산지하천 유역에서의 분포형 유출모형을 통한 홍수 해석

Flood Analysis Using Distributed Runoff Model in Moutainous Watershed

김승주*, 최창원**, 이재응***

Seung Joo Kim, Changwon Choi, Jaeeung Yi

요 지

우리나라는 국토의 60% 이상이 산지로 구성되어 있다. 현재 국내에서는 홍수유출 해석 시 집중형 모형을 주로 이용하고 있다. 집중형 모형은 대개 유역 최하류 지점의 유출구를 기준으로 홍수유출 해석 모형의 매개변수 추정 및 검증이 이루어지며, 유역의 매개변수를 소유역별로 동일하게 가정하여 입력 자료를 구성한다. 따라서 산지하천 유역의 홍수유출 해석 및 예측 시 경사가 급하고 고도가 높으며 집중시간이 빠른 산지하천의 지형적 요소 및 특징을 적절히 고려하지 못하여 정확한 예측 및 해석을 하는데 어려움이 발생한다. 분포형 모형은 하나의 유출구가 아닌 임의의 지점에서 홍수유출 해석이 가능하며, 강우자료 입력 시 유역 평균강우가 아닌 분포형 강우, 즉 역거리자승법, 크리깅 기법 등을 사용하여 분포형 강우로 변환한 지점강우와 레이더 강우를 사용하여 보다 정확한 홍수유출 해석이 가능하다. 그리고 분포형 모형은 입력하는 모든 매개변수를 지형자료에서 추출하여 사용하기 때문에 인공적인 해석을 배제할 수 있어 인위적인 오차를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 평창강 상류유역을 시험유역으로 선정하여 연구를 수행하였으며, 분포형 모형의 하나인 Vflo™를 사용하여 홍수유출해석을 수행하였다. 지형자료만을 사용하여 특정 지점이 아닌 유역 내 임의 지점의 홍수유출량과 집중시간, 홍수위를 산정할 수 있어 산지하천에서 돌발적으로 발생하는 홍수를 신속하게 예측할 수 있었다. 또한 임의의 지점에서의 설계홍수량을 손쉽게 산정하여 수공구조물 설계 시 이용할 수 있으므로 홍수에 의한 인적 · 물적 피해를 최소할 할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 분포형 모형, 산지하천, 홍수유출량, 설계홍수량, Vflo™

1. 서론

최근 산지하천유역에서 발생한 홍수와 토석류 등에 의해 큰 인적·물적 피해가 발생하고 있다. 일반적으로 산지하천유역에서 강우관측 자료는 비교적 많이 축적되어 있지만 수위 관측소의 부재로 수위자료가 미비하여 홍수유출 해석을 수행하기에 어려움이 많다. 산지하천유역에 분포형 모형을 구축하여 적용하는 기법은 수위자료가 부족하더라도 강우자료와 지형자료만을 이용하여 홍수

* 정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 석사과정 · E-mail : sj1208@ajou.ac.kr

** 정회원 · 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 · E-mail : itsme99@ajou.ac.kr

*** 정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 · 공학박사 · E-mail : jeyi@ajou.ac.kr

유출 해석이 가능하므로 호우 시 유출 홍수량의 산정에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 산지하천 유역의 유출특성을 분석하기 위해서는 강우관측 자료와 수위자료로부터 환산된 유량자료가 필수적인 인자이나 산지하천 유역의 수위관측소는 설치, 유지관리의 어려움으로 인하여 많이 부족한 실정이다. 이와 같은 제약을 해소하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요되므로 단 시간 내에 해결하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 유역의 강우자료와 지리정보시스템을 이용하여 유역의 특성만을 분석한 후 유출자료를 산정하고 특정 지점의 설계홍수량을 손쉽고, 정확하게 산정할 수 있다면 산지유역의 홍수와 토석류에 의해 발생하는 피해에 대한 대책을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

2. 산지하천 시험유역 선정

2.1 평창강 유역 개황

평창강 유역은 표준단위 유역의 중권역 구분을 기준으로 평창강 유역(1,774.3 ㎢)의 중권역으로 구성되어 있으나, 이 중 산지유역에 해당하고 수위관측소의 자료를 이용하기 위하여 유역의 유출구를 방림교 지점으로 설정하여 유역을 재분할 하였다. 본 연구에서 사용되는 평창강 유역은 515.9 ㎢ 의 면적을 가진다.(그림 1)

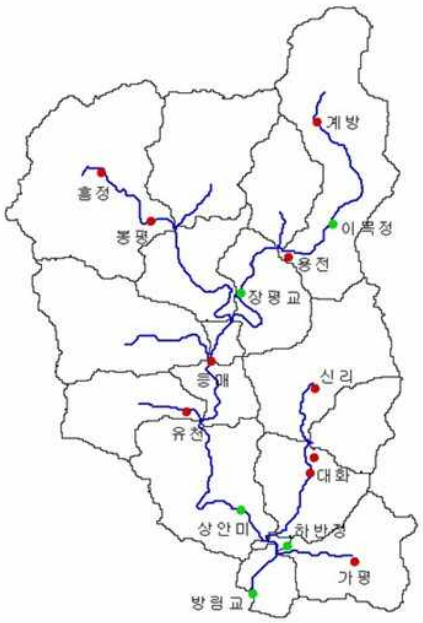

그림 1. 평창강 유역도

2.2 강우관측소 현황

평창강 유역 강우관측소는 그림 2와 같이 국토해양부에서 운영하는 6개 관측소와 수자원공사에서 운영하는 3개의 관측소, 기상청에서 운영하는 3개의 AWS에서 해당유역의 강우자료를 수집하고 있다. 기상청에서 운영하는 강우관측소는 비록 보유기간이 다른 기관에 비해 짧지만 결측치 없이 연속된 강우자료를 보유하고 있어 강우자료 추출이 용이하며, 각각의 관측소가 보유하고 있는 자료의 기간이 동일한 부분이 많아 연구 수행에 적합하다고 판단하였다. 본 연구에서는 세 관측소에서 공통적으로 자료를 보유하고 있는 2000년부터 2008년까지 총 9년 동안의 호우기(6월~9월)에 해당하는 자료를 사용하여 강우자료를 분석하였다.

2.3 수위관측소 현황

평창강 유역은 국토해양부에서 운영하는 5개의 관측소에서 해당 유역의 수위자료를 수집하고 있다. 수위관측소의 경우 결측치와 자료로써 활용할 수 없는 자료가 상당수 존재한다. 예를 들어 방림교 수위관측소에 경우 92년, 95~96년까지 결측치가 존재하며, 2000년부터는 빈칸과 활용할 수 없는 자료값이 존재한다. 이러한 사정은 다른 수위관측소의 경우도 유사하다. 5개의 수위관측소 중 유출구에 해당하는 방림교 수위관측소와 하천 본류에 위치하고 있는 상안미 수위관측소의 수위자료를 본 연구에 활용하였다.

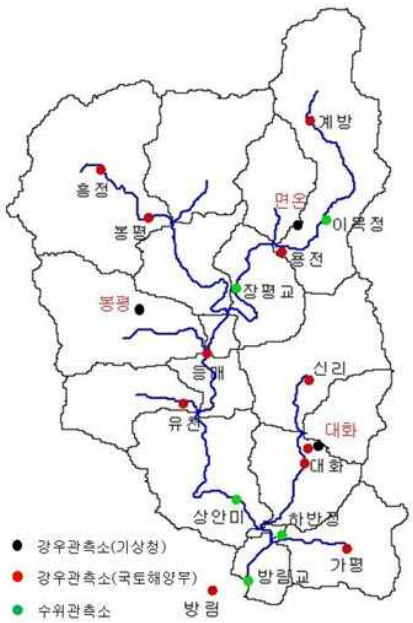

그림 2. 수문 관측소 현황

3. 분포형 유출모형 구축

3.1 Vflo™ 모형

현재 우리나라에서 사용하고 있는 홍수유출량 산정방법은 외국의 유역특성에 맞게 개발된 방법을 도입하여 우리나라 실정에 맞게 발전시킨 것이나 여러 문제점이 제기되고 있다. 미국의 Vieux & Associates 사에서 개발된 Vflo™ 모형은 물리적 인자를 기반으로 한 분포형 홍수유출모형(PBDM, Physics-Based Distributed Model)이다. Vflo™ 모형은 격자체계를 기반으로 한 분포형 홍수유출모형으로서 모형 구축에 사용되는 모든 매개변수를 지형도(DEM, Digital Elevation Model), 토지피복도, 토양도로부터 직접 추출하여 일괄적으로 입력하므로 매개변수 산정 시 문제가 될 수 있는 경험적인 요인을 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Vflo™ 모형의 하천 및 지표유출해석의 지배방정식으로는 운동파방정식(Kinematic Wave Equation)이 사용되고, 침투량 산정에는 Green-Ampt 침투능 모형을 적용하고 있다.

3.2 분포형 모형 입력자료 구축

산지하천유역은 관측소의 부재로 인해 자료 습득이 용이하지 못하고 매개변수 산정에 어려움이 있다. 분포형 모형은 위에서 언급한 DEM, 토지피복도, 토양도만을 이용하여 구축이 가능하므로 위와 같은 문제점에 영향을 받지 않는다. 분포형 모형에 사용되는 입력자료는 ASCII 파일 형식을 사용하며 이는 ArcView에서 추출 및 변환이 가능하다. ArcView에서는 프로그램만이 가지는 특수한 기능은 거의 사용되지 않으며, 각각의 자료에서 입력자료로 사용될 속성 값 추출만이 이루어진다. DEM(30m 격자), 토지피복도(30m 격자, 2000년 기준), 토양도(30m 격자, 토양종류)는 유역을 재분할하기 전의 평창강 중권역을 전부 포함한 자료이며 국가 수자원관리 종합정보시스템에서 구할 수 있다. 30m 격자로 이루어진 지형자료로부터 입력자료를 추출할 경우 격자의 수가 많아 모형 운용 시 많은 시간이 소요되어 비효율적이다. 여러 가지 크기의 격자를 사용 모형을 구동하여 적절한 크기의 격자를 선정하였으며, 최종적으로 100m 크기의 격자를 선정하였다. 지형자료로부터 추출하는 입력자료 외에 하나의 입력자료를 추가하였다. 유역의 침투와 유출에 영향을 미치는 인자로 초기 함수비(Initial Saturation)가 있다. 초기 함수비는 대유역의 경우 강우의 양상과 유역의 특성에 따라 구분하여 결정하는 것이 일반적이지만 현재 모의하고 있는 평창강 유역은 소유역이기 때문에 동일한 초기 함수비 값을 가지는 것으로 가정하였다.

그림 3. Vflo™ 모형 입력자료

3.3 분포형 강우 입력자료 구성

Vflo™에서는 세 가지 형태의 강우자료를 입력자료로 사용할 수 있다. 첫 번째 형태는 설계강우량이다. 모의하는 유역 내에 동일하게 하나의 강우사상이 발생하는 것으로 가정한 강우사상으로 빈도별 설계강우량이나 가능최대강수량(PMP, Probably Maximum Precipitation) 등을 사용하여 특정 지점의 설계홍수량 또는 가능최대홍수량(PMF, Probably Maximum Flood)을 산정하는데 사용된다. 두 번째 형태는 지점강우를 사용한 분포형 강우이다. 모의하는 유역 내에 위치하는 강우관측소의 위치(shp 파일형식)와 각각의 강우데이터(txt 파일형식)를 입력하여 Exponential Weighting 기법이나 Inverse Distance Weighting 기법을 사용하여 격자 별로 강우데이터를 산정하는 형태이다. 본 연구에서는 분포형 강우를 사용하였고, 산정 기법은 Inverse Distance Weighting 기법을 적용하였다. 세 번째 형태는 이동강우, 즉 레이더 강우시스템이다. Vflo™에서는 이동강우를 입력하여 모의할 수 있으며, 이 형태는 실시간에 가까운 모의를 가능하게 하여 홍수유출 해석에 많은 효용성이 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 2002년 8월 5일 23시부터 2002년 8월 8일 4시까지 발생한 강우사상을 사용하였다.

4. 적용결과

산지하천 유역의 임의의 지점에서 설계홍수량이 필요할 경우 적용하기 위해서, 본 연구에서는 분포형 모형을 이용하여 임의의 지점에서 홍수량을 획득하는 것을 목표로 한다. 본 장에서는 분포형 모형을 적용하여 얻은 결과를 분석하고 입력된 매개변수를 바탕으로 산지하천 유역에서 홍수유출에 영향을 미치는 매개변수를 검토하고 민감도 분석을 수행하였다.

4.1 분포형 모형 결과 분석

분포형 모형을 구동하는 방법은 두 가지이다. 하나의 격자에 대해서만 모의하는 방법과 그 격자를 유출구로 하는 유역 전체를 모의하는 방법이다. 유역 구축은 총 세 단계로 이루어진다. 본 연구에서는 대표 강우사상과 두 개의 모의 지점을 선정하였으며 홍수유출 해석에 가장 큰 비중을 차지하는 첨두유량과 첨두시간을 비교인자로 선정하여 검증을 실시하였다. 모의한 결과는 여러 형태로 나타나지만 적합한 모형 구축을 우선시하기 위하여 검증에 필요한 유량자료, 유출-수문곡선, 첨두시간, 첨두유량을 선택하였고 완경사의 하도와 하천 외 저류는 Modified Puls 및 Johns 방정식을 이용하여 결과를 산정하였다. 산정된 결과는 실측값과 비교하여 모형의 적합성 여부를 확인하였고, 매개변수 보정을 통해 최적화를 수행하였다. 표 1과 같이 첨두유량은 두 지점에서 5%내외의 차이를 보이며 첨두시간은 상안미 지점에서 1시간 24분 늦게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

표 1. Vflo™ 모형 구동 결과

Description		Observed	Estimated	Est - Obs
Bangrim Bridge	Peak Discharge	1462.2(cms)	1513.3(cms)	51.1(cms), +3.5(%)
	Peak Time	2002/08/07 09:00	2002/08/07 08:52	-8min
Sanganmi	Peak Discharge	1343.3	1257.7(cms)	-85.6(cms), -6.4%
	Peak Time	2002/08/07 09:00	2002/08/07 10:24	+84min

4.2 민감도 분석

산지하천 유역은 집중호우 발생 시 유출이 급격히 발생하며 예측이 쉽지 않다. 앞에서 구축한 분포형 모형을 사용하여 민감도 분석을 시행하고 그 결과를 분석하여 산지하천유역에서 유출에 영향을 미치는 매개변수를 알아보았다. 각각의 매개변수들이 산지하천유역의 홍수유출에 어떠한 영향을 끼치는 지를 분석하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. 민감도 분석 결과

Description		× 0.5	× 1.0	× 1.5	× 2.0
Roughness (Channel)	Peak Discharge	1883.4(cms)	1516.1(cms)	1395.7(cms)	1442.3(cms)
	Peak Time	2002/8/7 09:33	2002/8/7 11:18	2002/8/7 16:41	2002/8/7 16:56
Roughness (Surface)	Peak Discharge	1532.9(cms)	1516.1(cms)	1482.4(cms)	1461.9(cms)
	Peak Time	2002/8/7 11:15	2002/8/7 11:18	2002/8/7 11:27	2002/8/7 11:30
Hydraulic Conductivity	Peak Discharge	1878.7(cms)	1516.1(cms)	1432.0(cms)	1399.8(cms)
	Peak Time	2002/8/7 10:45	2002/8/7 11:18	200/8/7 11:33	200/8/7 08:57
Soil Depth	Peak Discharge	2176.3(cms)	1516.1(cms)	1505.6(cms)	1503.8(cms)
	Peak Time	200/8/7 10:48	2002/8/7 11:18	2002/8/7 11:18	2002/8/7 11:18

5. 결론

본 연구에서는 분포형 홍수유출모형을 사용하여 산지하천 유역의 홍수유출 해석을 실시하였다. 수문자료가 미비한 산지하천 유역에 대해서 지형정보와 대표 강우사상을 가지고 분포형 홍수유출모형을 구축하였고, 유역의 본류에 따라 위치하고 있는 두 개의 수위관측소에서 얻은 실측 유량자료와 비교하여 매개변수 검증을 실시하였다. 보다 손쉽게 습득할 수 있는 지형자료인 DEM과 토지피복도, 토양도만을 사용하여 분포형 홍수유출모형을 구축하였기 때문에 그 효용성이 크다고 판단된다. 또한 많이 사용되고 있는 HEC-HMS와 같은 집중형 모형은 유역 내 지정된 특정 지점에서만 유출해석이 가능하지만, 분포형 모형은 그와 다르게 임의의 지점에서 유출해석이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 하나의 유역을 분포형 모형으로 구축할 경우 유역 내 모든 지점에 대한 유출해석이 가능하다. 과업의 목적 및 분석주체의 방법에 따라 원하는 유출해석이 다르지만 산지하천 유역의 경우 자료 습득의 어려움 등 여러 가지 문제가 존재하므로 분포형 모형이 적합하다고 판단된다. 금번 연구 성과는 산지하천 유역에서 수공구조물을 설계할 경우 보다 정확한 설계홍수량을 산정하는데 도움이 될 것이며, 향후 이동강우, 즉 레이더 강우 시스템을 적용할 경우 실시간 유출해석이 가능할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호#'08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었습니다.