

저수지의 모의운영을 위한 댐시물레이터 프로그램 개발

○ 박노혁¹⁾ · 고덕구²⁾

1. 서 론

홍수시 유역 내의 수문 거동, 즉 강우와 유역 유출의 발생 등은 자연 현상으로 써 인위적인 조절이 불가능하다. 그러나 저수지의 건설과 운영을 통해 저수지와 하천 수위는 인위적 조절이 가능하게 되었다. 홍수시 저수지 운영은 관측된 강우와 수위 등 실시간 수문 자료를 근거로 이루어지고 있으나, 실질적으로 저수지와 하류의 수위는 저수지 운영이라는 인위적인 요소에 의해 조절된 결과이다.

실시간 자료를 이용하는 시스템을 개발하는 경우 시스템의 시험과 검증은 시간 경과에 따른 연속적 적용을 통해 이루어져야 하며, 이를 위해서는 사용자의 행위와 시스템의 반응이 원인과 결과로 연속 재연될 수 있어야 한다. 즉 어느 한 시점의 수문 자료를 근거로 댐방류량을 결정하면 그 결과로 저수지와 하류의 수위가 모의되고, 그 결과가 다시 다음 시간대의 수문 자료로 사용될 수 있어야 한다.

본 연구에서는 실시간 수문 상황에 따른 사용자의 저수지 운영 의사결정과 그에 따른 가상적인 수계의 반응으로써 저수지의 수위와 하류수위가 모의되고, 모의된 결과가 다시 가상적인 실시간 수문 상황으로 이용되는 과정이 연속적으로 이루어질 수 있는 댐운영 시물레이터를 개발하였다.

2. 댐운영 시물레이터 구성

댐운영 시물레이터는 1시간을 단위로 운영될 수 있도록 하였으며, 저수지의 수위는 식 (1) 및 식 (2)와 같은 저수지의 물수지식을 이용하여 계산되도록 하고, 댐하류의 수위는 저류함수모형에 의해 모의 계산될 수 있도록 하였다.

$$H=f(V) \text{ or } V=g(H) \quad (1)$$

$$V_{t+1} = V_t + I_t - R_t \quad (2)$$

1) 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

2) 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

식 (1)에서 H 는 저수지 수위(El.m), V 는 저수량(백만 m^3)을 나타내는 것으로서, 각각의 계산은 “다목적 저수지 운영 실무 편람(한국수자원공사, 1996)”에 제시된 저수량-저수지수위 관계곡선식 및 저수지수위-저류량 관계곡선식에 의해 이루어진다. 식 (2)에서 t 는 시간 단위를 나타내는 첨자이며, I 는 댐유입량(백만 m^3), R 은 댐 방류량(백만 m^3)이다.

댐운영 시뮬레이터는 FORTRAN77 프로그래밍 언어로 작성되었으며, 기본 입력 파일은 마스터(master)라고 명칭을 부여하였다. 마스터 파일은 기본 방재 모형인 저류함수모형의 실시간 수문자료와 같은 내용 및 형태의 자료를 포함하도록 하였으며, 이는 강우와 댐유입량의 시나리오를 재현하는데 이용된다. 따라서 댐운영 시뮬레이터를 운영하는 관리자가 사전에 이와 같은 자료를 일일이 준비할 수도 있으나, 과거 홍수기간의 실제 수문 자료를 사용한다면 과거 홍수 사상에 대한 저수지의 가상적인 모의운영도 가능하다.

댐운영 시뮬레이터가 가동되면 사용자의 화면에는 현재까지의 누가 강우량 및 현재의 강우 강도, 저수지의 수위 및 하류의 수위 등이 표시되고, 이에 따라 사용자는 저류함수모형 및 저수지 운영 모형을 수행하여 댐운영 의사결정을 수행하여 결정된 댐방류량을 키보드로 입력함으로써 실제 댐 방류를 실시한 것과 같은 효과를 얻을 수 있게 된다. 이때 다음 시간의 저수지 수위 및 하류 수위는 시스템에 의해 모의 조작된 값으로써 이와 같은 과정을 주어진 상황의 기간동안 한시간 간격으로 수행하도록 되어 있다. 그림 1은 댐운영 시뮬레이터 운영 화면의 예를 나타내고 있다.

```

damsim_87
ENTER HERE ==> 7
(C) MEANS ACCUMULATE RAINFALL
8/ 3 1:00 UPSTAM : RAIN =      .0 MM/HR(      .0MM)  DAM W.L.=  71.69EL.M
          INFLOW=      .00CMS  RELEASE=      .00CMS
          DNSTRM : RAIN =      .9 MM/HR(      .9MM)  GONGJU W.L.= -1.18M
8/ 3 2:00 UPSTAM : RAIN =      .0 MM/HR(      .0MM)  DAM W.L.=  71.69EL.M
          INFLOW=      .00CMS  RELEASE=      .00CMS
          DNSTRM : RAIN =      .1 MM/HR(      1.0MM)  GONGJU W.L.= -1.19M
RELEASE(O:NONE 1:AS IS 2:PWR. GEN. 3:INPUT 4. WRITE FILE)? 2
RELEASE FOR POWER GENERATION WILL BE 234.6CMS
8/ 3 3:00 UPSTAM : RAIN =      .1 MM/HR(      .1MM)  DAM W.L.=  71.67EL.M
          INFLOW=      .00CMS  RELEASE= 234.65CMS
          DNSTRM : RAIN =      .1 MM/HR(      1.1MM)  GONGJU W.L.=  1.27M
RELEASE(O:NONE 1:AS IS 2:PWR. GEN. 3:INPUT 4. WRITE FILE)? 3
HOW MUCH TO RELEASE? 1000
8/ 3 4:00 UPSTAM : RAIN =      .2 MM/HR(      .3MM)  DAM W.L.=  71.60EL.M
          INFLOW=      .00CMS  RELEASE= 1000.00CMS
          DNSTRM : RAIN =      .2 MM/HR(      1.3MM)  GONGJU W.L.=  1.28M
RELEASE(O:NONE 1:AS IS 2:PWR. GEN. 3:INPUT 4. WRITE FILE)?

```

그림 1 댐운영 시뮬레이터의 운영 화면 예시

3. 적 용

3.1 대상홍수 선정

개발한 댐시뮬레이터를 대청댐의 실시간 저수지운영에 적용코자 대상 홍수를 선정하였다. 선정된 홍수는 1987년 7월 21일부터 1987년 7월 29일까지, 1995년 8월 30일부터 1995년 9월 2일까지와 1997년 8월 3일부터 1997년 8월 10일까지의 홍수들로서 각각 홍수 1, 2, 3으로 명명하였으며, 선정된 대상 홍수기간의 대청댐 상류 수문상황은 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1 대상홍수 기간의 대청댐 상류 수문상황

구분	기간	강우 (mm)	최대유입량 (m ³ /sec)	최대 수위 (EL. m)	최대방류량(발전+여수로) (m ³ /sec)
홍수 1	1987. 7.21 - 7. 29	259.4	5,214	79.17	2,216
홍수 2	1995. 8.30 - 9. 2	204.0	5,890	77.15	1,700
홍수 3	1997. 8. 3 - 8. 10	212.0	4,498	78.34	2,000

3.2 가상 실시간 운영

홍수시 실시간 저수지운영이라 함은 각 분석 시간별로 발생된 상황에서 최적의 대안을 찾아 이에 따라 댐방류를 실시하는 것이다. 본 연구에서는 수문상황과 기상특보에 따라 댐방류량 대안을 수립하고 각 대안별 대청댐 수위와 하류 홍수조절지점인 공주의 수위 변화를 예측, 그 결과를 비교하여 최상의 대안을 찾는 과정을 연속해서 수행하였다. 댐시뮬레이터 프로그램에 당시의 실제 운영 결과와는 다른 최적 대안에 따른 방류 상황을 적용하고, 그 결과로서 모의된 저수지와 하류 수위를 다음 시간대의 의사결정 자료로 활용하는 가상적인 실시간 적용을 수행하였다.

적용된 저수지 운영 대안의 타당성을 검증하기 위해 당시의 운영 실적과 결정된 대안에 따라 운영되었을 경우의 결과를 각 홍수 사상별로 비교하였다. 대안의 설정에 포함된 강우량은 실제가 아닌 기상특보 등으로부터 가정된 예상 강우량이며, 이에 따른 수문예측 결과는 저수지 운영을 위한 의사결정자료로 이용되기는 하나 실제 발생한 상황은 아니다.

본 연구에서는 시스템 적용에 의한 댐 운영의 타당성을 검증하기 위하여 시스템 적용 결과로 나타난 최대방류량과 대청댐 최고수위, 공주지점 최고수위를 홍수 사상별로 당시의 실제 값과 비교하였으며, 그 결과는 표 2에 나타낸 바와 같았다.

표 2 홍수 1, 2, 3의 사상에 대한 댐시물레이터 적용 결과와 당시 실적과의 비교

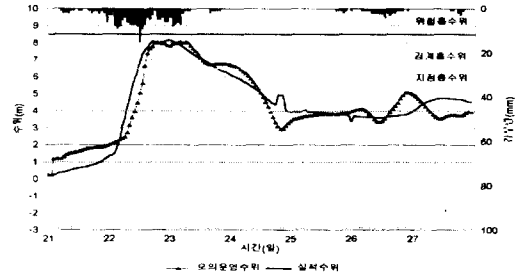
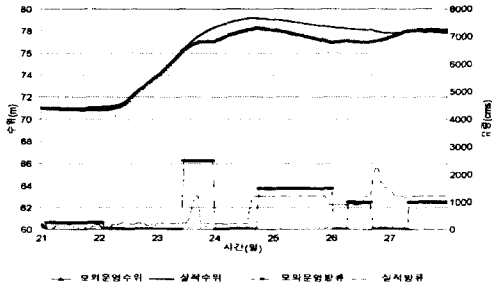
구분 홍수	운영	최대방류량 (m ³ /sec)	저수지최고수위 (EL.m)	공주 최고수위 (m)
1	실적	2,216	79.17	8.59
	댐시물레이터	2,500	78.33	8.07
2	실적	1,700	77.15	5.79
	댐시물레이터	1,000	77.80	5.64
3	실적	2,000	78.34	4.46
	댐시물레이터	1,000	77.62	4.20

홍수 1의 사상에 대한 시스템 적용 결과를 실적과 비교해 보면 대청댐에서의 최대 방류량은 시스템 적용을 통해 당시 실적 2,216m³/sec보다 높은 2,500m³/sec로 나타났으나 하류의 침투홍수를 피하여 방류함으로써, 저수지 수위는 당시 실적 EL.79.17m보다 낮은 EL.78.37m로 낮출 수 있었음을 그림 2a에서 볼 수 있다. 또한 하류 공주지점의 최고수위도 역시 당시 실적 8.59m를 시스템 적용을 통해 8.07m로 낮출 수 있었음을 그림 2b에서 볼 수 있다. 홍수 1에 대한 시스템 적용과 의사결정과정을 살펴보면 7월 23일 23:00시 저수지수위는 EL.77.09m이었고, 유입량은 2,310m³/sec로 하강 중이었으며, 하류 공주 수위도 6.29m에서 계속 하강 중인 상황에서 당시의 실제 의사결정은 유입량의 감소와 강우강도의 약화를 이유로 1,200m³/sec로 방류하던 것을 중단하므로써 저수지 수위가 EL.79.17m에 도달하는 결과를 초래하였다. 비록 다행스럽게도 후속강우가 발생하지 않아 더 심각한 사태가 일어나지는 않았지만 미래의 수문학적 불확실성을 감안하였을 때 이러한 저수지 운영은 상당한 위험성을 내포하였던 사례라고 여겨진다. 본 연구에서의 시스템 적용을 통한 의사결정은 그림 2에서 볼 수 있듯이 급격한 저수지의 상승을 막기 위하여 비록 하류 공주 수위가 지정홍수위 이상인 6.29m이었지만 2,500m³/sec의 방류를 실시하여 저수지 수위를 EL.78.0m 부근에서 조절함으로써 하류의 홍수피해를 크게 유발하지 않는 범위 내에서 댐체의 안전을 확보토록 한 결과였다.

홍수 2의 사상에 대해 시스템을 적용하여 대청댐에서의 최대 방류량을 당시 실적 1,700m³/sec로 부터 1,000m³/sec로 낮출 수 있었다. 저수지 수위는 당시 실적 EL.77.15m보다 조금 높은 EL.77.80m이었으나 저수지의 저류용량을 최대한으로 활용하였음을 그림 3a에서 볼 수 있다. 반면에 하류 공주지점의 최고수위는 당시 실적 5.79m를 5.64m로 낮추는 효과를 거두었음을 그림 3b에서 볼 수 있다.

홍수 3의 사상에 대해서는 시스템을 적용한 의사결정을 통해 대청댐에서의 최대 방류량은 당시 실적 2,000m³/sec를 1,000m³/sec로 낮출 수 있었다. 저수지 수위는 당시 실적 EL.78.34m를 EL.77.62m로 크게 낮출 수 있었음을 그림 4a는 보여

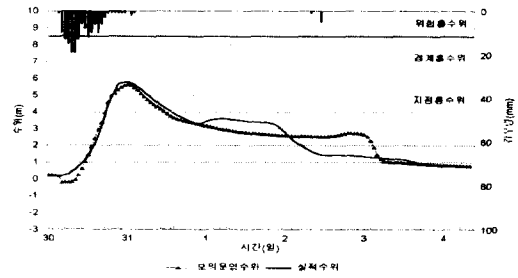
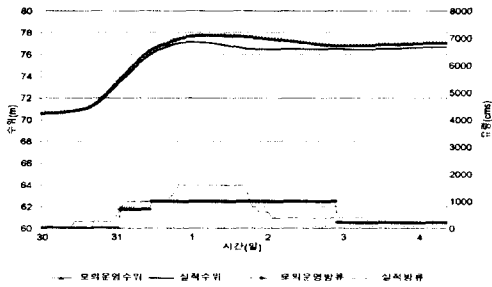
주고 있다. 그러했음에도 불구하고 하류 공주지점의 최고수위는 당시 실적 4.46m를 4.20m로 낮추는 효과를 거두었음을 그림 4b에서 보여 주었다.



a) 저수지의 수위와 방류량의 비교

b) 공주 지점의 수위 비교

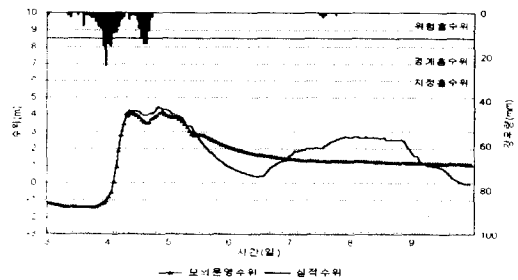
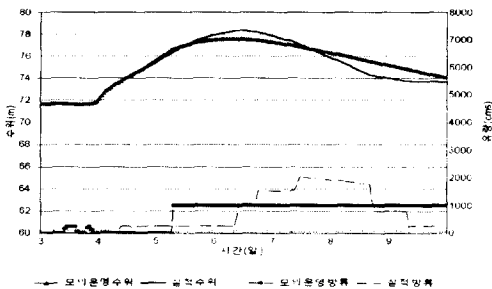
그림 2 홍수 1의 사상에 대한 시스템 적용과 당시 실적간의 수문곡선 비교



a) 저수지의 수위와 방류량의 비교

b) 공주 지점의 수위 비교

그림 3 홍수 2의 사상에 대한 시스템 적용과 당시 실적간의 수문곡선 비교



a) 저수지의 수위와 방류량의 비교

b) 공주 지점의 수위 비교

그림 4 홍수 3의 사상에 대한 시스템 적용과 당시 실적간의 수문곡선 비교

4. 결 론

개발된 댐시뮬레이터 프로그램을 적용하여 과거 홍수 사상에 대한 댐운영 의사결정을 다시 수행하고, 그 결과를 당시의 실적 운영과 비교하여 개선된 댐운영 결과를 도출하였다. 그러나 이는 댐시뮬레이터 프로그램 적용을 통해 얻어진 결과가 아니라 당시와는 다른 의사결정을 통해 얻어진 것이다. 실질적으로 의사결정의 기준을 어느 시점으로 할 것인가 하는 문제, 홍수의 크기와 지속시간, 댐 상·하류간의 피해 정도 등에 대한 tradeoff를 고려하는 문제, 대안을 설정하는 등의 문제는 아직도 실무자의 경험에 많은 부분을 의존하여야 할 것으로 생각되었다.

그러나 결론적으로 본 연구를 통해 개발된 댐시뮬레이터 프로그램은 시스템에 대한 사용자의 행위와 결과를 연속적으로 모의할 수 있었던 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 건설교통부·금강홍수통제소, 금강수계 유량측정 조사 보고서, 1993, 1995, 1997.
2. 건설교통부·한국건설기술연구원, 수위-유량관계 곡선식 자료집, 1994
3. 건설부·금강홍수통제소, 금강 홍수예경보 프로그램 개발, 1989
4. 고석구·이한구·이희승, 홍수시 저수지 실시간 운영 의사결정 지원시스템, 대한토목학회논문집, 제12권, 제1호, pp.131-140, 1992
5. 박봉진·강권수·정관수, 대청댐 방류에 따른 금강 하류부의 홍수추적, 한국수자원학회논문집, 제30권, 제2호, pp. 131-141, 1997
6. 심명필·박인보·선우중호·황만하, 홍수기중의 실시간 저수지운영 모형(Ⅱ); 대청댐의 단일저수지 운영 방안, 한국수문학회지, 제23권, 제3호, pp. 499-507, 1990
7. 심명필·이재형·권오익, 홍수예측에 의한 예비방류 방안, 한국수자원학회지, 제29권, 제1호, pp. 235-247, 1996
8. 이재형·심명필·전일권, 대청댐 예비 방류를 위한 홍수 예보, 한국수문학회지, 제26권, 제2호, pp. 99-105, 1993
9. 한국수자원공사, 다목적댐 홍수유출 해석 및 홍수기 저수지 운영 프로그램 해설서, 1993
10. Moore, R.J., Real-Time Flood Forecasting Systems: Perspectives and Prospects, presented at UK-Hungarian Workshop on Flood Defence, Budapest, 6-10, Sept., 1993