이상강우에 의한 농업용 저수지의 홍수조절 능력 분석

○한건연*, 서승덕*, 권순국**, 최혁준***

1. 서 론

사회의 발달과 국토이용의 증가 그리고 인구 증가에 따른 물 수요의 증대 등으로 수자원을 효율적으로 이용하기 위하여 저수지와 같은 수공구조물의 중요함은 더욱 증가되고 있다. 최근 이상기후로 인한 홍수 등에 따른 피해 규모를 줄이기 위해서는 수공구조물의 안전관리의 신뢰도와 적합한 관리 운영이 절실히 요구된다. 2002년은 태풍에 의하여 유난히 큰 홍수가 8월 중 두 번(간무리, 루사)이나 발생하면서 다른 해에 비하여 우리나라 전역에 큰 피해가 발생하였고, 전국적으로 호우경보를 발령하는 등 커다란 사회·경제적 파장을 일으켰다. 특히 2002년 8월 31일에서 9월 4일까지 우리나라 전역을 휩쓸고 지나간 태풍 루사는 경북 김천, 강원도 강릉지역에 가능최대강수량에 버금가는 강우를 보이며 우리나라 전국에 걸쳐 사상 최대의 피해를 안겼다. 이와 같은 피해는 엘리뇨와 지구온난화 등으로 인하여 앞으로도 되풀이하여 발생할 것으로 생각되므로 이상호우에 의한 홍수피해에 대한 충분한 대비가 필요하다.

본 연구에서는 농업용 댐의 이상호우에 대비한 안전대책을 수립하기 위한 기초자료로서 성주댐 유역을 대상으로 각종 강우량 자료로부터 설계홍수량, 태풍 루사에 의한 홍수량을 수문분석 기법을 사용하여 분석하였고, 태풍 루사 내습시의 수위자료로부터 강우량을 역산하는 방법을 동원하여 홍수조절 기능을 분석하였다. 이러한 연구결과는 홍수시의 저수지 운영방법, 홍수예방을 위한 시설물의 규모, 홍수배제 시설의 규모를 결정하는데 사용될 것이다.

본 연구에서는 저수지로 임의의 홍수량이 유입되는 경우, 저수지에서의 유출량을 산정하기 위한 방법으로 level-pool 방법과 3차 및 4차 Runge-Kutta 방법을 모두 이용할 수 있는 Reservoir Routing Program(RRP) 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램에서는 유출량 계산에서 게이트 유량뿐 만 아니라, 자유여수로 유량, 취수구 유량 모두를 고려할 수 있도록 구성하였다.

2. 지배방정식

2.1 여수로 유효길이 및 유량계수 산정

댐의 수두 H_e에 대한 여수로 정부의 유효길이 L은 다음의 식 (1)에 의해 계산된다.

$$L = L' - 2(NK_p + K_a)H_e \tag{1}$$

여기서, L'는 여수로 정부의 순길이, N은 수문주의 수, K_p는 수문주의 수축계수이고 K_a는 교대벽의 수축계수이다. 성주댐의 게이트는 수위에 따라서 웨어흐름과 오리피스 흐름을 나타낼 수 있으므로, 본 연구에서는 웨어 흐름과 오리피스 흐름 각각의 경우에 대해서 유량계수를 산정하여 계산하였다(농업기반공사, 2002; U.S. Bureau of Reclamation, 1987). 그림 1은 성주댐의 여수로 형태를 나타내고 있다.

---

* 경북대학교 교수

** 서울대학교 교수

*** 경북대학교 박사과정

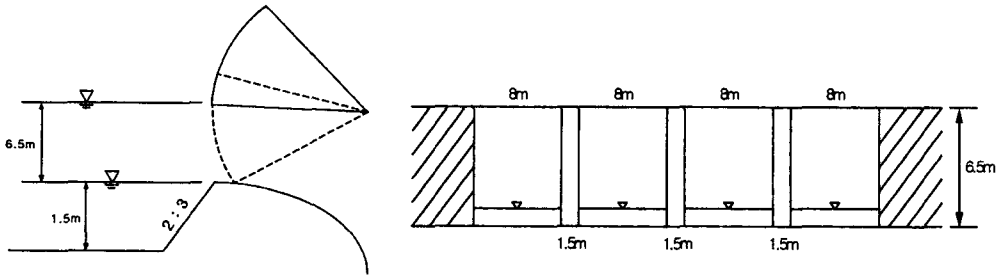

그림 1. 성주댐 여수로의 형태

2.2 저수지 홍수추적

저수지 홍수추적을 위해서는 3차 Runge-Kutta 방법을 적용하였다. Runge-Kutta 방법은 일반적인 level-pool 방법보다 복잡하지만, 저수지의 저류량-유출량의 관계가 필요하지 않으며, 저수지를 통한 방류량의 수리학적 특성을 정확히 반영할 수 있다는 점에서 널리 적용되고 있다. 저수지의 저류방정식은 식 (2)와 같이 기술할 수 있다.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{I(t) - Q(H)}{A(H)} \tag{2}$$

Runge-Kutta 방법은 각 시간단계를 해당 소구간으로 구분하고, 각 구간에서 개선된 평균 기울기 값을 얻기 위하여 다수의 기울기 추정치를 이용한다. 식 (3)~(5)는 이러한 과정의 개선된 기울기값을 나타내고 있으며, 식 (6)~(7)은 개선된 기울기를 얻기 위하여 이 값이 가중 평균됨을 의미한다.

$$\Delta H_1 = \frac{I(t_j) - Q(H_j)}{A(H_j)} \Delta t \tag{3}$$

$$\Delta H_2 = \frac{I\left(t_j + \frac{\Delta t}{3}\right) - Q\left(H_j + \frac{\Delta H_1}{3}\right)}{A\left(H_j + \frac{\Delta H_1}{3}\right)} \Delta t \tag{4}$$

$$\Delta H_3 = \frac{I\left(t_j + \frac{2\Delta t}{3}\right) - Q\left(H_j + \frac{2\Delta H_2}{3}\right)}{A\left(H_j + \frac{2\Delta H_2}{3}\right)} \Delta t \tag{5}$$

$$H_{j+1} = H_j + \Delta H \tag{6}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta H_1}{4} + \frac{3\Delta H_3}{4} \tag{7}$$

3. 성주댐 유역에 대한 모형의 적용

성주댐은 농업용수 개발을 주목적으로 계획된 사업으로서 부수적으로 생활용수의 공급과 하천 유지용수의 확보 및 홍수조절을 목적으로 건설되었다. 홍수시 하천의 홍수 능력(홍수량 800 m^3/s)으로 조절 배제시킴으로써 댐 하류부 및 낙동강 저지대의 침수피해 감소와 홍수배제 규모를 줄일 수 있는 이점이 있다.

3.1 WMS 모형에 의한 수문분석

성주댐 유역에 대한 WMS 모형에 의한 수문분석은 다음과 같은 과정에 의해서 실시되었다(Boss, 2000).

성주댐 유역의 수치지도를 입력한 다음, WMS 모형의 내부에 있는 TOPAZ 프로그램을 실행하여 기본적인 유역의 특성을 분석한다. 다음으로 유출구를 지정하고 관심 소유역을 추출하여 유역면적, 유역경사, 하도경사 등의 소유역 특성을 분석한다. 이렇게 생성된 자료를 사용하여 HEC-1 프로그램을 실행한다. 그림 2는 WMS 모형에 의한 성주댐 유역의 유역분석 과정을 나타낸 것이다.

저수지 유입량을 기초로 하여 역산한 결과 그림 3과 같은 강우 분포도를 얻을 수 있었다. 이 경우의 총 강우량은 416.6mm로 추정되었는데 이는 성주댐 건설당시에 분석한 200년 빈도 강우량인 239.2mm를 훨씬 상회하는 량이었다.

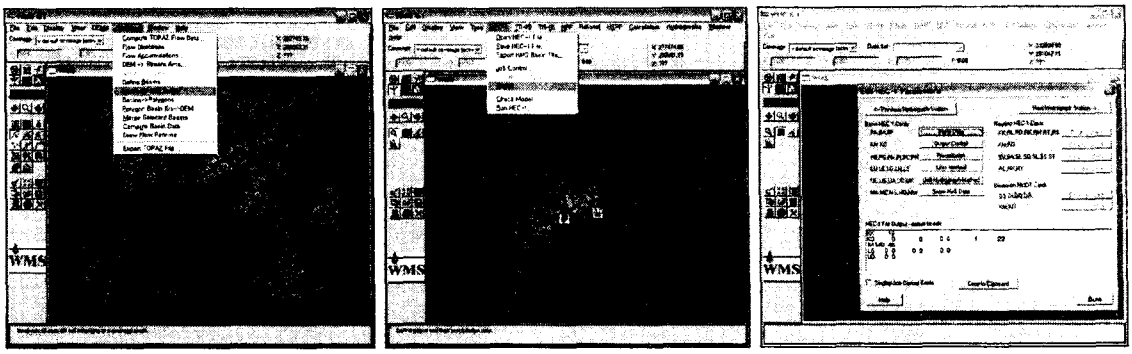

그림 2. WMS 모형에 의한 유역분석 과정

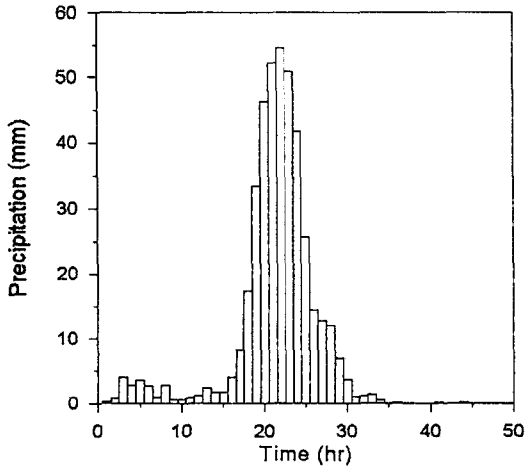

그림 3. 태풍 루사시 성주댐 유역 추정 강우량

3.2 홍수조절능력 검토

태풍 루사 내습시 성주댐에서 이용가능한 정확한 자료는 그림 4와 같은 저수지의 시간별 수위변화 자료이다. 따라서, 본 연구에서는 저수지의 수위변화로부터 방류량을 계산하였으며, 다시 방류량으로부터 유입량을 Runge-Kutta 방법의 시행착오적 수행과정을 통해서 결정하였다. 모의결과 태풍 루사에 의한 성주댐의 첨두유입량은 1,620 m^3/s였으며, 첨두방류량은 1,285 m^3/s였다. 성주댐의 홍수조절용량은 335 m^3/s로 나타났고, 홍수조절률은 20.7%로 분석되었다. 댐의 최고수위는 190.1m로 1.4m만의 여유고를 나타내었다. 그림 5에서 실선은 저수지의 방류량 변화의 실측치를 나타내고 있으며, 점선은 역산한 유입량으로부터 다시 저수지 추적을 통하여 산정한 방류량 변동의 모의치를 나타내고 있다. 그림 6은 태풍 루사시 본 연구에서 모의된 댐 유입량 및 방류량의 수문곡선을 나타내고 있다.

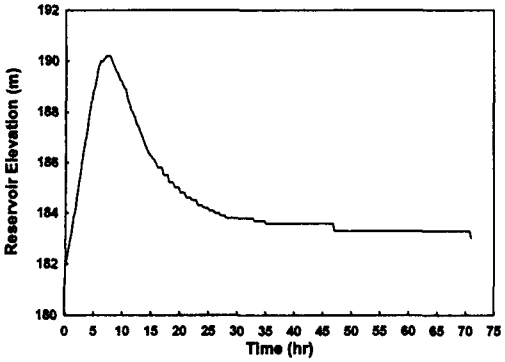

그림 4. 성주댐 저수지 시간별 수위변화

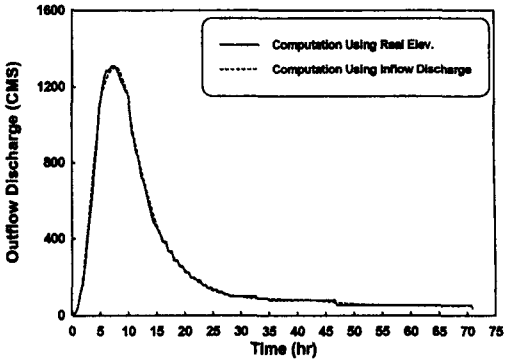

그림 5. 성주댐 저수지 시간별 유출수문곡선

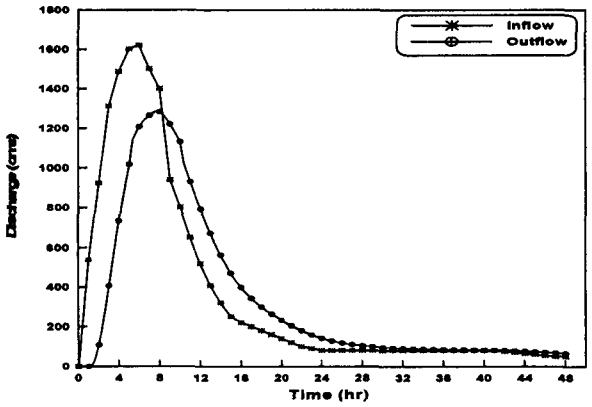

그림 6. 태풍 루사시 댐 유입량 및 방류량

4. 결론

본 연구에서는 댐 저수지 내로 임의의 홍수량이 유입되는 경우에, 저수지에서의 유출량을 산정하기 위한 방법으로 level-pool 방법과 3차 및 4차 Runge-Kutta 방법을 모두 이용할 수 있는 Reservoir Routing Program(RRP) 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램에서는 유출량 계산에서 게이트 유량뿐 만 아니라, 자유여수로 유량, 취수구 유량 모두를 고려할 수 있도록 구성하였다. 이는 현재의 성주댐이 게이트만을 방류수단으로 이용하고 있으나, 향후 추가적인 여수로 건설이 있을 경우, 이들의 효율적인 계산에 대비하기 위함이었다. 태풍 루사시의 총 강우량은 WMS 모형에 의한 유역 분석 결과 416.6mm로 추정되었다. 성주댐의 첨두유입량은 1,620 m^3/s, 첨두방류량은 1,285 m^3/s, 홍수조절용량은 335 m^3/s로 나타나 홍수조절률은 20.7%에 달하였고, 성주댐 저수지의 최고수위는 190.1m까지 상승하여, 제당고 1.4m의 여유만을 가졌던 것으로 분석되었다. 이러한 연구결과는 홍수시의 저수지 운영방법, 홍수예방을 위한 시설물의 규모, 홍수배제 시설의 규모를 결정하는데 사용될 것이다.

5. 참고문헌

농업기반공사 (2002). 이상호우에 대비한 농업용댐(저수지) 홍수조절 기능 분석 및 개선방안.

Boss International (2000). *WMS(Watershed Modeling System) User's Manual.*

Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill.

Mays, L.W. (2001). *Water Resources Engineering*, John Wiley & Sons, Inc.

US Bureau of Reclamation (1987). *Design of Small Dams*, Water Resources Technical Publication.