금강 수계 실시간 홍수 예측을 위한 강우-유출 모형 검토

박노혁[1]·심순보[2]·이희승[3]·고덕구[4]

1. 서론

홍수 기간 중 수계 내에서의 홍수 조절을 위해서는 댐 상류 유입량, 저수지 수위, 댐 하류 유역 유출 및 하천 수위 등과 같은 각종 상태 변수의 파악이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 수계 내의 수리·수문 조건을 고려하고, 댐 상·하류 안전 여부를 판단하는 일련의 흐름 체계를 거쳐 적절한 실시간 저수지 방류량과 저류량이 결정되어야만 한다. 특히 댐 하류에 피해를 줄 가능성이 있거나 기존 유하량에 추가되어 피해를 가중시킬 가능성이 있는 댐 방류가 불가피할 경우에는 댐 상류 및 하류의 이해 관계가 상반될 수 있으므로 방류량 결정에는 충분한 분석과 논리가 필요하다.

본 연구에서는 홍수시 댐운영을 위한 금강 수계 실시간 홍수 제어 시스템의 일부로서 자연 상태에서 강우로부터 하천 유역의 홍수 유출을 예측하기 위한 강우-유출 모형을 선정·검토하고, 이의 활용 방향을 제시하고자 하였다.

2. 연구의 배경

2.1 금강 수계의 개요

금강 수계는 유역 면적이 9,843.2㎢인 비교적 대유역의 하천이다. 홍수 조절 기능을 가진 대청댐 (유역 면적 4,134㎢)이 1980년 준공되어 현재 운영 중에 있으며, 유역 면적 대 저수 용량의 비 (14.9천만톤/4,134㎢)가 작아서 중규모 이상의 호우 발생시 저수지 수위가 급상승되며, 호우의 이동 특성을 볼 때 서해안 쪽으로부터

1 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
2 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
3 한국수자원공사 부사장
4 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

강우 전선이 내륙 상류 수계 방향으로 이동함에 따라 댐 저수지에서의 방류를 개시할 때면, 이미 하류 지역의 유출이 진행되어 홍수조절이 매우 어려운 지형적, 기후적 특성을 내포하고 있다. 이 외의 수계내 주요 수자원 시설로는 금강 하구언이 있으며, 하천은 금강 본류 외에 10개의 직할 하천과 16개의 지방 하천으로 구성되어 있다. 이 들 중 미호천 (유역 면적 1,850 ㎢)을 제외하면 어느 것이나 본류의 3~6% 정도의 유역 면적을 갖는 소하천 들로 구성되어 있다.

금강 수계에는 1990년 8월 금강홍수통제소가 설치되어, 그 후 본 유역에 대한 홍수 통제 업무를 수행해 오고 있다. 현재 가동 중인 홍수 예경보 시설로는 26개의 TM 수위 관측소와 41개의 우량 관측소가 운용되고 있으며, 첨단 통신 및 전산 시스템이 설치되어 기상 관련 각종 정보를 수집하고 분석하여 홍수예경보 업무를 수행하고 있다 (금강홍수통제소, 1994).

2.2 홍수 예측 모형

금강 수계 홍수 예경보 시스템의 홍수 유출 모형은 현재 우리 나라 전 수계에서 홍수 예경보 업무에 사용되고 있는 저류함수법으로서 강우-유출 모형과 하도 추적 모형으로 구성되어 있다. 저류함수법은 나름대로의 간편성을 갖고 많은 경험이 축적되어 있기는 하지만 그 만큼의 한계성과 단점도 갖고 있다.

본 연구에서는 우선 홍수시 유역에서의 강우-유출을 보다 정확히 모의할 수 있는 모형을 선정하고, 그 적용성을 검토하고자 하였다. 한국수자원공사 (1994, 1995)는 한강 수계의 유역 유출 체계를 확립하는데 있어서 소유역별 강우-유출 모형으로써 미국 국립 기상국 (National Weather Service)에서 개발한 NWS-PC 모형을 적용하여 강우-유출 연속 모의를 수행한 바 있으며, 신 (1996)은 NWS-PC모형을 홍수 유출 모의에도 적용하였다. NWS-PC모형은 그 원형인 NWSRFS (National Weather Service River Forecast System) 모형을 개인용 컴퓨터용 프로그램으로 축소하고, 미육군 공병단의 HEC-1 운동파 추적 프로그램을 조합하여 구성한 프로그램으로써 강수, 융설, 토양 함수, 하도 추적 및 매개변수 최적화 등의 요소를 포함하고 있다 (Tabios *et al.*, 1986).

NWSRFS는 Extended Streamflow Prediction (ESP)기법과 함께 미국 Colombia강을 비롯하여, 중국의 후아이강, 수단의 Blue Nile강 등의 홍수예보 업무에 전세계적으로 활용되고 있거나, 이를 위한 연구와 노력이 이루어지고 있는 모형이다 (Brazil *et al.*, 1993).

3. 모형의 개요

NWS-PC모형은 크게 토양 함수 상태 계산 (SAC-SMA)모형과 흐름에 대한 추적 모형으로 구분된다. SAC-SMA의 모형 분류는 확정론적 집중 입력(lumped input), 집중 매개변수 (lumped parameter)모형에 속하며, 입력된 강우를 수문 순환 과정의 지표 부분(land phase) 유출 과정을 거쳐 하도 흐름의 유입량으로 변환시키도록 되어 있다. 추적 모형은 유역 유출량을 하도 유입량으로 취급하여 운동파 추적법이나 단위도-Muskingum방법을 조합하여 소유역 출구에서의 유출량으로 계산해 내는 기능을 가지고 있다.

NWS-PC모형의 입력 자료로는 토양 함수 관련 매개변수와 유역 지형 인자, 강우량 자료 등이 필요하며, 모형을 통해 모의되는 유출 성분은 다음과 같은 다섯 가지로 구분된다.

1) 영구적 또는 일시적 불투수 영역으로부터 유출되는 직접 유출(direct runoff)
2) 지표면 상층부의 자유수 저류지가 포화되거나, 강우 강도가 침투 및 중간유출률을 초과할 때 발생하는 지표면 유출
3) 지표면 상층부의 자유수에서 배수되는 중간 유출
4) 보조지하수
5) 기저지하수

4. 모형의 적용 및 연구 방향

4.1 모형의 적용

본 연구에서는 금강 수계 실시간 홍수 제어 시스템의 한 요소인 유역의 홍수 예측 모형으로 NWS-PC를 일차적인 대상으로 선정하고, 모형의 검증을 위한 대상 유역으로는 금강의 대청댐 하류 주요 지류 중 하나인 미호천 유역을 선택하였다. 미호천의 석화 지점에서 관측된 '94~'95년 수문 자료를 이용하여 모형의 매개변수 보정 및 검정을 수행하였다. 유역 주변의 강우 관측소는 오류, 진천, 증평, 병천, 청주, 가덕, 조치원, 현도, 부강, 반포가 있으며, 각 관측소의 값을 Thiessen 법에 의해 유역 평균 강수량으로 환산하였다. 대상 유역 및 수위 관측소의 위치는 Fig.1에 나타내었으며, 모형의 보정 및 검정에 사용된 홍수 자료는 Table1에 나타낸 바와 같다.

모형의 토양 함수 매개변수들은 제약 Rosenbrock 최적화 알고리즘을 이용하여 일괄적으로 추정하였고, 지형 인자들은 수치 고도 자료 분석 결과로부터 추출하였다.

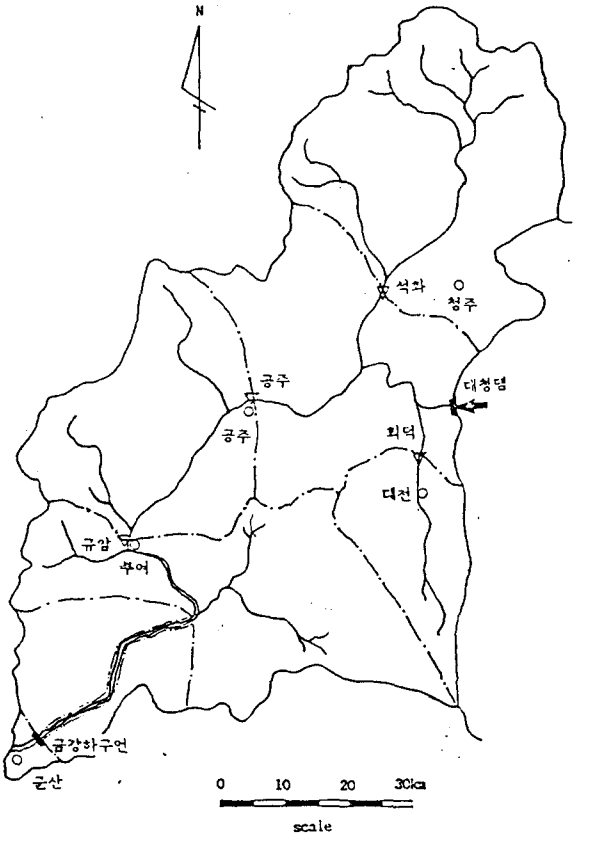

Fig.1 Location Map of Miho-chun Basin and Seokhwa Station

4.2 실시간 홍수 제어 시스템

실시간의 효율적인 저수지 운영과 홍수 제어를 위해서는 유역 특성을 충분히 모의할 수 있는 유출 분석 모형과 정확한 수문 정보 취득이 필수적이다. 이를 위해 Radar 관측에 의한 호우의 시·공간적 변화 특성을 나타내 줄 수 있는 방법론이 도입되는 것이 바람직하며, 불확실한 매개변수가 관측 체계에 의하여 순환 추정되거나 또는 강우-유출 모형에 매개변수 실시간 추정 모형을 결합시킨 구조를 갖는 강우-유출 모형을 구성하여야 할 것이다.

이와 같은 검토 내용을 바탕으로 금강 수계 실시간 홍수 제어 시스템의 개략적인 흐름도를 작성하였으며 이는 Fig.2에 나타낸 바와 같다.

Table 1 Flood Events for the Model Calibration and Verification

Event No.	Date	Rainfall Duration (Hr)	Highest Rainfall Intensity (mm/hr)	Total Rainfall (mm)	Peak dischage (cms)
1	94/ 6/30	59	27.0	166	1,368
2	94/ 8/28	53	19.8	143	1,891
3	95/ 8/24	82	27.9	336	5,029
4	95/ 8/30	25	18.6	101	1,861

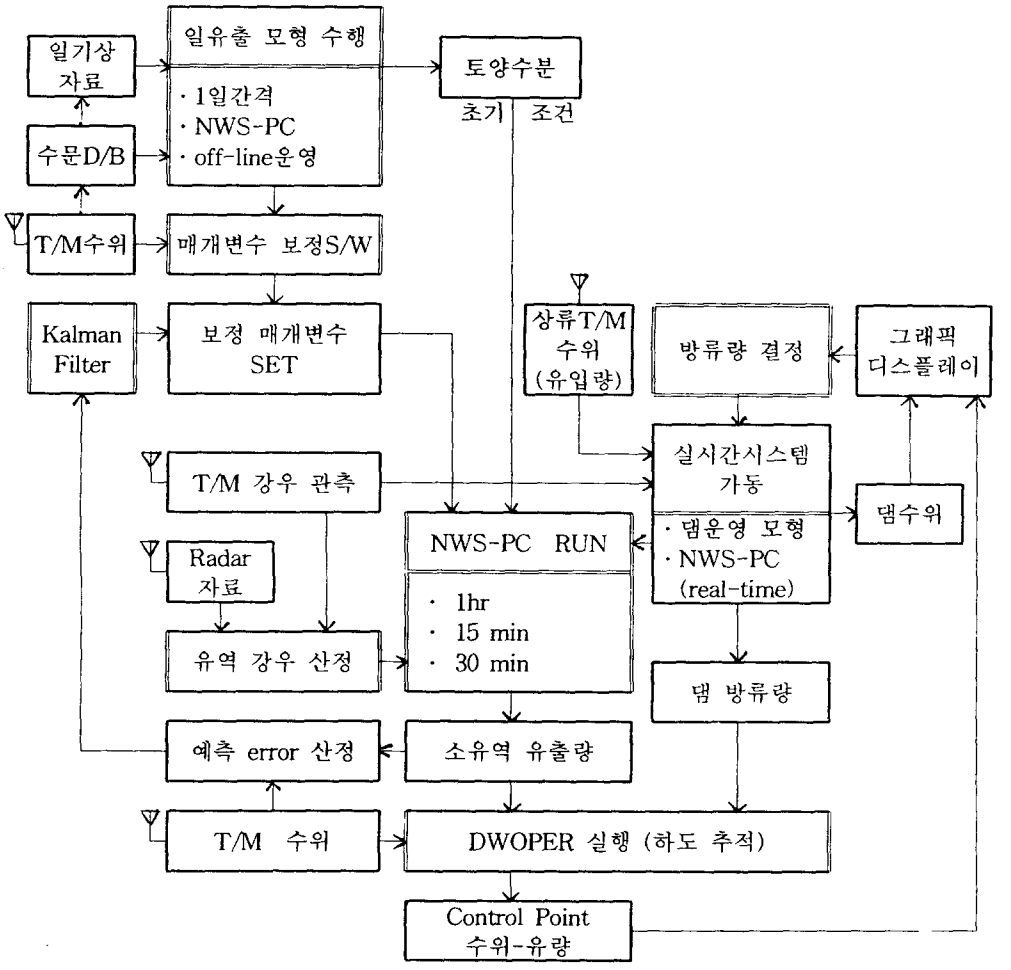

Fig.2 Flowchart of the Real Time Flood Control System for the Daechung Multipurpose Dam in Geum River System

5. 요약

홍수시의 실시간 댐운영을 위한 유역의 홍수 예측 모형을 선정하여 검토하였으며, 이와 함께 유기적으로 결합하여 운영될 수 있는 금강 수계 실시간 홍수 제어 시스템을 구상하였다. 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 실시간 홍수 제어 시스템을 위한 강우-유출 모형으로는 NWS-PC모형을 선정하였다.
2) 모형의 검토를 위한 대상 유역으로는 금강 수계 대청 다목적 댐 하류의 미호천 유역을 선정하였으며, 홍수 수문 자료는 '94~'95 기간 중에 관측된 4개의 호우 사상을 선택하였다.
3) 보정 및 검정 시험을 통해 모의 발생된 홍수 유출량은 실측치와 잘 일치하여 모형의 적용성을 입증할 수 있었다.
4) 홍수 유출 예측 모형과 유기적으로 결합한 금강 수계 실시간 홍수 제어 시스템을 구상하였다.

6. 참고문헌

1) Brazil, L.E., D.P. Laurine, G.N. Day, and J.B. Valdes, 1993, "Hydrologic Forecasting - What are the Issues?", Proceedings of the Water Resources Planning and Management Division Conference, American Society of Civil Engineers, Seattle, Washington, 5pp.
2) Tabios III, J.T. Obeysekera, and J.D. Salas, 1986, "National Weather Service Model-PC Version", program and manual assembled by the Hydrology and Water Resources Program, Colorado State University, Fort Collinse, Colorado.
3) 건설부 금강홍수통제소, 1994, "금강홍수예경보".
4) 신용노, 1996, "일 유출 모형(NWS-PC)의 매개변수 산정 및 적용", 충남대학교 공학석사학위논문.
5) 한국수자원공사, 1994, "한강수계 다목적댐 하류 연속유출모형과 동력학적 하도추적 모형 연구(1차)", 한국수자원공사 수자원연구소 보고서, WRRI - WR - 94 -3.
6) 한국수자원공사, 1995, "한강수계 다목적댐 하류 연속유출모형과 동력학적 하도추적 모형 연구(2차)", 한국수자원공사 수자원연구소 보고서, WRRI - WR - 95 - 2.