

미국의 하천내 댐 운영사례 - Robert F. Henry Lock and Dam



황 만 하 |

한국수자원공사 K-water 연구원 수석연구원
hwangmh@kwater.or.kr



김 현 식 |

한국수자원공사 물관리센터 물관리기획팀장
hyeonsik@kwater.or.kr



강 신 옥 |

한국수자원공사 물관리센터 선임연구원
sukang@kwater.or.kr

1. 서론

지난 기고문에 소개한 네덜란드의 다기능 보 운영 사례에 이어 이번 호에는 미국의 하천내 댐 운영 사례를 소개하고자 한다. 본고에서는 미국 Alabama-Coosa-Tallapoosa(ACT) 강의 수문현황을 알아보고, Robert F. Henry 주운댐(lock and dam)의 운영방법을 소개하였다. 이후에는 수집한 하천내 댐 운영자료를 사용하여 Alabama 강에 큰 홍수가 있었던 1990년의 하천내 댐 운영사례

를 분석하였다.

2. Alabama-Coosa-Tallapoosa 강의 수문현황

Alabama-Coosa 강은 테네시주의 일부, 북서부 조지아주, 알라바마주를 걸쳐 흐른다. Alabama 강 유역의 수원(水原)은 조지아주 북서부에 위치한 Blue Ridge 산이다. 가장 상류에 위치하는 지류는 Oostanaula 강과 Etowah 강이며 조지아주 Rome에서 Coosa 강과 합류한다. Coosa 강은 알라바마주 Wetumpka 근방에서 Tallapoosa 강과 합류하여 Alabama 강으로 흐른다(그림 1). 전체 하천 길이는 약 205 km이며, 평균 유역폭은 약 43 km, 최대 유역폭은 약 78 km이다. 전체 유역면적은 8,687 km²이며 Robert F. Henry 주운댐 상류 유역면적은 6,293 km²이다(USACE, 1999).

ACT 유역의 Robert F. Henry 주운댐의 연평균 기온은 17.7 °C이다. ACT 유역은 연강수량이 많은 지역에 속하며 연중 고른 강수분포를 나타낸다. Robert F. Henry 주운댐 상류유역의 연평균 강수량은 1,399 mm(55.06 in.)이며, 이로 인한 유출은 평균적으로 겨울과 봄철에 57 %, 여름철에 23 %, 가을철에 20 %를 차지한다. 그림 2는 Rome과 Claiborne 사이 유역에 대한 월평균 강수량과 유출량을 나타내었다.

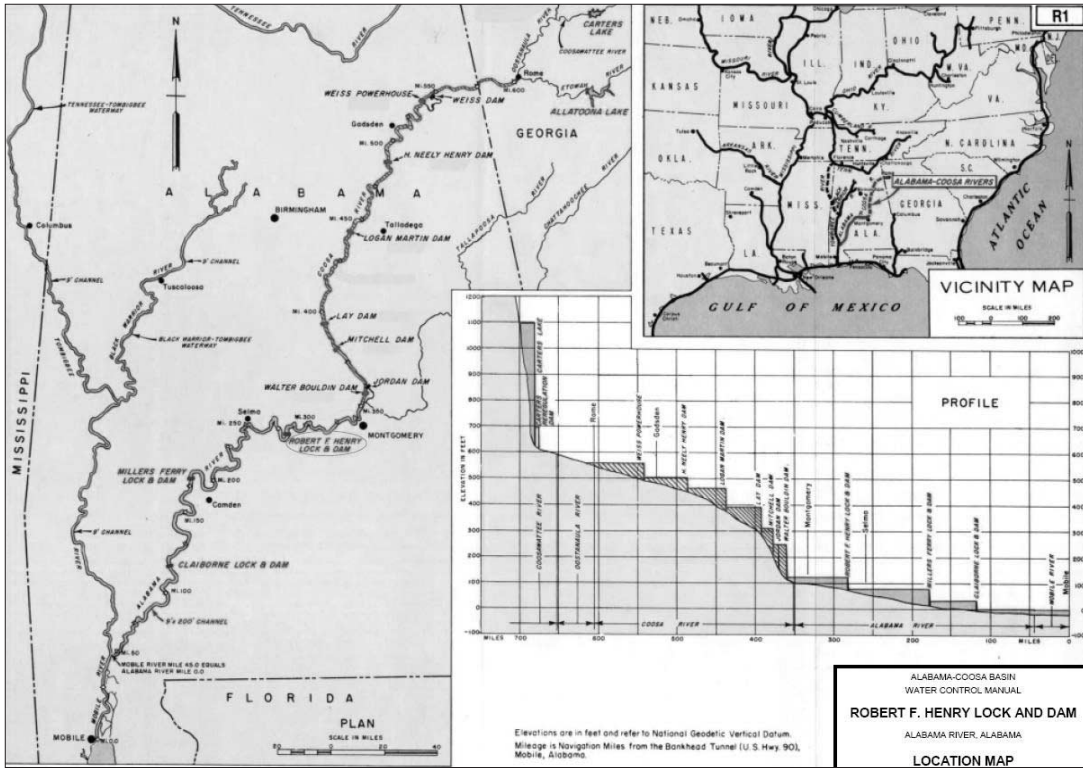


그림 1. ACT 지역의 유역도(USACE, 1999)

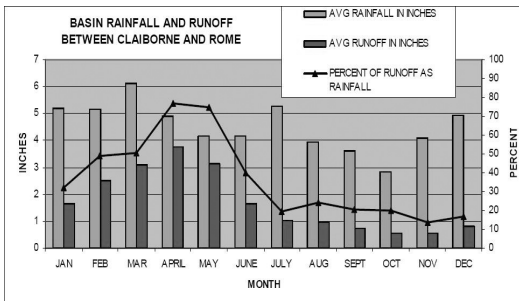


그림 2. Rome과 Claiborne 사이 유역의 월평균 강수량과 유출량(USACE, 1999)

3. 하천내 댐의 운영

3.1 Alabama 강의 하천내 댐

ACT 유역에는 미육군공병단에서 관리하는 2 개의 다목적댐과 3 개의 주운댐이 있으며 알라바마 수력발전회사에서 관리하는 수력댐들이 있다. 2 개

의 다목적댐은 ACT 유역의 상류에 위치하며 3 개의 주운댐은 Alabama 강 본류에 위치한다. 상류에서부터 Robert F. Henry, Millers Ferry, Claiborne 주운댐이 위치한다.

Robert F. Henry 주운댐은 알라바마주의 중앙부에 위치하며 하구로부터 395 km 상류에 위치하며 1975년에 완공되었다. 이 주운댐의 건설목적은 주운과 수력발전이며, 홍수조절 용량은 없다. gate 형태의 여수로로 갖는 중력식 주운댐이며 82,000 kW 용량의 발전시설이 있고, 저수지의 정상운영(normal operation) 수위는 38.1 m이다(그림 3). 여수로는 11 기의 tainter gate(15.2 × 10.7 m)를 가진 콘크리트 중력식 구조물이다. 여수로 위어정고는 27.7 m이며, 여수로 수문정고는 38.4 m이며, 저수지 수위 38.1 m에서 최대가능방류량은 3,523 m³/s이다. 주운을 위한 챔버의 제원은 25.6 × 182.9 m이다. 운영수위 기준으로 저수지의 용



그림 3. Robert F. Henry Lock and Dam



그림 4. Millers Ferry Lock and Dam

량은 $288.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이며, 저수면적은 50.6 km^2 이다.

Millers Ferry 주운댐은 1974년에 완공되었고 Robert F. Henry 주운댐 하류 108 km에 위치하며, 건설목적은 주운과 발전이다. gate 형태의 여수로 를 갖는 중력식 주운댐이며 75,000 kW 용량의 발전시설이 있고, 저수지의 정상운영 수위는 24.4 m 이다(그림 4). 운영수위 기준으로 저수지의 용량은 $409.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이며, 저수면적은 69.6 km^2 이다.

3.2 Robert F. Henry 주운댐의 운영

Robert F. Henry 주운댐의 주요 기능은 주운수 심을 확보하는 것이다. 그러므로 저수지의 수위를 정상운영 최고수위인 38.1 m(125 ft) 정도를 유지 해야 한다. 나머지 주요 기능은 수력발전이다. 저수 지의 운영수위는 0.6 m(2 ft) 범위에서 이루어진다. 이 범위에서 수력발전, 주운, 하류 유지용수 공급이 이루어진다. 저수지 수위가 38.4 m(126 ft)를 넘으면 여수로를 통하여 방류한다(USACE, 1999).

저수지에 유입하는 유량을 발전방류 또는 여수로 수문을 통해 방류하여 저수지 수위를 37.8 ~ 38.4 m 범위에서 유지한다. 저수지 수위 38.4 m까지는 발전방류와 여수로 방류를 동시에 할 수 있지만 38.4 m 이상이면 여수로 수문을 통해서만 방류한다. 방류량이 약 $3,170 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상이면 방수로 수위가 높아져 발전효율이 떨어진다. 그러므로 발전기 가동을 멈추어야 한다. 상류에서 유입하는 유량이 $3,538 \text{ m}^3/\text{s}$ ($125,000 \text{ ft}^3/\text{s}$) 이상이면 즉, 최대방류량을 초과하면 흐름은 자유흐름(free flow)이 되며 통제가 불가능해진다. 이와 같은 상황에서는 직상류와 직하류의 수위가 거의 차이가 없어져 흐름은 자연하천의 홍수흐름과 같아진다. 이때 여수로의 수문은 저수지 수위가 최고수위에 도달하고 낮아질 때까지 완전개방 상태로 유지된다. 저수지 수위가 감소하면 수위를 37.8 ~ 38.4 m 범위에서 유지하기 위해 여수로 수문을 점진적으로 폐쇄한다. 방수로 수위가 충분히 낮아지면 발전기를 재가동한다.

4. 하천내 댐 운영사례

ACT 지역의 하천내 댐 운영자료는 미국 육군공병단의 홈페이지에서 수집하였다(<http://water.sam.usace.army.mil/>). 수집한 자료는 정시 저수지 수위, 정시 방수로 수위, 6시기준 저수지 수위, 6시기준 방수로 수위, 발전방류량, 총방류량, 유입량, 발전량, 유역평균 강수량 자료이다. 자료는 1975년부터 일단위의 형태이다. 분석 대상기간은 알라바마주의 홍수가 있었던 1990년으로 하였다.

알라바마주에는 1990년 3월 15일 ~ 17일까지 203 ~ 406 mm(8 ~ 16 in.)의 폭우가 내려 남부 알라바마주의 약 2/3에 해당하는 지역에 홍수가 발생하였다. 이로 인해 도로 및 교량이 파괴되고 약 6,000명의 이재민이 발생하였고 13명의 사망자가 발생하였다(http://www.srh.noaa.gov/bmx/?n=flood_historicriverfloods).

그림 5에 1989년 10월 ~ 1990년 9월까지 Robert F. Henry 주운댐의 직상류 저수지 수위와 직하류 방수로 수위, 유입량, 여수로 방류량을 일단위로 나타내었다. 직상류의 저수지 수위는 홍수가 있었던 1990년 2월과 3월을 제외하면 37.6 ~ 38.4 m의 범위에 있었다. 방수로 수위는 저수지의 수위를 유지하기 위해 여수로를 통해 수시로 방류하여 수위변화가 큼을 볼 수 있다. 1차 홍수가 있었던 2월 19일부터 23일까지 5일간 저수지 수위는 최고 38.9 m이었다. 가장 큰 홍수가 있었던 3월 17일부터 24일까지 저수지 최고 수위는 19일에 41.6 m이었다.

1차 홍수 기간중 저수지 유입량은 2월 17일에 $3,995 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 여수로 최대방류량을 넘어 자유흐름을 형성하였으며 25일까지 최대방류량을 초과하는 유량이 유입되었다. 이 기간중 최대 유입량은 $4,924 \text{ m}^3/\text{s}$ 이었다. 그리고 2차 홍수 기간중 3월 17일에 $4,896 \text{ m}^3/\text{s}$ 가 유입되기 시작하여 21일에 최대 $6,179 \text{ m}^3/\text{s}$ 가 유입되었고 25일에 월류흐름이 발생하지 않는 유량($3,357 \text{ m}^3/\text{s}$)이 유입되었다.

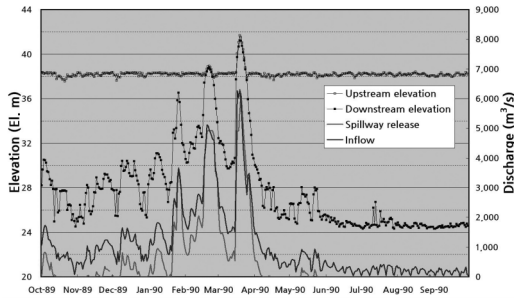


그림 5. Robert F. Henry 주운댐의 수위 및 방류량

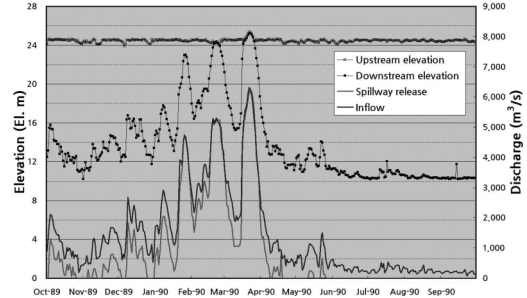


그림 6. Millers Ferry 주운댐의 수위 및 방류량

한편 발전운영은 1차 홍수기간 전후로 발전기의 효율을 고려하여 발전기 가동이 중단되었으며, 2차 홍수가 발생한 3월 17일부터 27일까지 역시 발전기의 가동이 중단되어 발전량이 없었다.

그림 6에는 Robert F. Henry 주운댐 하류에 위치한 Millers Ferry 주운댐의 저수지 수위, 방수로 수위, 유입량, 여수로 방류량을 일단위로 나타내었다. 저수지 수위는 홍수기를 제외하면 24.1 ~ 24.6 m의 범위에 있었다. 역시 방수로 수위는 저수지의 수위를 유지하기 위해 여수로를 통해 수시로 방류하여 수위변화가 큼을 볼 수 있다. Millers Ferry 주운댐의 경우 1차 홍수가 있었던 기간에 급격한 수위 상승은 없었고 2차 홍수기간에 저수지 최고 수위는 3월 23일에 25.4 m이었다.

1차 홍수 기간중 저수지 유입량은 2월 17일에 4,349 m³/s가 유입되기 시작하여 22일에 5,296 m³/s가 유입되었다. 2차 홍수 기간중 3월 17일에 4,940 m³/s가 유입되기 시작하여 22일에 최대 6,312 m³/s가 유입되었다.

5. 결론

본고에서는 네덜란드의 다기능 보 운영 수문사례에 이어 미국의 하천내 댐 운영사례를 소개하였다. 알라바마주에 위치한 Robert F. Henry 주운댐의 주요 기능은 주운수심을 확보하는 것이고 추가적으로 수력발전을 하여 전력생산을 하는 것이다. 그러므로 저수지의 수위를 정상운영 수위인 38.1 m를 유지해야 한다. 저수지의 운영수위는 0.6 m 범위에서 이루어진다. 이 범위에서 수력발전, 주운, 하류 유지용수 공급이 이루어진다. 저수지 수위가 38.4 m를 넘으면 여수로를 통하여 방류하여 저수지 수위를 일정하게 유지하도록 한다.

이전 기고에서 소개한 네덜란드의 보와 함께 미국의 하천내 댐 운영사례를 통해 정부와 관련기관에서는 우리나라 유역물관리 실정에 맞는 과학적 다기능 보 운영방안을 마련하고 있다. 🍵

참고문헌

1. U.S. Army Corps of Engineers (1999). *Alabama-Coosa river basin water control manual - Appendix G Robert F. Henry Lock and Dam.*