

강우이동 특성과 준분포 모형을 이용한 홍수량 산정

Flood Discharge Estimation Considering Characteristics of Rainfall Movement

김연수* · 김수전** · 장대원*** · 김형수**** · 이종소*****

Yon Soo Kim, Soo Jun Kim, Dae Won Jang, Hung Soo Kim, Jong So Lee

요 지

홍수 예·경보 및 강우-유출의 관계에 의한 홍수량 산정은 수자원 계획과 관리에 있어 중요한 요소라 할 수 있다. 이러한 강우-유출의 관계를 표현할 수 있는 모형은 최근 분포형 모형으로 발전하게 되었지만, 유역수문 모형의 비약적인 발전과는 다르게 강우자료는 점 강우량을 유역 내 평균강우량으로 산정하는 것이 일반적이다. 그러나, 실제 유역에서 강우의 분포는 다양한 이동속도와 방향을 가지고 있기에 유역 내 평균강우량이 발생한다고 가정하기에는 어려운 상황이 많다. 본 연구에서는 격자로 분할된 섬진강 유역에 임의로 생성한 중앙집중형 강우와 2009년 7월 12일부터 2009년 7월 15일까지의 레이더 강우 자료를 실제 이동방향과 수직된 나머지 세 방향으로 각각 공간분포 시켰으며, 강우의 이동과 공간분포를 함께 고려할 수 있는 준분포형인 Modified Clark 방법으로 유출량을 모의하였다. 실측된 유출량 및 강우이동에 대하여 모형을 검·보정한 후 직각된 4방향성으로 강우를 이동시켜 유역출구의 홍수량 변화를 비교·분석하였다. 그 결과 강우이동형태에 따라 첨두유량이 변화함을 알 수 있었으며, 가상의 이동강우 및 레이더 강우가 하류에서 상류로의 이동보다 상류에서 하류로 이동하는 특성이 유역출구에서의 첨두유량이 크고 지체시간을 지속시킴을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 강우이동 특성을 고려할 수 있는 레이더 강우를 이용함으로써 홍수 유출특성의 변화 정도에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 준분포형 모형, ArcGIS, HEC-geoHMS, 강우이동, 레이더강우

1. 서론

지구 온난화에 따른 한반도의 기후변화로 인하여 기상이변이 발생하고 있으며 이에 따른 자연재해 발생빈도 증가 및 피해 규모는 증가하고 있는 추세로 나타나고 있다. 이는 단순히 평균기온 상승만이 아니라 이에 따른 온도, 바람, 적설 그리고 강수량의 변화를 의미한다. 이로 인하여 최근 빈발하는 집중호우와 같은 자연재해는 생명과 재산에 직접적인 피해를 입히게 된다. 따라서, 강우와 유역의 특성을 반영하여 실시간으로 정량적인 홍수량을 산정하는 방법은 홍수예·경보 및 유역의 이·치수 계획수립 등의 수자원 계획과

* 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : civil.engineer@hanmail.net)
** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : soojuny@empal.com) - 발표자
*** 정회원 · 노아솔루션(주) 기술연구소 개발팀장 공학박사 (E-mail : hydrojdw@noaa.co.kr)
**** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 정교수 공학박사 (E-mail : sookim@inha.ac.kr)
***** 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : stynrehero@naver.com)

관리에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 이러한 강우-유출의 관계를 표현할 수 있는 모형은 집중형 모형에서 최근에는 (준)분포형 모형을 이용한 강우-유출 해석이 이루어지고 있지만, 이에 적용되는 강우자료는 점 강우량을 유역 내 평균강우량으로 산정하는 것이 일반적이다. 그러나, 실제 유역에서 강우의 분포는 다양한 이동속도와 방향을 가지고 있어 유역 내 평균강우량이 발생한다고 가정하기에는 어려운 상황이 많다. 강우이동에 관한 연구는 Maksimov(1964)에 의하여 처음 이루어졌으며, Marcus(1968)가 이동강우에 대한 실험적 연구를 한 이후 이동강우가 유출에 미치는 영향은 많은 연구가 이루어져 왔다(한건연 등, 2004). 국내에서는 최계운 등(2000)이 GIS를 이용하여 유역내 이동강우에 의한 유출특성을 연구하였고, 한건연 등(2004)은 단순화한 모형유역에서 임의속도의 4가지 강우분포형을 이동시켜 유출해석을 하였으며, 박재현 등(2009)은 Vflo를 이용하여 강우의 방향성에 따른 유출양상의 변화를 모의하였다. 하지만, 지금까지의 연구들은 지점강우를 공간분포시켜 강우이동에 따른 유출모의가 대부분이었다.

본 연구에서는 임의로 생성한 이동특성을 가진 중앙집중형태의 분포형 강우와 실제 강우의 이동특성을 나타낼 수 있는 레이더 강우시계열 자료를 각각 다른 4방향으로 공간분포 시켜 이에 따른 유역출구에서 첨두유량 및 발생시간의 변화를 준분포모형을 이용하여 모의하고 비교·분석 하였다.

2. Modified Clark 모형

Modified Clark 모형의 개념은 Clark의 개념적인 강우-유출 모형에서 사용하고 있는 기본 원리를 기초로 하여 공간적으로 분포된 강우자료의 모의 기능을 추가한 것이다. Modified Clark 모형에서 직접유출은 유수의 전이와 저류로 크게 나누어진다. 유수의 전이효과는 유역전반으로부터 유역출구까지 유수의 도달시간과 관련되어 있으며, 저류효과는 유역의 자연적인 저류에 의한 지체현상으로 설명될 수 있다.

Modified Clark의 방법론은 강우의 공간 분포 자료를 조절하기 위해 Clark의 단위 수문곡선을 적용한다. 각각의 DEM 셀로부터 유역 유출구로의 이동 거리는 GIS 처리과정을 통하여 결정되었다. Modified Clark 모형의 적용을 위해 필요한 유역의 격자 자료는 각각의 격자면적과 해당 격자로부터 유역출구까지의 이동거리이다. 유역출구까지의 도달시간은 각각의 격자마다 고유하게 설명되며, 해당격자로부터 유역출구까지의 이동거리에 비례한다.

3. 대상 유역 및 강우 자료

섬진강 유역은 한반도의 남해안 중서부에 위치하고 있는 우리나라 5대강 유역의 하나로서 섬진강 하구 지점의 유역면적은 4,911.89 km², 유로연장은 223.86 km, 유역평균폭은 21.94 km, 형상계수는 0.1이고, 유역형태는 수지상이며, 평균고도는 EL. 301.60 m이다. 토지이용현황은 경지면적이 867.55 km², 임야면적이 3,231.05 km², 대지면적이 61.17 km², 기타면적이 752.13 km²로서 전체 유역면적 4,911.89 km² 중 약 65.8 %가 산지로 구성되어져 있다.

준분포 모형인 Modified Clark에 적용을 위해 ArcGIS를 이용하여 섬진강 유역의 1:25,000의 수치지형도를 유역과 하천형상을 가깝게 구현한 30m×30m 격자로 생성하여 물리적 매개변수인 초과우량이 유역의 최원점에서 유역출구까지 이동하는데 걸리는 도달시간 T_c 와 유역의 자연적인 저류효과를 나타내는 저류상수 K 를 산정하고, 정밀토양도와 토지피복도를 레이더 강우 격자와 동일한 크기인 1km×1km로 분할하여 CN 계수를 산정한 후 섬진강 유역에 적용하였다.

홍수유출 모의를 위한 중앙집중형태의 분포형 이동강우는 이동특성에 따라 전체 소유역의 유출에 영향을 줄 수 있는 등간격 14km의 반지름 70km 크기에 해당하는 강우를 임의 생성하였으며, 레이더 강우는 원시자료의 오차를 극복하기 위해서 지상강우를 이용하여 보정된 2009년 7월 12일 22시부터 2009년 7월 15일 08시까지의 1km×1km 진도 기상레이더 자료를 이용하였다.

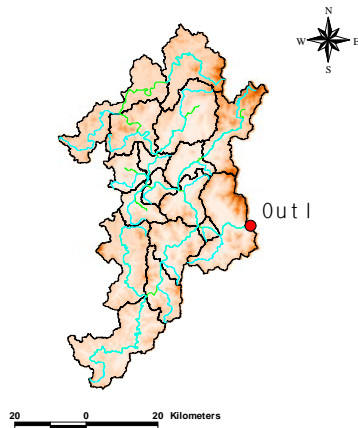


그림 1. 섬진강 소유역 분할도



그림 2. HEC-GeoHMS의 모형 구성도

4. 적용 및 분석

4.1 레이더 강우의 이동특성 적용

2009년 7월 12일부터 2009년 7월 15일까지의 섬진강 유역 및 인접한 남원의 6개 지점의 기상관측소 일 최대풍향을 검토한 바 일최대풍향으로 남서풍이 우세한 것으로 검토되었다. 따라서, 분포형 이동강우와 실제 레이더 강우 자료가 평균적으로 남서방향에서부터 이동된다고 보며, 이동 방향에 직각된 나머지 3방향인 북서, 북동, 남동방향에서 이동되는 강우를 유역 중심점을 기준으로 ArcGIS를 이용하여 공간분포 하였다.

실제 레이더 강우를 원래 이동특성에 따라 서로 수직된 4방향성을 그림 4와 같이 적용하고, 임의로 생성한 분포형 이동강우를 그림 3과 같은 형태로 레이더 강우와 같은 방향성을 적용한 결과 북서 및 북동방향에서 이동하는 강우특성은 상류측 소유역들을 중심으로 하천 상류에서 하류 방향으로 강우가 이동하고, 남동방향에서 이동하는 강우특성은 상류측 일부 및 유역출구점의 소유역을 중심으로 하천 하류에서 상류 방향으로 강우가 이동하고, 남서방향에서 이동하는 강우특성은 유역출구점에 가까운 소유역을 중심으로 하천 상류에서 하류방향으로 강우가 이동하는 형태를 보이고 있다.

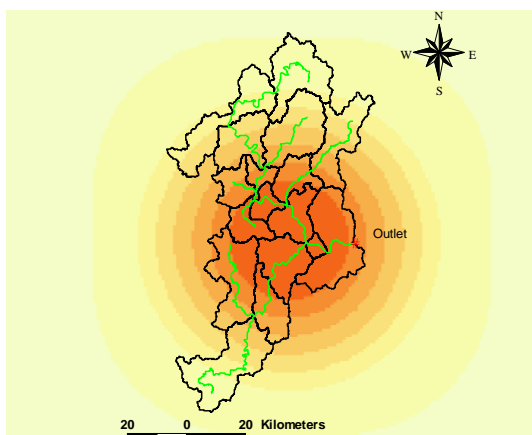


그림 3. 임의 생성한 강우의 분포특성

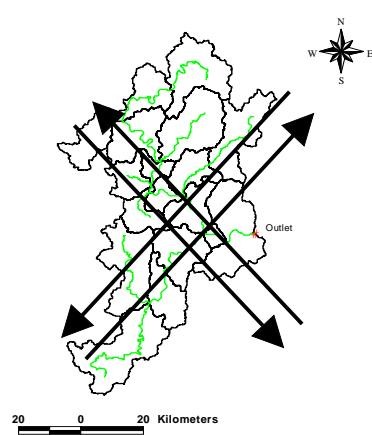


그림 4. 강우의 이동특성

4.2 유출량 산정 및 비교 검토

2009년 7월 11일 22시부터 2009년 7월 15일 08시의 남서풍에 의해 이동하는 레이더 강우를 이용하여 유출모의를 실시한 후 송정 수위관측소의 관측값으로 매개변수 최적화를 실시하여 이를 보정한 후 분포형 이동강우와 다른 세 방향의 강우이동 특성을 부여한 레이더 강우를 적용하여 유출변화량을 그림 5과 그림 6과 같이 산정하고 비교 검토하였다. 북서, 북동 방향은 하천흐름 방향으로 분포형 강우 및 레이더 강우가 이동함에 따라 하도구간 내 유입량이 유출량보다 커져 강우에 따른 침투유량이 크게 발생하는 형태를 나타냈으나, 남동, 남서 방향은 유역출구를 중심으로 강우가 이동하면서 초기 강우발생시부터 유출이 발생되기에 유출수문곡선의 상승시각이 빨라지고, 곡선형태도 완만한 형태를 보였으며, 북서, 북동에 비해 침투유량이 상대적으로 작게 산정되었다.

그림 6은 레이더 강우의 경우 하천 흐름방향으로 강우이동 특성을 보인 남서와 달리 하류에서 상류측으로 강우이동특성을 보인 남동의 경우 강우가 발생과 동시에 유역출구에서 유출이 이루어지기 때문에 침투유량이 남서보다 작게 산정되었으나, 그림 5는 유출모의기간동안 일정한 강우 사상을 나타내는 분포형 이동강우가 영향을 미치는 유역의 면적 및 길이가 남서보다 남동이 상대적으로 크고, 동서방향은 주암댐 하류하천에 강우발생과 동시에 초기유출에 영향을 미치나 동남방향은 섬진강댐 하류하천에 지속적인 영향을 주기 때문에 실제 레이더 강우에 의한 침투유량과 달리 남동방향의 침투유량이 크게 산정되었다.

다음의 표 1은 가상의 분포형 강우와 레이더 강우를 이용한 송정수위표 지점에서 침투유량 및 유출용량을 나타낸 것이다. 표 1과 같이 각각의 강우형태별 총 유출용량은 차이가 적으나 침투유량에서는 강우이동에 따라 큰 차이를 나타냈다. 이는 북서와 북동방향의 경우 남서와 남동방향과 달리 강우이동 방향과 유출흐름 방향이 같아 강우가 지속적으로 유출에 영향을 미치기 때문에 하도구간 내 유입량이 유출량보다 커지게 되어 유역 출구에서 침투유량이 크게 산정되고 유출 및 지체가 지속되는 것으로 분석되었다.

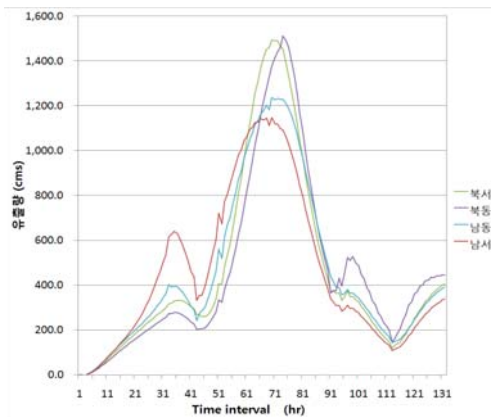


그림 5. 임의 생성한 분포형 이동강우에 의한 유출수문곡선

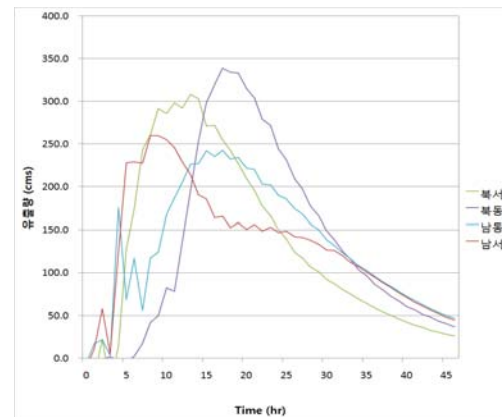


그림 6. 송정 수위표 지점의 유출수문곡선

표 1. 송정 수위표 지점의 침투유량 및 유출용량

레이더 강우 이동특성	강우자료	침투유량 (cms)	침투유량 차 (cms)	총 유출용량 (m ³)	총 유출용량 차 (m ³)
북서	가상 강우	1,495.26	348.78	219,499.77	111.19
	레이더 강우	308.31	48.2	22,467.26	-33.04
북동	가상 강우	1,512.57	366.09	219,569.55	180.97
	레이더 강우	338.88	78.77	22,486.54	-13.76
남동	가상 강우	1,236.60	90.12	219,476.52	87.94
	레이더 강우	242.89	-17.22	22,503.13	2.83
남서	가상 강우	1,146.48	-	219,388.58	-
	레이더 강우	260.11	-	22,500.30	-

5. 결론

본 연구에서는 준분포모형인 Modified Clark 방법을 이용하여 격자로 구성된 섬진강 유역에 임의로 생성한 가상 이동강우 및 레이더 강우를 각기 다른 4방향으로 공간분포 및 이동시켜 유역출구에서 홍수유출 모의를 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 섬진강 유역에서 가상의 분포형 이동강우와 레이더 강우의 이동특성에 따른 홍수유출 모의결과 강우의 이동특성은 시간에 따른 유역 내 침투유량과 지체시간에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2. 분포형 이동강우와 레이더 강우에 의한 유출모의 결과 각각의 강우형태별 총 유출용량은 차이가 적으나 침투유량에서는 강우가 하류에서 상류로 이동하는 남동과 유역출구에 가까운 소유역에 강우가 발생하는 남서보다 상류측 소유역에서부터 강우가 발생하여 하류로 이동하는 북서, 북동의 경우가 강우이동 방향과 유출흐름 방향이 같아 유역 출구에서 침투유량이 크게 산정되었다. 이를 통하여 강우의 이동특성이 유출에 크게 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

3. 본 연구와 같이 여름철 장마전선, 집중호우, 태풍 등 다양한 강우의 이동특성이 있는 우리나라에서 본 연구의 결과는 홍수시 홍수에·경보를 위한 홍수량 예측 및 산정에 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 물산업 핵심분야 연구개발비 지원사업의 일환으로 수행되었습니다(No. KIEW2008-0003). 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. HEC (1996), ModClark Model Development for the Muskingum River Basin, OH, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
2. 최계운, 강희경, 박용섭 (2000), GIS를 활용한 유역내 이동강우에 의한 유출모의, 한국수자원학회논문집, 제33권, 제6호, pp.793-804
3. 안상진, 윤석환 (2005), ModClark 모형을 이용한 유출해석, 한국수자원학회논문집, 제38권, 제3호, pp.245-257
4. 박진혁, 강부식, 이근상 (2008), 레이더강우를 이용한 GIS기반의 분포형모형 적용성 분석, 한국지형공간정보학회지, 제16권, 제1호, pp.22-32
5. 박재현, 함계운, 장대정, 윤석민, 최춘기, 이진호 (2009), 강우 이동방향을 고려한 유출특성, 제35회 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집, pp.16
6. 이정기, 김연수, 김형수 (2009), Modified Clark 모형을 이용한 충주댐 유역의 대표 매개변수 추정, 제35회 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집, pp.6