 재허가 및 잠재적 대안에 미치는 영향을 평가하기 위해 엘화 및 글린스 캐년 수력발전사업을 위한 EIS를 준비하기 시작했다. 이해당사자의 강력한 지지에 따라 1992년 ‘엘화강 생태계 및 수산복원법’(엘화법)이 제정되어 FERC의 사업허가권 발급을 정지하고, 내무부 장관에게 엘화강 생태계 및 자연산 소하성 어장을 완전히 복원하기 위한 계획을 제안하였다. 장관은 1994년에 두 댐을 모두 철거하는 것이 목표 달성을 실현을 위해 필요하다고 결정했다.

국립공원관리공단은 무조치, 어로통행 댐 유지, 엘화댐 제거, 글린스캐년댐 제거, 각 대안별 환경영향, 두 댐의 철거 등 몇 가지 대안을 평가하기 위해 기관간, 프로그램적(또는 정책) EIS를 준비하기 위한 주임무를 맡았다. 1995년 6월 공공의 논평과 최종 프로그램 EIS의 발행에 따라 국립공원관리공단이 두 댐의 철거를 권고하였다. 1996년 11월에 저수지의 배수, 댐 제거, 퇴적물 관리, 저수지 복구, 어업 개선, 하류 수질 보호에 필요한 구체적인 건설 방법과 완화 조치를 다루기 위해 최종 EIS가 발행되었다. 최종 EIS 보완물은 멸종위기종보호법(Endangered Species Act ESA)에 따라 새로 등재된 어종을 포함한 1996년 이후의 변화를 감안하고 최종 수질 완화 계획을 통합하기 위해 2000년 내무부가 프로젝트 시설을 인수한 후 2005년 7월 발행했다. 댐 제거가 시작되기 전에 두 곳의 수처리장, 홍수 제방, 그리고 새로운 부족 어장의 설계와 건설이 필요했다. 2009년에 추가 프로젝트 자금후원이 의회에서 승인되었고, 엘화법이 제정된 지 18년 후인 2010년에 국립공원관리공단이 두 댐의 철거 계약을 체결하여 2014년 9월까지 완공하였다.

이와는 대조적으로 EIS를 필요로 하지 않는 소규모 댐 폐로 프로젝트는 훨씬 더

짧은 시간 안에 완료될 수 있다. 캘리포니아의 Saeltzer댐은 2000년에 제거되었는데, EA 승인과 관련 연방 및 주 당국의 허가와 준비로 부터 준공 및 현장 복구까지 단지 9개월이 소요되었다. 20피트 높이의 콘크리트 중력댐의 철거는 지방, 주 및 연방의 강력한 지원을 받았으며, 지역의 반대가 없었으며, 개간국(Bureau of Reclamation)과의 설계 시공 계약에 따라 소규모 사업 계약자가 수행했다.

- 주(State) 관련

주 환경 준수 요건은 주마다 다르지만 일반적으로 NEPA 준수 요건과 유사하다. 연방정부와 주정부 요건의 차이는 용어, 절차, 환경문서 내용 및 환경을 보호하기 위한 실질적인 명령을 포함할 수 있다. EIS는 일반적으로 연방 및 주 요구사항을 모두 충족할 수 있도록 준비되며, 따라서 연방 규정에 의해 요구되지 않는 일부 조항을 포함할 수 있다. 예를 들어 캘리포니아 주 내의 프로젝트는 반드시 환경영향보고서(Environmental Impact Report, EIR)의 작성을 요구하는 캘리포니아 환경품질법(California Environmental Quality Act, CEQA)을 준수해야 한다. CEQA 지침은 일반적으로 연방법 준수를 위해 환경 영향의 중요성을 결정하기 위한 특정한 한계값을 포함한다. 누적 영향을 평가하기 위한 CEQA 지침은 NEPA에 따른 것보다 엄격하며, 일반적으로 EIS/EIR의 공동 개발에 사용된다. 프로젝트가 특정 주 또는 지방 기관에 의해 수행되지 않는다면, EIR의 주 책임 기관은 일반적으로 수도 품질 허가 또는 기타 주 규제 권한이 있는 주 물관리국이다.

○ 프로젝트 대안 평가

각 프로젝트 대안은 일반적으로 연방 및 주 주도 기관이 설정한 환경 기준과 비교 되는데, 일반적으로 "노 액션"이 대안으로 대표된다. 프로젝트 대안의 실행에 영향을 받고 비교가 되는 일반적인 범주의 자원은 다음과 같다:

어업과 수생 공동체/ 습지/ 야생/ 식물/ 위협받고 멸종 위기에 처한 종/ 수문학/ 수역학/ 수량과 수질/ 지하수/ 하천작용 과정/ 토지 이용/ 지질학/ 미학/ 교통/ 소음/ 대기질/ 공중보건 및 안전/ 공공서비스 및 공익사업/ 레크리에이션/ 문화자원 (역사 및 고고학)/ 전기발전/ 사회경제학/ 환경정의/ 인디언 자산 등.

환경영향평가를 위해서는 사업실행대안과 관련된 영향평가영역을 반드시 파악해야 한다. 댐 제거로 인한 하류 하천의 영향은 저수지 퇴적물의 침식에서 기인한다. 건설 영향은 일반적으로 모든 작업 구역, 신설 또는 개량된 진입 도로 및 산책로, 제안된 준비 구역, 비축 지역, 처분 구역, 자재 차입 지역, 복구 현장, 주차 구역, 건설 관리 부지를 포함한다. 충격 평가 영역의 한계는 EIS에 명확히 나타나야 한다.

각 조치 대안에 대한 환경 영향의 비교를 바탕으로 환경적으로 선호하는 대안들을 파악한다. 일반적으로 환경친화적인 대안은 물리적 환경에 가장 적은 피해를 주는 대안이나 역사적, 문화적, 자연자원을 가장 잘 보호, 보존, 강화하는 대안을 가리킨다. NEPA에 따르면, 연방 주도 기관은 결정기록에서 환경 선호 대안을 확인하고 최종 EIS에서도 이를 확인해야 한다. 그러나 환경적으로 선호하는 대안을 실행하지 않고도 제안된 프로젝트의 심각한 영향을 회피하거나 완화 할 수 있는 한, 연방 주도 기관은 환경 선호 대안을 선택할 의무는 없다. 제안된 조치에 대한 최종 결정 또는 승인은 연방 및 주 주도 기관에서 각 참여 기관의 재량권의 적용을 받으며 토지 소유자, 이해관계자 및 시민들의 의견을 통해 이루어진다.

대형 댐 제거 사업의 타당성은 환경, 기술, 경제, 재정 4가지 요소로 구성된다. 환경적 타당성은 프로젝트가 멸종 위기에 처한 종, 문화, 인디안의 신뢰 또는 기타 자원에 용납할 수 없는 환경적 결과를 야기하지 않는다는 것을 검증하는 분석으로 구성된다. 기술적 타당성은 설계, 운영 및 프로젝트가 건설, 운영 및 유지될 수 있는지 검증하는 시공성 분석으로 구성된다. 경제적 타당성은 프로젝트 구축이 경제적으로 자본의 건전한 투자임을 검증하는 분석(즉, 사업이 순익의 긍정적 결과를 가져 오거나 사업의 이익이 비용을 초과할 것)으로 구성된다. 재무적 타당성은 해당 법률에 따라 일정 기간 동안 연방정부 또는 주정부의 사업에 대한 투자 중 적절한 부분을 상환할 수 있는 사업 수혜자의 능력에 대한 심사 및 평가에 따라 결정된다.

대규모 연방 프로젝트의 경제성을 평가하기 위해 수행된 분석은 일반적으로 다음에 의해 제정된 1983년 미국 수자원위원회에서 발간한 "경제 및 환경 원칙 및 수자원 관련 시행 연구 지침"에 정의된 국가 경제개발(NED) 및 지역경제개발(RED) 보고서의 체계를 따른다. 2013년 12월에 연방정부는 물 투자 가이드라인을 위한 광범위한 원칙을 제시하고 최종 부처간 시행 지침서를 포함하는 업데이트된 원칙과 지침서 발표했다.

대규모 댐 제거 사업과 관련하여, NED 보고서는 댐 철거에 따른 순경제적 편익을 국가 전체의 관점에서 평가한다. 순경제적 편익은 주어진 정책이나 행동으로 인해 사회 전체가 더 좋은(혹은 더 나쁜) 정도를 나타내는 척도로, 시장과 비시장 이익의 양면의 척도를 포함한다. 연방의 목적은 국가의 환경을 보호하는 것과 일치하는 국가 경제 발전에 기여하는 것이다. 비용편익 분석은 제안된 사업의 편익을 그 비용과 비교하여 분석한다. 편익이 비용을 초과하는 경우(긍정적 순 편익 또는 1보다 큰 편익 비율의 결과) 이 사업은 경제적으로 정당화된 것으로 간주된다.

만약 제안된 조치를 위해 환경적으로 서로 다른 대안들 중에서 선택을 위한 편익 비용 분석을 고려한다면, 수량화되지 않은 환경 영향의 분석 및 기타 중요한 질적

고려사항 사이의 관계를 논의해야 한다. 대규모 댐 제거 사업과 관련된 많은 잠재적 이익들, 특히 부족 어업권 및 문화 자원과 관련된 이익을 자본적으로 평가하기는 어려울 수 있다. 엘화강 복원사업과 클라마트강 댐 제거 연구는 각각 비사용 가치 설문조사를 사용하여 현재 또는 미래에 관계 없이 공공재나 천연자원(예: 저수지 vs 자연흐름 강)에서 사람들이 얻는 가치에 관한 정보를 수집하였다. 이러한 비사용 가치 추정치는 사업 편익의 결정에 포함되었다.

RED 보고서는 지역경제영향분석을 바탕으로 댐제거로 발생할 수 있는 지역경제 활동의 변화를 평가한다. 지역경제영향분석에서는 정책, 프로그램 또는 이벤트의 지출을 측정하고 자금이 지역경제에 어떻게 순환하는지 분석한다. 여기에는 (1) 지역경제에서 정책이나 사건에 귀속되는 총 경제활동을 추적하는 경제공헌 분석과 (2) 같은 정책이나 사건에 기인한 새로운 경제활동의 순변화를 측정하는 경제영향 분석 등이 포함될 수 있다. RED 분석은 상품과 서비스를 공급하는 산업의 수요 변화와 가계의 지출 변화인 2차 영향뿐만 아니라 일차적인 영향까지 포함한다. 2차 영향은 흔히 "다중효과"라고 한다.

3.5 댐 제거 의사결정 방법

신뢰할 수 있는 댐 제거 결정은 행정, 정치, 사회, 환경 문제 뿐만 아니라 경제 분석에서 강조된 요소들을 고려한다. 댐 제거를 위한 의사결정 과정에 대한 전반적인 검토는 "댐 제거 : 복구 서비스 시민 안내서 (River Alliance of Wisconsin and Trout Unlimited, 2000)"에서 제공된다. 그러나 이 문서의 상당 부분은 댐 제거 결정이 내려진 뒤 댐을 제거하는 방법에 초점을 맞추고 있다. 이 절은 의사결정자들이 댐을 유지하거나 철거하는 결정에 접근하는 것을 돕기 위한 일반적인 지침을 제공한다.

의사결정 프로세스는 목적과 목표에 대한 명확한 식별과 정의로 시작한다. 이러한 목적과 목표를 명확히 함으로써 댐 제거의 타당성을 평가할 수 있는 체계를 제공한다. 이상적으로는, 그 절차를 통해 의사결정자들은 댐을 유지하거나 제거함에 따른 생태학적, 경제적, 사회적 결과를 비교할 수 있다. 또, 댐 제거 결정이 내려지면, 그 프로세스는 목적이 달성되는 것을 확실히 하기 위해 지속적인 감시·관리 보정을 위한 토대를 제공하게 된다. 댐 제거에 관한 결정에 도달하기 위한 이 일반적인 방법은 다음과 같은 네 가지 기본 단계를 포함한다.

1단계 : 목표와 목적을 정의한다.

2단계 : 주요 문제 확인

3단계 : 데이터 수집 및 평가

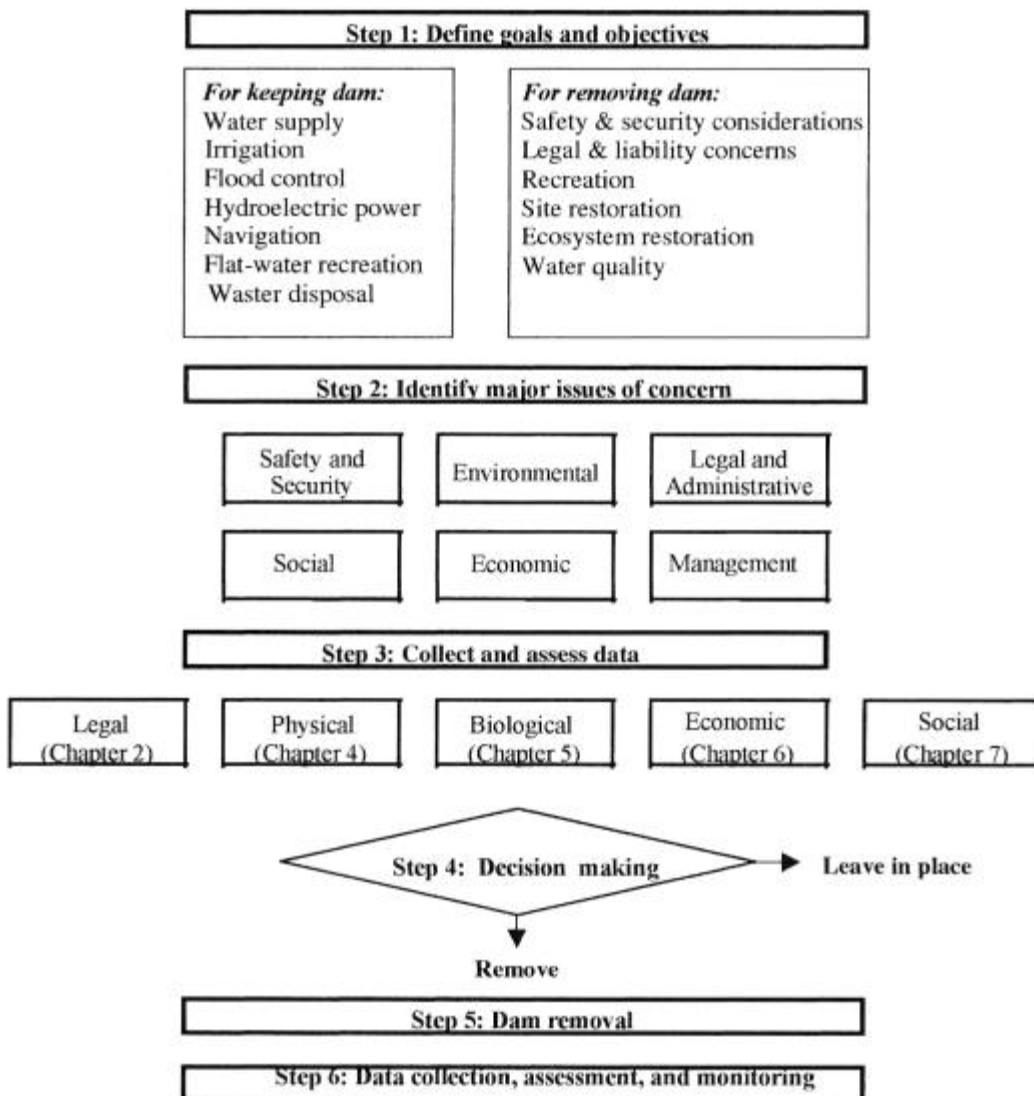
4단계 : 의사결정

댐 제거 결정이 내려지면 다음 두 단계가 추가된다.

5단계 : 댐 제거

6단계 : 데이터 수집, 평가 및 모니터링

〈일반적인 댐제거 의견 결정방법〉



1단계: 목표와 목적을 정의한다.

댐 제거 결정의 근거를 마련하기 위해서는 댐을 철거할 것인가 말 것인가에 대한 목표와 목적을 명확히 규정할 필요가 있다. 이해당사자 그룹은 이슈, 우려사항 및 목표 파악을 위해 소집할 필요가 있다. 다음 두 가지 핵심 질문을 해결해야 한다.

- 1) 댐이 법적 또는 사회적으로 규정된 원래의 목적과 요구를 충족시키고 있는가?
- 2) 목표 리스트에 추가해야 할 이슈나 필요성이 추가로 발생하였는가?

- 1) 댐이 법적 또는 사회적으로 규정된 원래의 목적과 요구를 충족시키고 있는가?

첫 번째 질문은 의사결정자들이 댐의 본래의 목적과 댐의 필요성, 구조물이 명확한 목적을 여전히 충족하는지를 평가 자세와 필요성을 평가하고 구조가 여전히 지정된 목표를 충족하는지 여부를 엄밀히 조사한다. 댐 건설의 일반적인 이유는 다음과 같다.

- 레저는 다른 주된 목적으로 만들어진 많은 저수지의 중요한 부산물이다. 저수지의 평평한 물은 남동부, 중서부, 그리고 평원 주에서 흔히 볼 수 있다.
- 화재와 농장의 연못은 농촌에서 흔히 볼 수 있으며 주로 가축, 농경 또는 소방용수를 담수하기 위해 건설된다. 이 연못들은 또한 중요한 레저지역을 제공한다.
- 홍수조절은 전국 각지에서 대형 다목적댐의 주요 기능이며 특히 동부와 중서부에서 그러하다. 잠재적으로 위험한 방류량을 잡아 가두고 이후 점차적으로 배출할 수 있도록 대용량이 필요하기 때문에 중규모나 대형 댐이 홍수 조절에 사용된다.
- 도시, 가정, 산업용 용수 공급은 댐에 의해 만들어진 시스템으로부터 얻는다. 이 댐들은 하천의 흐름을 분배계통으로 전환시키는 작은 수로 구조에서부터 임시 저수지를 만드는 중간 규모의 대형 구조물까지 다양하다.
- 댐에 의한 용수 공급이 가능하다. 강수량이 농작물 생산에 충분히 일정하지 않은 평야와 서부 주에서는 흔히 낮은 댐이 농작물 관개를 위해 물을 다른 곳으로 돌리는 데 사용된다. 중규모의 대형 댐은 상류유역의 저수지를 만들어 겨울과 봄의 유수와 눈 녹은물을 채우고, 성장기 동안 수평분배 시스템으로 하류로 물을 배출한다.
- 폐기물 처리는 여러 가지 활동, 특히 광업과 공업용 동물 농업에서 사용할 수 있는 연못을 만드는 댐의 건설과 유지에 의해 이루어진다.

- 수력발전은 미국에서 오래된 댐을 많이 건설한 주요 원인이었다. 증기 동력의 등장은 이러한 구조물들의 원래 의도했던 목적을 쓸모없게 만들었지만, 많은 것들은 전기 생산을 포함한 다른 목적으로 재정비되거나 미학, 문화, 또는 다른 이유로 유지되고 있다.
- 전기는 저 우회 작업부터 대형저장 구조물까지 모든 규모의 댐에서 생산된다.
- 내륙 강 항로는 보트와 바지선 통행에 적합할 만큼 깊은 웅덩이를 유지하는 수문과 댐 시스템에 의존한다. 작은 댐은 댐에 인접한 수문에 의해 수위가 높아져 보트와 바지선이 로 다른 수위로 드나들 수 있다. 상류 유역의 큰 저수 댐은 하류 웅덩이를 유지하기 위해 물을 하류로 방출한다.

목표목록에 추가해야 할 문제와 필요성이 있는가?

댐이 건설된 이후 사회 선호도가 변화하고 추가적인 목표가 나타났을 수 있다. 따라서, 두 번째 질문은 의사결정자들이 이러한 추가적인 우려가 댐의 필요성에 의문을 제기했는지 여부를 판단하도록 요구한다. 댐 붕괴의 일반적인 이유는 다음과 같다.

- **댐 안전과 보안**이 제거 가능성을 고려하는 주요 이슈이다. 댐의 붕괴는 예상치 못한 홍수와 참담한 결과로 하류 지역을 범람시킬 수 있다. 50년 또는 100년 전에 합리적 비용으로 설치한 댐이 현재 안전한 작동 상태로 되돌리기 위해서는 초기 건설 가격의 몇 배나 되는 투자를 요구한다. 많은 경우에, 소유자가 개인 또는 소규모 사업체라면 제거가 유일하게 합리적이고 경제적인 대안이며 테러행위의 가능성에 비추어 댐과 저수지의 보안도 고려해야 한다.
- **책임에 대한 우려**는 댐 소유주들의 즉각적인 조치를 유도할 수 있으며, 댐 소유주들은 자신의 잠재적 책임을 제거하기 위해 댐 제거를 선택할 수 있다. 강이 흐르는 작은 댐에서 나오는 난류는 뱃사공들과 카누족들에게 치명적인 함정이 될 수 있다. 댐과 관련 구조물에서 낚시를 하는 사람들은 심각한 부상이나 익사할 위험이 있다. 부상이나 사망의 경우 댐 소유자의 책임은 명확하지 않지만, 일부 소유자들은 구조물을 제거함으로써 위험을 피하는 것을 선호한다. 댐 붕괴에 따른 생명과 재산 피해에 대한 책임의 위협은 댐 소유주에게 불안정한 댐을 수리하거나 제거하기 위한 경제적 동기를 부여하며, 제거 비용이 수리보다 더 저렴할 수 있다.
- **레크리에이션**은 댐 철거를 지지하거나 반대하는 이유로 사용될 수 있다. 댐과 댐의 저수지는 정수역을 가능하게 하며 저수지 제거 뿐만 아니라 댐 제거는 하류의 레크리에이션 기회를 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 협곡에서의 급류 보트

는 좀더 자연적인 흐름에서 강화되며 평지 하천에서는 카누와 뱃사공들이 연속적이고 중단되지 않는 길이의 강을 찾는다. 스포츠 낚시, 특히 동부와 중서부의 송어의 경우, 댐에 의해 구획되지 않은 강에서 행해질 수 있다. 그러나 일부 댐은 저수지의 찬물 방류 없이 존재할 수 없는 송어 어업을 지원하고 있으며, 저수지는 낚시꾼들이 아끼는 어류인 큰입베스의 서식지를 제공하는 경우가 많다.

- **부지 복원**은 댐이 건설된 부지가 역사적, 문화적, 종교적 또는 환경적 중요성이 있는 경우 댐 제거의 장점이 될 수 있다. 종종 댐 부지 자체가 문제가 될 수 있지만, 저수지 물 아래 지역도 새롭게 설계된 생태계를 지원하기 위해 복구될 수 있다. 댐의 제거는 하류에 있는 수생 서식지의 복구에도 기여할 수 있다. 댐은 인공적으로 침전물을 가두어 유량을 수정하기 때문에 하류 유역은 원래 자연상태에서 크게 변화된다. 댐의 제거는 물을 더 자연적인 온도로 되돌릴 뿐만 아니라 침전물의 움직임을 회복시킬 수 있다.
- **생태계 복원**은 댐 제거의 가능한 혜택이며 저수지 물로 범람한 하천 지역의 명백한 복구와 더불어 댐에서 하류에 이르는 하천유역 또한 자연스런 상태로 복원할 수 있다. 현재까지 주요 댐 제거 작업에는 강의 흐름을 차단하고, 연어의 같은 소하성 어종의 산란장을 막는 댐이 포함되었다.

이러한 문제들은 사회적, 환경적, 행정적, 정치적 영역에서의 연결을 다룬다. 댐을 유지하거나 제거함으로써 달성해야 할 전체적인 목표와 결과는 의사결정 과정을 강화한다. 이러한 질문에 답한 후 의사결정자는 평가 프로세스의 2단계로 진행할 수 있다(타당성이 충분할 경우).

2단계: 주요 문제 확인

댐을 그대로 두거나 제거하기 위한 목표가 수립되면, 다양한 이해관계자의 주요 논란과 특정 관심사를 파악해야 한다. 이 검토는 다양한 인력 및 기관의 전문성과 가치를 이용하여 개방적이고 투명한 과정에서 완수할 필요가 있다. 검토는 댐의 소유자와 저수지 인접과 하류 수로를 따라 인접한 토지의 소유주 및 유역의 수권 소유자의 견해를 포함할 필요가 있다. 물 사용(소비성 및 비소비성), 전력, 환경 품질 및 어류 및 야생동물에 대한 주 및 연방 규제 기관과 함께 지방 정부 기관도 검토의 한부분이 될 필요가 있다. 보호, 보존, 경제 개발을 옹호하는 비정부기구와 단체도 필연적인 참여자다. 공개 회의은 개별 시민들로부터 의견을 들을 수 있는 장소를 제공할 수 있다. 린지댐(Rindge Dam)의 경우는 댐 결정의 과학적 특성, 경제적, 사회적 복잡성을 보여주는 유용한 예다.

문제 확인을 위해 가능한 광범위한 이해관계자의 참여는 댐 제거에 대한 올바른 결정을 내리는 데 있어 핵심이다. 때로는 신속한 과정이 거의 참여자 없는 것처럼 보일 수도 있다. 그러나 서로 다른 의견과 관점을 가진 기관, 조직 및 개인은 처음부터 의사 결정 과정에 참여하거나, 나중 단계에서 강제로 참여하지 않고 초청된 경우 가장 쉽게 타협적인 입장과 혁신적 해결책에 도달할 수 있다. 광범위한 참가자들은 조기 참여로 충분한 시간을 통해 잠재적인 문제들을 드러내며 이것은 일정을 준수해야하는 압박이 있을 수 있는 후반부 과정에 문제를 표면화하는 것보다 더 낫다.

제기될 가능성이 높은 문제의 유형은 안전 및 보안, 환경, 법률 및 관리, 사회 및 경제, 재무 및 관리 등이다. 분명히 이러한 모든 이슈들이 개별 사이트에서 논쟁적인 것은 아니지만, 아래 목록은 지역사회 토론을 위한 좋은 출발점을 제공한다.

• 안전 및 보안 문제

기존 구조물의 유지 또는 제거와 관련된 안전 및 보안 문제를 확인한다. 해결해야 할 질문은 다음과 같다.

- 댐이 붕괴되거나 제거될 경우 심각한 인명피해, 부상 및 재산피해가 발생할 가능성이 있는가?
- 댐은 노후화 또는 불충분한 유지보수로 인해 고장에 취약한가?
- 댐은 테러행위에 취약한가?

• 환경 문제

기존 구조물의 유지 또는 제거와 관련된 환경 문제를 파악한다. 위치에 따라 해결해야 할 질문은 다음과 같다.

- 구조물을 제거하면 멸종위기종이나 멸종위협종의 회복에 도움이 될까?
- 구조물을 제거하면 원치 않는 외래종의 변화가 일어날까, 아니면 토속종이 복원될까?
- 댐을 제거할 경우 현재 댐 아래에 있는 오염 침천물과 연관된 문제가 있을가?
- 댐을 제거하면 퇴적물이 강변 생성에 도움이 될까?
- 댐 제거가 습지 지역의 손실 또는 이득으로 이어질까?
- 댐 제거로 원하는 생태계 복원 목표를 달성하지 못한 것 이외에도 다른 많은 변화가 일어났는가?
- 유역의 다른 부분에서 댐과 댐 제거가 관계는 무엇인지?
- 식수 공급은 어떤 영향을 받을까?
- 지하수 레벨에는 어떤 영향을 받을까?

• 법과 행정적 문제

법적 및 프로세스 관점에서 우려와 요구를 평가한다. 다루어질 수 있는 질문에는 다음이 포함된다.

- 자연계를 보호하도록 설계된 법률 및 규정(예: 청정수법, 멸종위기종법)과의 충돌 또는 잠재적 충돌이 있는가?
- 사회적, 역사적, 문화적 가치를 보호하기 위해 고안된 법률 및 규정(예: 국가 역사보존법, 부족 물권리)과 현재 또는 잠재적 갈등이 있는가?
- 기존 구조가 하천체계 전반적 관리에 어떻게 부합하는가?
- 물의 공급과 배송을 위한 기존 계약이 있는가?

• 사회적 문제

기존 프로젝트 및 제거와 관련된 사회적 문제를 파악하고 다루어질 수 있는 질문의 예는 다음과 같다.

- 레크리에이션 기회의 유형과 접근에 변화가 있는가?
- 경제적 안정성(또는 결여) 및 이동, 급수, 전통적인 사용 구역의 접근 상실에 대한 측면에서 지역 및 지역 인구에 미치는 영향이 있는가?
- 풍경에 대한 시민들의 문화적 관계에 직간접적인 영향이 있는가?
- 지역경제 및 지방경제 변화와의 관련 영향이 있는가?
- 댐이 제공하는 중요한 서비스와 관련된 직간접적 영향이 있는가? 그리고 이 서비스는 어떻게 대체될 것인가?
- 댐 제거가 해당 지역의 미적인 재산 가치에 어떤 영향을 미칠까?

• 경제적 문제

댐 제거 프로젝트와 관련된 경제 문제를 파악한다. 질문의 예시는 다음과 같다.

- 댐 유지비용 대 다른 대안의 비용은 어떠한지?
- 댐이 파괴되었을 경우 발생할 수 있는 손상에 대해 재정적으로 책임을 지는 사람은 누구인가? 기존 설비의 수리 및 연간 유지보수의 최대 비용(추정)은 얼마인가?
- 사업의 부채 상환 현황은? 공식 언어로 정의된 재무 기준을 충족하였는가?
- 사업이 국제 또는 공적 자금으로 지원될 경우 반드시 충족되거나 유지되어야 하는 재무적 기준이 있는가?
- 댐이 제공하는 서비스가 다른 대안으로 교체할 필요가 있으며, 비용은 얼마인가?

- 사업 영향을 완화하기 위한 대안조치의 비용은?
- 추가 보안 대책 필요 비용은?
- 재산가치는 어떤 영향을 받을까?

● **운영 문제**

댐 및 하천제어와 관련된 운영문제를 확인한다. 처리해야할 질문은 다음과 같다.

- 기존 구조물이 하천체계 전반의 관리계획에 어떻게 부합하는가? 홍수 조절, 상수도, 전력 생산, 관개, 화재 보호 또는 레크리에이션과 같은 지역 경제에 서비스를 제공하는 것이 중요한 요소인가?
- 강 유역 제어라는 넓은 맥락에서 그 운영들이 알맞은가?
- 철거 또는 복구 작업에 필요한 자금의 출처는?

이 일련의 질문으로부터, 잠재적으로 논쟁의 여지가 있는 일련의 문제들을 확인할 수 있다. 또한 이것은 의사 결정자들과 시민이 댐 철거 고려하고, 대안이 존재 여부, 데이터 모으고 평가하는 다음 단계로 나아갈 건지에 대한 평가를 하도록 도움을 줄 것이다.

3단계 : 데이터 수집 및 평가

2단계가 완료된 후 의사결정자들이 추가 검토를 정당화할 수 있는 이유와 기술적 지원이 있다고 판단하는 경우, 데이터 수집과 평가를 시작해야 한다.

하인즈 센터 전문위원회는 의사결정자들이 그들의 선택을 더 잘 이해할 수 있도록 돕기 위해 두 가지 과제를 수행했다. 첫째, 위원회는 이 장에 설명된 의사결정 프로세스를 지원하기 위해 측정 가능한 지표 목록을 개발하였다. 댐 소유자, 이익 단체, 과학자, 기술자 및 시민은 이러한 지표를 사용하여 기존 댐을 유지하거나 제거할 수 있는 잠재적 결과를 측정할 수 있다. 가장 유용하게 쓰이기 위해서는 그러한 결과를 향후 다양한 기간에 대해 예측해야 한다. 댐이 있든 없든 해당 강과 비슷하고 기준점으로 사용될 수 있는 다른 강과 하천에 대한 고려는 잠재적 결과를 예측하는 데 도움이 될 수 있다.

둘째, 위원회는 과학 연구와 의사결정자에게 유용할 수 있는 이전의 댐 제거 프로젝트로부터 데이터와 자원을 수집했다. 이 장에 포함된 정성적 설명과 기술 참조는 댐을 제거하거나 유지하기로 한 결정의 결과를 이해하고자 하는 사람들을 위해 이용할 수 있는 최선의 자원이다. 위원회는 지역사회 의사결정자 및 관련 대중과 협력하여 주요 이슈를 식별한다. 지방 대학 또는 주 기관의 기술적 도움을 받아 위원회는

지표를 사용하여 관련 현장 정보를 수집한다. 그 목적은 두 지역사회를 돕는 것이 될 것이지만, 다른 지역사회가 사용할 수 있는 지침서가 될 것이다.

의사결정 과정의 이러한 측면에 관한 핸드북으로는 기존 댐의 안전성(국가연구위원회, 1983년), 댐의 안전성: 홍수 및 지진 기준(국가연구위원회, 1985년), 기존 댐의 안전성 평가(미국 개간국, 1980년) 등이 있다. 월드 와이드 웹에서 일부 무료 또는 명목상의 비용으로 이용할 수 있는 것을 포함하여 기존 데이터 수집에서 상당한 양의 현재 및 과거 정보를 이용할 수 있다. 기존의 데이터 소스뿐만 아니라 웹 소스는 다음 각 장에 걸쳐 인용된다. 지리적 정보(지도에 표시된 데이터)는 의사결정자에게 특히 유용할 수 있다.

4단계 : 의사결정

일단 데이터가 모아지고 과학적 경제적인 평가가 시민의 의견수렴과 함께 실시된 후, 법적 검토가 완료되면, 모든 정보는 적절한 수준에서 최종 의사결정자에게 전달되어야 한다. 댐의 제거 여부를 결정하는 최종 결정은 다음과 같은 우려와 균형을 이룰 가능성이 있다.

- 안전·보안·물 관리 요건
- 댐 유지의 경제 VS 댐 제거 또는 기타 대안(댐 변경, 운영 변경)
- 생태적 필요성 및 잠재적 이득
- 사회적 고려
- 법적 관계
- 대중의 지지와 우려
- 지역, 지역, 그리고 가능한 국가 및 국제 이익

댐을 제거하기로 결정한 경우, 국가환경정책법(NEPA) 또는 주정부 등록물을 준수하는 것과 관련된 구체적인 행정절차가 필요할 수 있다.

5단계 : 댐 제거

댐 제거의 엔지니어링 측면에 대한 정보는 대학 단기 과정으로 이루어져 있으며 매디슨 위스콘신 대학의 공학 전문 개발과는 "댐 해체 프로젝트 성공"이라는 짧은 강좌를 매년 한 번 이상 개설하고 있다. 이틀간의 강좌에는 댐 제거의 공학, 사회, 경제, 환경적 측면에 대한 강의와 토론이 포함되어 있으며 댐 제거의 계획 및 엔지니어링 측면에 대한 경험이 있는 전문가들에 의해 강의된다. 이 과정에는 광범위한 주에서 실전경험을 교환하며 관리자, 의사결정자 및 관심 있는 전문가에게 실제 댐

제거 사례에 대한 중요한 교육이 될 것이다.

댐 제거 및 관련 하천 복원에 사용할 수 있는 연방, 주, 지방 및 민간 자금 조달 메커니즘에 대한 좋은 정보 출처는 '댐 제거 비용: 미국 강이 발행하는 선택된 자금 조달 소스에 대한 가이드'(2000)가 있다.

6단계: 데이터 수집, 평가 및 모니터링

강과 관련된 다른 많은 프로젝트들처럼, 댐 제거 프로젝트는 책임 당사자로 국가 수준의 관리자에 의한 지속적인 관리를 요구한다. 이 프로세스에 대한 한 가지 접근 방식은 지속적인 모니터링 적응 관리이다. 적응 관리의 개념은 기본적으로 이전의 결정에 대한 강의 관찰된 결과에 기초하여 관리 전략을 수행하고 조정함으로써 배우는 것이다. 그것의 가장 효과적인 형태인 능동적 적응 관리로 시스템에 대한 대체 가설을 평가함으로써 선택된 정책이나 시행을 실험적으로 비교하기 위해 고안된 프로그램을 포함한다(British Columbia Emily Service, 2001). 프로세스는 예측된 결과에 기반한 구체적인 관리 및 기술적 결정, 추진으로 시작된다. 그런 다음 관리자는 선택된 지표 집합의 모니터링과 측정을 통해 이러한 조치의 효과를 사전 정의된 기반에 의해 정기적이며 과학적으로 평가한다. 그 후, 검출된 효과를 근거로 원하는 결과를 얻을 수 있도록 경영 전략을 조정한다.

적응 관리는 의사결정자가 접근방식의 효과를 평가할 수 있도록 관리와 모니터링 사이에 공식적인 피드백 프로세스를 확립한다. 적응 관리는 끝없는 연구가 아니며 몇 가지 지표에 대한 저비용 모니터링을 이용하여 강의 환경, 경제, 사회적 맥락을 정기적으로 취하는 방법이다. 이 지표 집합은 과학적 및 행정적 관점에서 유용한 데이터 수집을 보장하기 위해 각각의 특정 사례에 맞게 조정될 필요가 있다.

댐 제거의 목적과 목표가 충족되는지 여부를 평가하기 위해 모니터링이 필수적이다. 앞에서 언급한 바와 같이, 댐 제거 프로젝트는 자연 생태계를 복원할지, 안전성을 개선할지, 또는 재산 가치를 높일지를 결정하는 것으로 시작할 필요가 있다. 목표를 우선순위로 지정하여 프로젝트 관리자와 평가자가 상대적 중요도에 대해 이해하도록 해야 한다. 댐 제거 후 정의된 지표의 모니터링은 관리자들에게 예상 결과를 평가할 수 있는 방법을 제공한다. 이러한 데이터 기반 평가는 목적과 목표 달성 여부에 대한 반복 가능한 검사를 제공한다.

또한 모니터링은 의사결정자와 관리자가 특정 관리 활동을 구현할 때 필수적인 정보를 제공할 수 있다. 현재, 적응 관리의 개념은 복잡하거나 공개적으로 민감한 결정을 요구하는 경우에 기관들에 의해 구현된다. 적응 관리는 모니터링에 의해 수집된 데이터에 대한 관리자의 지속적인 조정을 기반으로 한다. 지표의 변경이 바람직

하지 않은 추세를 보인다면 관리자들은 보상 조정을 할 수 있다.

모니터링 및 현장 고유 연구는 모니터링 프로그램을 처리할 수 있는 충분한 직원과 재정 자원에 대한 약속이 없으면 불가능하다. 따라서 모니터링을 직접 식별하여 댐 제거 예산에 포함시킬 필요가 있다. 자원기관, 학계, 공공 및 민간 연구자 간의 데이터 공유 및 노력의 조정은 비용을 크게 줄일 수 있다.

3.6 댐 제거 사례

3.6.1 오레곤주 칠로킨(Chiloquin)댐 제거

칠로킨 유로변경 댐은 원래 1914년 미국 인디언 서비스(현 인디언사무국, BIA)가 윌리엄슨 강과의 합류 지점에서 약 0.9마일 상류에 있는 오레곤 남중부의 스프래그 강에 건설한 댐이다. 이 댐은 Modoc Point Irrigation District(MPID)가 5,500에이커의 관개 토지에 물을 공급하기 위해 소유하고 운영했다.

댐은 총 길이 220피트, 최대 높이 21피트의 제방 구간이 있는 콘크리트 중력 구조물이었다. 지표면 기반암 노출을 근거로, 대부분의 댐은 단단한 화산암 위에 세워진 것으로 보인다. 댐의 특징으로는 길이 130피트(약 10피트) 콘크리트 수중보, 운하 수량조정 장치, 방수로 2개, 어로 1개, 폐 어로 2개 등이 있었다. 현수 보행교는 원래 댐을 가로지르는 접근을 위해 보 위에 제공되었는데, 목재 널빤지가 있는 3개의 목재 지지 타워와 강철 케이블로 구성되어 있었다.

〈칠로킨 댐 전경사진〉



운하 수량조정 장치는 좌측 교대에 위치했으며 최대 방출 용량이 180 ft³/s인 4x4 피트 수동 작동 슬라이드 게이트 3개를 포함했지만 흐름은 약 60 ft³/s의 하류운하 용량으로 제한되었다. MPID는 35마일의 수로 및 배수구를 유지하여 관련 땅에 관개수를 공급했고 MPID는 130.5 ft³/s의 전환권을 주장했다. 지면 제방 안에 위치한 길이 47피트 경사진 콘크리트 벽(headwall)과 길이 140피트의 콘크리트 코어 벽(core wall)을 운하 수량조정 구조물 왼쪽에 건설하여 극심한 홍수 때 좌측 교대의 넘침을 방지했다. 42인치 드럼스크린 5개가 들어 있는 어류 스크린 구

조물이 주 수로로부터 약 1,000피트 아래쪽에 제공되었다. 스프래그(Sprague) 강으로 돌아오는 물고기로서 작은 파이프가 제공되었다. 운하의 흐름을 보충하기 위해 1960년 윌리엄슨강 댐 하류에 작은 펌프장이 건설되었으나, 원래 건설 이후 운영이나 유지되지 않았다.

운하 유량조정 장치에 인접한 좌측 방수로는 최대 250 ft³/s의 예상 방출 용량을 가진 4 X 4피트 슬라이드 게이트를 통해 하류로 방출한다. 오른쪽 방수로는 오른쪽 교대 어로 왼쪽과 오른쪽 교대 보행교 지지 타워의 원래자리 아래에 위치하였다. 낮은 수준의 배출을 위해 6x4피트 길이의 슬라이드 게이트가 제공되었지만 작동하지 않았다. 왼쪽 교대 어로는 2피트 낙차의 3개의 수조로 이루어져 있었으며, 바로 왼쪽 방수로의 오른쪽에 위치해 있었다. 중앙 어로는 댐의 중간쯤과 오래된 보행교의 중앙 지지탑 아래에 위치해 있었다. 철근 콘크리트 구조물의 길이는 약 45피트였으나 심하게 악화되어 하부 벽과 바닥은 거의 남아 있지 않았다. 오른쪽 교대 어로에는 원래 1966년 10개의 나무 스톱로그 웨어와 2피트 높이의 콘크리트 웨어가 있는 수조 및 웨어 형태의 어로 건설되었다. 그 후 오레곤 어류 및 야생동물 부서는 물고기 통로를 개선하기 위한 노력으로 수조 및 오리피스 형태의 어로 개조했다. 각각의 수조는 길이가 10피트, 다음 수조까지 약1피트로 낙하되었다. 어로의 바닥과 오른쪽 측면부는 일직선이 되어 있지 않았고, 어로 구조물은 댐으로부터 약 75피트 아래쪽으로 뻗어 있었다. 어로 사다리는 칸막이가 잘 구성되지 않았고 전체 경사(1:10)는 물고기의 효과적인 통행을 위해 너무 가파른 것으로 간주되었다.

오른쪽 교대에 있는 유효한 어로들에서 몇몇 토종 붉은띠 송어와 서커(잉어)들이 통과하는 것이 관찰되었지만, 이 댐은 잠재적 로스트강의 산란 범위의 약 95%(또는 약 80마일)까지 통행을 효과적으로 차단했으며, 짧은코 서커류는 상류 클라마트 호수에서 발견된다. 미국 어류 및 야생동물보호청(EERO)은 향후 검토를 위해 스프래그(Sprague) 강 상류에서 서식지 복구 작업에 관한 이용 가능한 자료를 수집하고 있다.

칠로킨댐 어류 통행 타당성 조사는 2002년 5월 농지보안 및 농촌투자법에 따라 의회에서 1년 이내에 완료될 수 있도록 승인되었다. 칠로킨 댐의 멸종위기에 처한 서커(잉어)들의 적절한 상하류 통로에 대한 타당성은 내무부 장관내 개간국에서 BIA, MPID, 오레곤 어류 및 야생 생물부, 그리고 Klamath 인디언 부족과 협력하여 연구되었다. 서커들은 주로 개간국의 Klamath 프로젝트 안의 강에서 주로 영향을 받기 때문에 장관이 개간국에서 연구를 수행하도록 지시했다. 시간 제약으로 인해 평가 수준 연구가 수행되었다. 이 연구는 MPID 용수 공급을 유지할 댐 제거 등 다양한 어로의 대체물을 평가했다. MPID 주운하로 물 공급을 유지하기 위해 윌리

엄슨 강에 새로운 취수장을 건설하는 것을 포함한 칠로킨 댐의 제거가 2003년 7월에 합의 대안으로 선정되었다.

모든 댐 제거 작업은 저수위 기간(7~11월)에 수행되며 모든 구조물을 제거한다. 최종 승인을 위한 제안된 조치를 개발하기 위해 2004년에 상세 타당성 연구와 환경 준수 작업을 수행하였다. 미국어류 및 야생생물부(USFWS)는 2005년 2월에 댐 제거 제안을 지지하는 생물학적인 의견을 발표했고, 인디어사무국(BIA)은 다양한 대안의 잠재적 영향을 다루기 위해 2005년 9월에 환경 평가를 완료했다. 모락 관개지역(MPID)은 2006년 10월 BIA와 협력협정을 체결해 칠로킨댐의 철거에 합의했다. 최종 설계와 사양이 개간국에서 작성되었고 2006년 10월 30일에 건설 제안서에 대한 공식 요청이 발표되었다.

개간국은 BIA와 건설 계약을 집행하고 관리했다. 2007년 2월 오레곤 주 스테이턴의 슬레이든(Slayden) 건설그룹에 칠로킨 댐을 철거하는 건설 계약이 주어졌다. 윌리엄슨 강에 있는 취수장 건설은 2008년 4월 15일까지 완료되어야만 댐 제거가 시작되기 전에 MPID가 60일간의 운영 테스트를 실시하였다.. 취수장은 선별된 흡입구 구조, 3개의 수직 터빈 펌프, 42인치 직경의 배출 파이프라인이 포함되었다. 댐 제거 작업은 스프래그 강의 저수위 기간(7~11월)과 산란 기간(3월 1일~6월 1일)에 수행되었다. 모든 댐 제거 작업은 2008년 11월 28일까지 완료될 예정이었다(식물 식재는 제외).

저수지는 먼저 유량조정장치와 좌측 수문을 최대 방출하여 댐의 높이 아래로 끌어내렸고, 댐 아래의 주 수로로 흐름을 되돌리도록 조정되었다. 이를 통해 기계적인 철거 방법을 사용하여 우측 교대 어로 및 및 마른상태의 중앙 어로의 남은 벽을 제거할 수 있었다. 댐의 오른쪽 반쪽과 댐의 일부를 원래 암반 표면에 제거하기 위해 임시 물막이를 사용했다. 임시 물막이의 수로의 물은 일부 제거된 댐을 통해 하천 흐름을 만들고 저수지 수위를 댐의 기존 침전물 수준 아래로 끌어내렸다. 이를 통해 수로 유량조정장치와 날개벽으로 구성된 좌측 교대 구조물과 좌측 방수로, 어로 등을 제거할 수 있었다. 마지막으로 댐 나머지 부분과 중앙 어로를 제거하고, 부지경사를 조정하였다. 보행교를 위한 목재 지지탑은 인접한 토지 소유자가 사용하기 위해 인양되었다. 댐과 부속 구조물을 제거함으로써 철근과 철강을 포함한 약 700yd³의 콘크리트 파편이 발생했고, 약 5t의 기계 품목, 6t의 목재, 100피트 이상의 체인 링크 울타리를 포함했으며, 재료 유형(콘크리트, 목재, 강철)으로 폐기물을 분류하였다. 기존의 주 운하는 부분적으로 현장 처리를 위한 폐기물로 채워졌다. 하천 수로나 위네마(Winema) 국유림 내에서는 폐기물 처리가 허용되지 않았다.

댐 제거하기 전, 댐으로부터 900피트 이내에 있는 저수지의 바닥은 모래와 실트

로 구성된 미세한 침전물로 덮여 있었고, 약간의 유기물과 통나무는 있었지만 오염물은 없었다. 댐의 상류 면에 있는 저수지의 침전 깊이는 약 3~10피트였다. 저수지의 총 저장 용량은 $77,000m^3$ 로 추정되었으며, 현장의 연평균 하천 유량은 $5.25 \times 10^8 m^3$ 로 추정되었다. 따라서 연간 유량 대비 저장 용량의 비율은 0.00014로 예상 저장 효율은 거의 0에 해당한다. 댐 제거 이전에 저수지의 침전물 용량은 평면도 및 단면 방법에 근거하여 보수적으로 27,524 ~ 34,405 m^3 으로 추정되었다(Randle 및 Daraio, 2003). 예상대로 이 침전물량 추정치는 높았다. 첫 번째 겨울 홍수 시즌 동안, 스프래그와 윌리엄슨 강을 지나 상층 클라마트 호까지 저수지의 침전물이 완전히 침식되었다. 상류 클라마트 호수까지 부유상태의 저수지 실티질은 짧은 시간 동안 탁도가 약간 증가했다. 스프래그 강과 윌리엄슨 강의 바닥 높이와 바닥 재료 크기를 모니터링한 결과, 하류의 침전 퇴적물이 스프래그 강의 가장 깊은 웅덩이로 제한된 것을 보여주었다. 리플(Riffle) 지역은 침전 퇴적물에 크게 영향을 받지 않았다(Bauer, 2009). 협곡 퇴적물(모래와 자갈)은 통로 경사가 평평한 윌리엄슨 강의 가장 낮은 곳에 퇴적되었다. 저수지의 바닥은 댐을 제거하기 전에 상류에서 떠온 벌목된 통나무들로 덮여 있었다.

〈칠로킨댐 제거 과정 및 제거 후 상류 전경〉



총 프로젝트 비용은 댐 제거 및 새로운 취수장 및 운반 시스템 건설에 대한 계약 비용 900만 달러를 포함하여 설계, 건설, 환경 준수(허용 및 모니터링 포함) 및 완화에 약 1,800만 달러였으며, 향후 운영과 운송을 위해 MPID에 대한 보상 비용과 취수장 유지비용이 포함되었다.²⁵⁾

3.6.2 워싱턴주 엘화강(Elwha) 댐 제거

엘화 강은 올림푸스 산에서 워싱턴 주 포트 앤젤레스 근처의 후안 드 푸카(fuan de Fuca) 해협까지 45마일 북쪽으로 흐르는 강이다. 강 유역은 올림픽 반도에서

25) Hepler, Thomas E. (2008). "A Chiloquin Romance - Restoring the Sprague River,"

4번째로 크며 배수면적은 325제곱마일, 지류면적은 100마일이 넘으며 연평균 약 1500ft³의 유량을 생산한다. 1900년대 초 엘화강에 수력 발전 댐 2개를 건설하여 여러 종의 연어와 송어의 이동 경로를 차단하고, 산란에 필요한 퇴적물과 영양소의 하류 수송을 심각하게 차단하였으며, 늦여름과 초가을에 하류 수온을 올렸다. 이 사업이 반도의 초기 발전에 도움이 되었음에도 불구하고, 저수지는 하부 엘화 클랄람 부족의 중요한 문화 유적지를 침수시켰고, 이 부족의 문화와 경제의 근간이었던 어업을 사실상 파괴했다.

엘화댐은 1913년 4.9 강 마일(RM)에서 완공되었으며, 표면적은 267에이커·저장용량은 약8,000에이커피트인 알드웰 호수를 만들었다. 댐의 특징은 108피트 높이의 콘크리트 중력 구간, 양쪽 교대의 게이트 배수로 구조물, 다중 지지 흡입구 구조, 강철 수압관, 정격 12MW 규모의 4개의 발전 장치를 갖춘 발전소였다. 흙과 바위를 이용한 거대한 안정화 매립은 1913년에서 1919년 사이에 댐의 상류에서 이루어졌고 처음 매립 중 충격기초의 갑작스러운 분출이 발생하였다. 시트 파일, 매트리스, 강화 콘크리트 라이닝을 추가하여 침출을 줄였으며, 포장된 하부댐 도로를 통해 오른쪽 교대 통로가 제공되었다.

글린 캐년(Glines Canyon) 댐은 1927년 강 마일(RM) 13.4의 엘화 댐에서 약 8.5마일 상류에 완공되었다. 이 프로젝트에는 210피트 높이의 콘크리트 아치 섹션, 왼쪽 교대에 수문 유출 구조물과 매립 둑, 오른쪽 교대에 콘크리트 중력 트러스트 블록 및 지반 방벽, 게이트 샤프트 및 서지 탱크가 있는 전력수압관 터널, 정격 16MW 규모의 발전 장치를 갖춘 발전소가 포함되었다. 글린 캐년 댐은 올림픽 국립공원 내에 위치하고 있으며, 표면적은 415에이커, 저장용량은 약 28,500에이커피트였다. 댐의 좌측 교대 통로는 포장된 올림픽 온천도로에 의해 제공되었고, 비포장된 위스키 벤드 도로를 이용하여 우측 교대로 사용되었다.

〈엘화강 내 댐 전경〉



(엘화댐)



(글린 캐년댐)

두 저수지는 모두 수력 발전을 위해 가득 채워져 운영되어 홍수 흐름의 감쇠가 거의 없는 흐르는 강 상태가 되었다. 두 댐은 모두 고장 시 인명손실 가능성과 상당한 재산피해로 인해 높은 위험으로 분류되었다. 댐 안전 개선은 1987년 엘화 댐, 1989년 글린스 캐년 댐에서 완료되어 당시 요구되는 최대 설계 홍수 및 지진 하중을 수용할 수 있었다. 이러한 개선사항에는 구조적 안정성을 개선하기 위한 후 장력 철근 설치가 포함되었다.

글린스 캐년 수력 발전 프로젝트는 원래 연방 전력 위원회(Federal Power Commission, 즉 FERC의 전신)가 50년 동안 허가한 반면, 엘화 수력 발전 프로젝트는 연방 면허를 발급받은 적이 없었다. 1980년대 동안, 국립공원 내 수력발전 프로젝트 인허가, 어류 및 야생동물 경감 대책 부재, 몇몇 보존 단체의 법적 문제 등으로 인해 FERC 허가 절차가 논쟁의 대상이 되었다. FERC는 수력 발전 프로젝트와 잠재적 대안 조치의 잠재적 영향을 평가하기 위해 1989년에 환경 영향 명세서(EIS)를 작성하기 시작했다. FERC 인허가 문제를 입법적으로 해결하기 위하여 1992년에 엘화강 생태계 및 수산복구법이 제정되었다. 엘화법은 FERC의 사업 허가 발급 권한을 정지하고 내무부 장관에게 엘화강 생태계 및 고유한 소하성 어류의 어장을 완전히 복원하기 위한 계획을 제안할 것을 요구했다. 장관은 1994년에 어장 복구를 위해서는 두 댐을 모두 제거하는 것이 타당하고 결정했다.

댐의 제거는 주요 연방 법규를 검토하여 국가환경정책법(NEPA)에 따라 요구되는 환경영향보고서(EIS)를 요구하였다. 국립공원관리공단(NPS)은 부처간 EIS 준비를 위한 주임 책임을 부여받았다. 협력 기관으로는 개간국((Reclamation), 미 어류 야생국, 인디안국, 미육군공병단(USACE) 등이 포함됐다. 1995년 6월 공공부서와 최종 프로그램 EIS에 따라 국립공원관리공단은 두 댐 제거를 권장하는 결정 기록을 사전에 확인하였다. 최종 보충 EIS는 수질의 변화를 설명하기 위해, 1996년 7월에 요구되었다. 지역 제지 공장은 손실된 수력 발전소에 대해 2,950만 달러를 지불했고 제지 공장은 본빌 전력국에 의해 우선 고객 요율을 부여받았다. 그 후 두 댐은 모두 수력 발전 및 댐 안전을 위한 매립에 의해 제거될 때까지 운영 및 유지되었다. 수력 발전 사업은 엘화강 5마일 이상 침수되었고 저수지는 상류에서 공급되는 침전물을 가두었다. 저수지는 유입되는 모든 모래, 자갈을 가두었고 유입 실트와 점토의 약 70%를 가두었다. 댐 아래의 수질은 국가에 의해 특별등급(AA 등급)으로 분류되었다. 하류수역 전환은 Port Angeles시에 의해 다양한 목적으로 RM 2.8 근처의 레니웰, Nippon 제지공장, 부족어류 부화 및 주 어류 사육 채널을 위한 RM 3.3 근처의 작은 전환 댐과 터널에서 이루어졌다. 저수지 침전물 축적은 두 저수지의 상류 끝과 저수지 바닥을 따라 진흙 퇴적물(흙과 진흙)에 큰 삼각주(주로 모

래, 자갈, 자갈)를 만들었다. 두 저장소의 총 침전 용량은 댐 제거 전 2010년 2,700만 yd^3 으로 추정되었다. 엘화 강의 자연적 축적 작용은 밀스(Mills)호수와 엘드웰(Aldwell)호수에 퇴적물이 간힘으로써 레이크 밀스 아래로 현저하게 변화되었다. 강의 중하류에 대한 침전물 공급이 감소함에 함께 더 작은 하류 물질(모래와 자갈)이 바다로 떠내려감에 따라 강바닥이 더 깊어졌다. 이로 인해 강 하구에서는 저류조 엘화강 삼각주가 침식되고, 프레쉬워터(Freshwater)만의 해변경계가 후퇴하고 가팔라졌으며, 포트 앤젤레스 항구를 보호하는 모래와 자갈 침식이 일어났다.

댐 제거 연구에 대해 평가된 침전물 관리 대안으로는 (1) 바다에서 폐기하기 위한 모든 삼각주 퇴적물의 기계적 제거, (2) 저수 지역 내의 모든 저장 퇴적물의 재배치 및 안정화, (3) 강이 자연적으로 침식되어 하류로 운송될 수 있도록 하는 방법이 포함되었다. 하천 침식 대안은 엘화강이 자연적인 과정에 의해 저수지의 퇴적물을 침식하고 하류로 운반할 수 있도록 하기 위해 제안된 조치를 위해 선택되었다. 그러나, 이 대안은 용존 상태에서 운반되는 미세(실트 및 점토 크기) 퇴적물의 방출로 인한 하류 수질에 대한 예상 영향과 하상으로 굵은(모래, 자갈 크기) 퇴적물의 방출로 인한 하류 홍수위 상승을 완화해야 했다. 계획된 시간이 따라 댐이 부분적으로 제거됨으로써, 거친 굴곡진 삼각주 퇴적물은 점차 침식되어 미세한 호수 바닥 퇴적물 위로 후퇴하는 저수지 내에서 다시 침식되었다. 댐을 제거하는 부분이 증가하는 동안, 강은 각 삼각주를 통해 침식 수로를 증가시킨다. 다음 댐 제거 부분의 증가에 대비하여 저수지가 일정한 높이로 유지되는 동안 강은 이러한 통로를 넓힐 것이다. 저수지에서 침전물 방출의 최고 속도는 새로운 댐 제거 부분의 증가와 관련하여 급속한 감소와 일치할 것이다. 추가적인 수로 절개 및 확대는 하천 유량이 연간 평균 배출량 $1,500 \text{ ft}^3/\text{s}$ 를 초과하는 기간 동안 발생했으며, 이는 2년 홍수 피크인 $14,000 \text{ ft}^3/\text{s}$ 보다 현저히 낮다. 저수지가 자연 하천 통로보다 5~10배 넓었기 때문에 2014년 9월까지 저수지에서 침식된 퇴적물은 절반 정도에 불과했다. 남은 침전물은 주로 채널 왼쪽 저수지의 여백을 따라 높은 단층에 남겨졌다. 수십 년 동안, 숲은 이 퇴적된 단층에 자랄 것으로 예상되며 자연 경관을 닮을 것이다. 댐 제거 후 3~5년 이내에 미세한 침전물 농도는 자연 수준으로 돌아올 것으로 예상된다.

댐을 제거하는 동안 수질 보호를 위한 완화 조치에는 포트 앤젤레스 시를 위한 새로운 수처리 공장 건설 외에 RM 3.5에 새로운 지표수 흡입구 건설과 시 및 산업용수 공급을 위한 수처리 시설 건설이 포함되었다. 댐 제거 활동이 시작되기 전에 새로운 수처리 시설을 가동하도록 요구되었다. 특히 하구 부근의 엘화강 하류 3마일의 하천 바닥의 국지적 퇴적에 대한 완화 조치에는 부족 거주지의 200년 홍수빈도의

보호를 유지하기 위해 연방 홍수 조절 제방을 올리는 것뿐만 아니라 기존 수원지를 들어올리고 기존 정화조를 대처하기 위해 하수를 펌핑하여 하수처리장으로 보내는 방법도 포함되었다.

댐 제거 요청은 2010년 3월에 국립공원관리공단(NPS)에 의해 발표되었고, 협상 조달 프로세스를 사용하여 2010년 8월에 Barnard 건설에 수여되었으며, 이 과정에서는 기술 및 비용 제안이 규격 요구 사항과 정부에 대한 최선의 가치를 준수할 수 있는지 평가하였다. 공학적 도면과 기술적인 부분은 이용 가능한 정보와 현장 검증, 모든 구조물에 대한 최소 제거방안 및 되메우기 요건 등을 기반으로 양쪽 기존 현장의 조건을 묘사하는 방법에 의해 작성되었다. 수문기록, 기후조건, 지질정보 등도 기술사양서에 포함되었다. 댐 제거 공사 전 작업은 도수로 문을 닫고 도수로로 탈수하고, 발전 장비에서 유압액을 제거하며, 전기 시스템의 전원을 차단하고, 배터리를 제거하고, 고압 워터 시스템을 배출하고, 오버헤드 크레인을 비활성화함으로써 두 발전소를 모두 해체하였다.

저수지의 유출로 인한 모든 댐 제거 활동은 5월 1일부터 6월 30일까지의 특정 어로 기간, 8월1일부터 9월14일까지 및 11월 1일부터 12월 31일까지 중요한 어류 이동 기간 동안 저수 퇴적물의 잠재적 방출을 최소화하기 위해 중단되어야 한다. 이 계약기간은 매년 6.5개월로 제한되었고, 계약기간은 3년이였다. 두 저수지는 3피트 정도로 철거되어졌고, 각 철거분마다 최대 평균 적출률은 일당 1.5 또는 2피트, 10피트 또는 15피트 간격으로 최대 14일 동안 저장지를 유지하였다. 댐 제거와 관련된 추가 건설 요건에는 위험 폐기물 수집 및 처리, 7마일 이상의 전송선 제거, 글린 캐년 댐의 양쪽 교대에 남아 있는 콘크리트 스템블록 및 게이트 유출 구조의 방문자 개선 등이 포함되었다.

엘화댐의 철거는 2011년 9월 굴착기를 이용해 우측 배수로로 기계적으로 철거한 데 이어 왼쪽 유로의 철거와 암반 임시 우회 수로 개발로 시작됐다. 저수지 하락은 좌측 교대의 지반암 수로와 원래 강의 콘크리트 중력 섹션을 번갈아 폭파하여 제어했다(그림 8-16). 2011년 10~12월 사이에 흡입구조와 도수로, 발전소가 철거되었다. 좌측 전환 수로는 2012년 1월부터 콘크리트 중력 구간을 최종 철거하고 하천 채널을 복원하기 위해 마지막까지 사용되었다. 이 강은 2012년 3월에 원래의 노선으로 다시 전환되었고, 이로 인해 좌측 교대 매립과 최종 부지 복구가 가능해졌다. 댐 부지의 암석잔재의 최종 굴착은 철거가 시작된 지 1년 만인 2012년 9월 완료됐다. 취수장 재료 굴착과 콘크리트 파편은 물막이 건설시 사용되어졌고 전환시 침식을 제어하는 사용되어졌고 최종 매립 조건을 만족하였다. 이전의 댐 부지에는 완공되자마자 씨를 뿌렸다. 이전 알드웰(Aldwell)호의 재녹화작업은 NPS에 의해

수행되었다.

〈엘화댐 제거 과정〉



(댐 및 발전소제거)



(댐 제거후 최종복원과정)

글린 캐년 댐의 제거는 2011년 9월에 바지선에 장착된 굴착기를 사용하여 아치 댐 상부의 기계적 굴착부터 시작되었다. 초기 저수지 배출은 수문 배수로를 통해 이루어졌고 2011년 10월, 콘크리트 아치 부분의 기계적 굴착이 저수지표면 아래로 지속되었다. 댐 제거는 2012년 7월부터 저수지가 75피트 이상 낮아지면서 발파로 이어졌다.

〈글린캐년댐 제거 과정〉



(굴착기 제거과정)



(발파로 인한 제거과정)

2년 후, 알드웰 호수의 침전물 중 23%(150만 yd^3)가 침식되어 저수지에서 방출되었으며 남은 침전물 층에서는 새로운 식물이 자라게 되었다. 저수지 침전물의 추가 침식과 방류가 예상되지만, 결국 전 저수지에서 침식될 침전물의 상당 부분은 이미 침식되었을 것이다.

2년 후, 밀스 호수의 침전물 중 37%(7,800만 yd^3)가 침식되어 이전의 저수지에서 방출되었다. 저수지변 실트질에는 재녹화가 된 반면 남은 퇴적층은 두꺼운 모래 층, 자갈 층으로 덮여 있어 식물이 이러한 표면을 천천히 덮었다. 하천 유량이

평균(1,500 ft³/s) 이상일 경우 저장용 침전물의 추가 침식 및 배출이 예상되지만, 궁극적으로 침식될 수 있는 이전의 침전물의 상당수는 이미 침식되었을 것이다.

〈댐 제거 후 침전물〉



(엘화댐 상류 엘드엘 호 침전물)



(그린캐년댐 밀스 호 침전물)

IV. 결론

4.1 도시지역 하천복원 방안

도시화와 기후 변화의 증대는 지속적인 하천내 서식지 감소로 이어져 도시 수생 생태계를 위협하고 있으며 이런 맥락에서 서식지의 보호 등 도시 내 하천복원이 중요시 되고 있다.

하천복원은 퇴화되거나 잃어버린 생태계 서비스를 복원할 수 있는 기회를 제공하며 하천유역의 자연적 기능을 더욱 균형 있게 만들며, 생물다양성보전, 지속가능한 홍수관리, 물리적 서식지의 질적 복원, 어업환경 개선, 오염관리, 그리고 문화적 의식 등에 영향을 준다. 이와 관련 미국의 하천 복원기법은 구체적인 유역평가와 현안, 목적에 따라 달라지며 이에 대한 하천복원기술도 서로 다른 규모의 도입으로 해결할 수 있다. 이러한 하천복원기술을 이용한 하천 내 서식지 개선과 연결복원은 단기간 개선을 가져올 수 있지만, 도로 제거나 강변식재 기술의 효과는 몇 년이 걸릴 수 있어 시스템 복원을 위해서는 장단기적인 전략을 구현할 필요가 있다.

우리시의 경우 초기우수를 통한 하천의 오염물질 유입을 줄이기 위한 방법으로 장단기적인 전략이 필요하다. 단기적인 전략으로는 도로청소 및 하수관내 청소를 주기적으로 실시하며 초기우수의 오염농도를 줄이는 노력이 필요하며, 장기적인 전략으로는 고농도의 초기오염물질을 처리할 수 있는 초기우수 처리장치 설치와 우수유출을 최소화하기 위한 천연배수 시스템 설치, 침투성 포장 개선 등이 필요하다.

또한 우리시는 대부분의 하천의 제방사면이 콘크리트로 이루어져 있어 하천서식의 손실을 야기 하고 있으므로 콘크리트 사면을 제거하고 생명공학 기술을 접목한 식물성 독을 설계할 필요가 있다. 생명공학 기술 방법으로는 목재, 살아있는 식물 식재, 바위, 천연섬유 매트 등과 같은 천연재료를 이용하여 제방을 개선하는 방법으로 강변식물이 자라면서 강변이나 물속 서식지를 개선하는 반면 제방의 침식을 감소시켜 제방을 안정화 시킬 수 있다.

서울과 같은 가장 도시화된 지역의 하천의 복원은 불투수성 표면의 영향을 줄이는 것이 필수적이다. 불투수성 표면은 하천의 수위와 침식의 빈도를 극단적으로 증가시켜 수생태계에 큰 영향을 미치며 도시하천의 서식지를 단순화시키고 수질과 생물의 다양성을 감소시킨다. 따라서 불투수성 면적을 줄일 수 있는 침투성 포장면적 증대, 빗물이용시설 설치, 레이가든, 습지조성 등 현재 서울시가 시행 중인 사업을 적극 추진할 필요가 있다.

4.2 하천복원을 위한 댐제거 방안

미국은 중대형 규모의 댐을 8만7천개 이상 가지고 있으며 1912년이후 부터 2017년까지 거의 1,500여개의 댐을 제거하였다. 미국은 주로 환경, 댐 안전, 경제적 이유 순서에 따라 댐을 제거하고 있으며 댐 제거의 1차적 이유가 1980년대 댐 안전에서 1990년대 이후는 환경으로 변하였다. 댐 제거를 위한 환경적 이유는 소하성 어류 통로 차단, 수질의 변화, 수문체제의 변화, 침전물로 인한 하류 악화 등을 들 수 있다.

댐 제거 결정은 댐 복구 또는 보수, 댐 교체, 댐 제거, 저수지 재가동, '비조치' 대안 등 광범위한 잠재적 구조 및 비구조 대안에 대한 세심한 평가를 기초하고 있으며 제거를 결정을 위한 주요 요인으로는 공공안전 (댐 붕괴나 레크리에이션 위험의 발생), 어류 통로 및 수생이동 (보호종 이동용), 하천 복원(수질, 수생 서식지, 침전물 수송의 개선), 경제 (댐 노후화와 운영비 및 수리비 높은비용 부담), 공익(어업, 휴양, 항해, 미학), 소유주 혜택 (위험 및 책임감축 및 공익적 관련), 환경영향(환경 준수 및 완화) 등을 들 수 있다.

또한 댐 제거 계획을 위한 의사결정을 위해서는 문제과약, 이해관계자 과약, 관련 법 준수조건 검토, 대안 평가가 필요하며 의사결정을 순서로는 1단계 : 목표와 목적을 정의, 2단계 : 주요 문제 확인, 3단계 : 데이터 수집 및 평가, 4단계 : 의사결정, 5단계 : 댐 제거, 6단계 : 데이터 수집, 평가 및 모니터링 등의 단계를 들 수 있다.

우리시의 경우 한강 내 신곡수중보에 대해 환경단체 중심으로 개방 및 철거를 요구하고 있으며 서울내 지천별로 240여개의 보(낙차공)이 설치되어 있어 하천의 자연성 회복을 위해서는 정확한 영향분석과 향후 계획이 필요한 실정이다. 이를 위해서는 가장 먼저 하천시설물(보)에 대한 역할을 분석하고 댐(보)을 제거할 것인지 말 것인지 대한 목표와 목적을 명확히 규정해야 되며 다른 대안이 무엇인지를 파악해야 된다. 이를 위해서는 댐(보)가 현재 가지고 있는 문제가 무엇인지 알아야 되며 다루어 질 수 있는 문제로는 안전성(시설물 노후등), 환경문제(멸종 위기종 회복여부, 생태복원 가능성, 식수공급 영향, 지하수 레벨 영향 등), 법적 행정적 문제(관련 규정 충돌여부, 물 공급 관련 계약 등), 사회적 문제(지역경제 영향, 레크리에이션 영향, 주변지역 재산가치 영향 등), 경제적 문제(유지비용과 철거비용 비교, 재산가치 등) 등을 들 수 있다. 또한 사업초기부터 댐(보)과 관련된 이해관계자를 파악하고 공개적으로 참여하면서 자료를 공유하고 결론을 만들어 나가는 결정체계를 마련하는 것이 무엇보다 중요하다.

4.3 하천복원을 위한 시민참여

미국은 도시하천을 복원을 위해 강을 중심으로 한 다양한 지역사회단체, 공공기관, 사업체 등이 참여하는 사례를 많이 찾아 볼 수 있다. 뉴욕시의 경우 60개 이상의 지역사회 단체, 공공기관, 사업체들이 2001년 하천복원을 위해 브롱스강 연맹(Bronx River Alliance)을 창설하고, 뉴욕시 공원부와 긴밀하게 협력하면서 브롱크스 리버 파크웨이 공원 관리소 내에 본부를 두고 활동하면서 정화활동, 시민교육, 하천복원 활동을 적극 추진하고 있으며, 오레곤주의 경우 2005년 튜알라틴 유역에서는 35개 이상의 지방정부와 지역단체 등 파트너가 Tree Foe All이라는 단체를 결성하고 이 지역의 생태계와 경제 건강에 대한 생태계 차원의 접근을 하고 있으며 비즈니스 혁신, 공동 커뮤니티 비전, 대자연의 인식, 하천유역의 접근성 강화 사업 등을 추진하고 있다. 또한 20년 동안 하천지역에 1,000만 그루 이상의 토종나무와 관목을 심음으로써 수질이나 야생동물에만 혜택 뿐 만 아니라, 대자연을 즐길 수 있는 하천공원을 조성함으로써 튜알라틴 강 물가에서 살고 일하고 즐기는 모든 사람들의 건강과 복지에 중요한 역할을 하였다. 또한 레크레이션 사업과 방문객이 증가하면서 세수를 창출하고 토종식물 관련 산업의 경쟁력도 증가하게 되었으며 하천 주변의 부동산 가치도 지속적으로 개선되었다.

우리시도 하천을 중심으로 한 지자체와 시민, 사업체들이 함께하는 하천복원 단체를 결성하고 적극 활성화 하여 지역하천이 가지고 있는 문제들을 함께 찾고 해결해 나간다면 그 지역만의 독특한 하천의 역사를 만들고 하천복원을 통해 생태 서식지 회복과 자연 공원을 제공함으로써 시민건강과 복지까지 증가될 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

- Kata Perini & Paola Sabbion, 2017, Urban Sustainability and River Restoration
- Bronx River Alliance, 2019, Bronx River Resources www.bronxriver.org
- NYC, 2019, NYC Green Infrastructure Program www1.nyc.gov.
- Clean Water Services, 2019, 2017~18 Annual Report
- Tree For all, 2017, Watershed Restoration Benefits Community Health www.jointreeforall.org
- The Heinz Center, 2002, Dam Removal Science and Decision Making
- The Heinz Center, 2003, Dam Removal Research Status and Prospect
- United State Society on Dams, 2015, Guidelines for Dam Decommissioning Projects
- Joan, 2014, A History of the Chiloquin Region, Chiloquin.com
- NPS, 2019, Elwha River Restoration Blog www.nps.gov
- Americanriver, 2019, Restoring Damaged Rivers www.americanrivers.org