

GIS와 HEC-HMS를 연계한 댐 유입량 예측

김광일¹⁾, 이연길²⁾, 박성천³⁾, 이관수⁴⁾

1. 서론

댐의 최적운명을 위해서는 댐 유입량의 정확한 판단과 예측으로 치수와 이수를 동시에 고려하여 홍수조절을 해야하며 효과적으로 홍수를 방지하면서 홍수기 이후의 용수공급을 위해 충분한 양의 저수량을 확보하여야 한다. 그러나 댐 유입량의 정확한 예측과 산정 없이는 현실적으로 어려운 일이다. 본 연구에서는 다목적 댐의 효율적인 물 관리를 위해서 강우-유출모형과 지리정보시스템을 연계하여 유입량을 예측하여 보았다. 본 연구의 대상유역은 전남 순천시 대광리에 위치한 주암 다목적댐 유역이며, 주암 다목적댐은 전남 보성의 제암산이 발원지로서 하류로 93km 떨어진 섬진강의 제 1지류인 보성강에 축조되었으며 3개 시·군(순천시, 보성군, 화순군)에 걸쳐 있고, 유역면적이 $1,023\text{km}^2$, 저수용량 4억 5천 7백만 m^3 , 홍수조절용량은 6천만 m^3 에 해당한다. 강우에 의한 유출을 해석하는데 적용되는 많은 강우-유출모형들은 유역의 특성을 나타내는 유역인자와 수문인자들을 필요로 하기 때문에 실제 적용상의 어려움을 내포하고 있다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 해소하기 위해서 강우-유출모형과 지리정보시스템을 연계하였다. 본 연구에서 생성한 지리정보로는 불규칙삼각망도(TIN), 수치고도도(DEM), 유역경계도, 소유역분할도, 강우관측소 위치도, 수위관측소 위치도, Thiessen 망도, 토양도, 토지피복도, 하천망도, Curve Number도, 유출고도 등의 수치치도를 생성하였다. 또한 본 연구에서는 생성된 지리정보를 중첩분석을 수행하여 유역정보를 얻기 위해서 Avenue 프로그램을 이용하였으며, 모형의 적용성을 검증하기 위해 단위도에 따라 3가지 Model로 구분하여 적용과 검증을 실시하였다.

2. 적용모형의 고찰

본 연구에서는 강우에 의한 유출을 모의하여 유입량을 예측하기 위해서 미공병단 수공학센터(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-HMS(Hydrologic Modeling System)모형을 선정하였다. 본 모형은 기존의 HEC-1모형을 개발시킨 모형으로 강우에 의한 유역의 지표면 유출을 모의하기 위해 강우-유출 현상의 수리-수문학적 과정을 상호 연결하여 유역의 응답을 나타내도록 설계된 모형이다. HEC-HMS 모형은 사용자의 편의를 위한 윈도우 환경을 기반으로 통합 수문해석, 데이터 저장과 관리, 계산결과 출력 등 모형의 사용이 용이하게 구성되어 있다. 본 모형에서는 강우의 손실량을 평가하기 위한 방법으로 초기손실과 일정을 손실방법, SCS곡선에 의한 방법, Green & Ampt 방법 등을 제공하고, 위의 방법으로 산정된 유효우량을 직접 유출량으로 변환하는 방법으로는 ModClak 법, Kinematic Wave 방법, Clark 단위도법, Snyder 단위도법, SCS무차원 단위도법 등을 제공한다. 또한 하도추적방법으로는 Muskingum 방법, 수정 Plus 방법, Muskingum Cunge방법 등을 제공한다. 본 연구에서는 SCS곡선법을 이용하여 유효우량을 산정하였고, Snyder와 SCS무차원, Clark 단위도법을 적용하여 유효강우량으로 인한 직접 유출량을 모의하였다. 또한, 하도추적은 Muskingum 방법을 적용하였다.

- 1) 한국수자원공사 목포권 수도건설단
- 2) 전남대학교 대학원 토목공학과 박사수료
- 3) 동신대학교 토목공학과 부교수
- 4) 전남대학교 토목공학과 교수

3. 대상구역의 지리정보시스템 구축

3.1 대상구역의 입력자료생성

대상구역의 지리정보 시스템을 적용하여 지형인자를 추출하기 위해서는 먼저 DEM 생성이 선행되어야 하는데, 본 연구에서는 대상구역의 DEM 생성에 필요한 기본자료로 1:25,000의 수치등고선도 25개 도엽을 이용하였다. DEM을 효율적으로 생성하기 위해서 각각의 수치등고선도를 Arc/Info에서 위상을 갖는 Coverage로 변환시킨 후에 Map Join과정을 거쳐 하나의 수치등고선도를 생성하였다. Arc/Info에서 생성된 Coverage를 Arc/View에서 다시 Shape file로 변환한 후에 불규칙 삼각망이라 불리는 TIN을 생성하였고, 마지막 단계에서 TIN을 기반으로 하여 대상구역의 DEM(30m×30m)을 생성하였다. 아래의 그림 1~2는 생성된 TIN과 DEM을 나타내며, 그림 3~4는 대상구역의 최종유역경계도와 티센망도를 나타낸다.

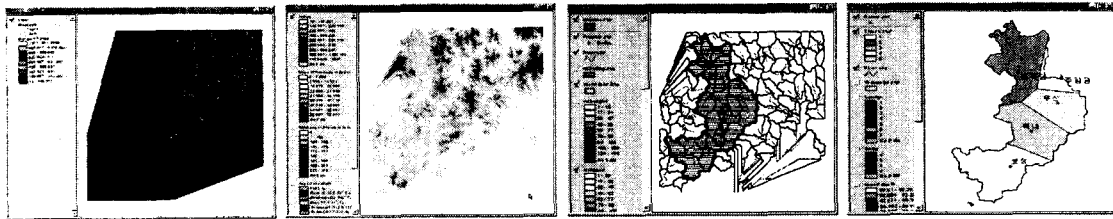


그림 1 불규칙삼각망 자료 그림 2 수치고도모형 생성 그림 3 최종 유역경계도 그림 4 티센망도

3.2 대상구역의 입력자료생성

대상구역의 토지이용현황을 파악하여 수문인자를 추출하기 위해서 기본자료로 Landsat TM 영상과 1:50,000의 개략토양도를 이용하였다. 영상분류(Image Classification)과정을 거쳐 격자형 토지피복도를 생성하는데 Landsat TM 영상자료는 이용되어지며, 1:50,000의 개략토양도는 디지털이징 과정을 거쳐 벡터형태의 토양도를 구축한 후에 토양형태에 따라 A, B, C, D로 분류하여 격자형 토양도를 최종적으로 생성하였다. 본 연구에서는 토지피복도와 토양도로 Grid 중첩분석을 실시하여 Curve Number Map과 Runoff Depth Map을 생성하여 대상구역에 필요한 매개변수를 산정 할 수가 있었다. Landsat TM 영상자료에서 영상분류(Image Classification)를 수행하여 생성된 격자형 토지피복도와 1:50,000의 개략토양도를 디지털이징하여 생성한 토양도는 아직까지는 대상구역의 경계가 형성되어 있지 않아 본 연구에서는 DEM 처리과정에서 생성된 유역경계도를 기준으로 Clipping 과정을 수행하여 최종적으로 유역경계내의 토양도와 토지피복도를 추출할 수가 있었다. 본 연구에서는 영상분류 과정에서 수역, 시가화건조지역, 나지, 습지, 녹지/초지, 산림지역, 농업지역 등 7가지로 토지이용상태를 분류하여 격자형 토지피복도(50m×50m)를 생성하였다. 그 결과 수역은 3.00%, 시가와 건조지역은 0.74%, 나지지역은 0.46%, 습지지역은 0.03%, 노지와 초지지역은 2.90%, 산림지역은 79.01%, 농업지역은 13.87%로 분석되었다. 토지이용상태를 나타내는 격자형 토지피복도와 수문학적 토양군을 그림 5~6에 나타내었고, 그림 7~8은 Curve Number Map과 Runoff Depth Map을 나타낸다. 또한 위의 과정에서 생성된 벡터형 토양도를 A, B, C, D의 수문학적 토양군으로 분류하여 Grid 중첩분석을 실시하기 위해서 격자형 토양도(50m×50m)를 생성하였다.

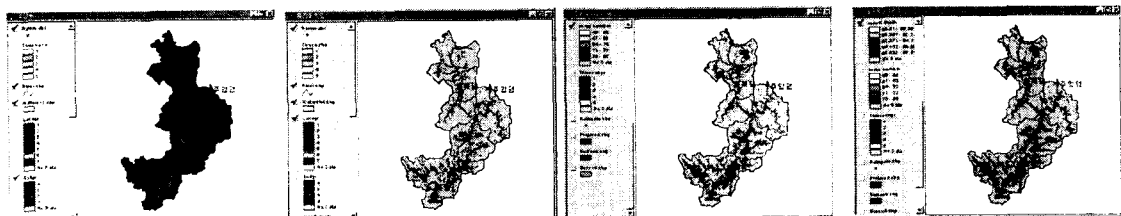


그림 5 수문학적 토양군 그림 6 토지피복 분류도 그림 7 Curve Number Map 그림 8 Runoff Depth Map

표 1 소유역별 매개변수 산정결과

구분		sub1	sub2	sub3	sub4	sub5	sub6	sub7
유역	면적	191.64	81.82	106.39	177.34	173.33	23.82	269.53
	백분율	18.72	8.00	10.39	17.32	16.93	2.33	26.32
최장	길이	27.17	18.5	23.36	29.91	26.17	11.03	41.58
	수로	경사	1.8	2.7	2.2	1.5	2.1	4.4
유역평균 CN값		59.15	55.95	54.75	56.83	57.98	55.05	60.93

4. HEC-HMS 모형의 구성과 적용

4.1 모형의 구성 및 최적화 방법

지리정보 시스템과 연계한 강우-유출모형을 단위도에 따라 Model I, Model II, Model III로 구분하였다. Model I은 지리정보 시스템을 이용하여 생성한 각각의 소유역에 SCS 무차원 단위도를 적용하여 직접유출량을 산정하는 모델에 해당되며, Model II는 Snyder, Model III는 Clark의 단위도를 적용한 모형에 해당된다. HEC-HMS 모형은 매개변수의 최적화를 위해서 HEC-1 목적함수, 잔차자승합 목적함수, 절대잔차합 목적함수, 첨두유량 백분율 오차 목적함수 등의 4가지 종류의 목적함수를 제공하고 있다. 본 연구에서 매개변수를 최적화하기 위하여 이용한 목적함수는 HEC-1 목적함수이며, 이는 식(1)과 같다.

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ob}(t) - Q_s(t))^2 \frac{(Q_{ob}(t) + Q_A)}{2Q_A}}{n}} \quad (1)$$

여기서, Z는 목적함수, $Q_o(t)$ 는 시간 t에서 관측된 유량자료, $Q_s(t)$ 는 시간 t에서 계산된 유량, Q_A 는 평균관측유량, i는 관측 수문곡선의 종거의 개수, n은 목적함수를 계산하기 위하여 사용하는 수문곡선의 종거의 총수이다. HEC-HMS는 목적함수를 찾아가는 탐색방법으로 UGM(Univariate Gradient Method)방법과 N&M(Nelder -Mead Method)방법 등의 두 가지 방법을 제공한다. UGM법은 최적화 되도록 선택된 여러 가지 매개변수 중 하나를 제외한 모든 매개변수를 고정시킨 상태에서 하나의 매개변수를 변화시켜가면서 최적화를 수행하는 방법이다. N&M법은 각각의 반복절차에서 최적화를 위하여 선택된 모든 매개변수들을 변화시키면서 최적화과정을 수행하는 방법이다. N&M법은 UGM법에 비하여 더 많은 계산시간을 필요로 하지만 보다 신뢰성있는 계산을 수행하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 매개변수 최적화 과정을 수행하는 방법으로 N&M법을 이용하여 수문모형의 매개변수를 최적화 하였다.

4.2 유입량 예측결과

본 연구에서 선정한 호우사상을 대상으로 HEC-HMS를 이용하여 강우에 의한 유출을 예측하여 본 결과를 표 2에 나타내었다. Model I의 경우 첨두유량은 741.72cms, Model II의 경우 740.52cms, Model III의 경우 743.1cms로 모의되었다. 첨두오차를 또한 각각의 모형에 대하여 1.928%, 2.090%, 1.751%로 분석되다.

표 2 모델별 모의결과

TYPE I		Model I	Model II	Model III
관측값	첨두유량	756.3	756.3	756.3
	발생시간	2002-7-6 02:00	2002-7-6 02:00	2002-7-6 02:00
모의값	첨두유량	741.72	740.52	743.1
	발생시간	2002-7-6 02:00	2002-7-6 02:00	2002-7-6 02:00
결정계수 (R^2)		0.9952	0.9976	0.9974
첨두유량 오차율(MF)		1.928	2.090	1.751

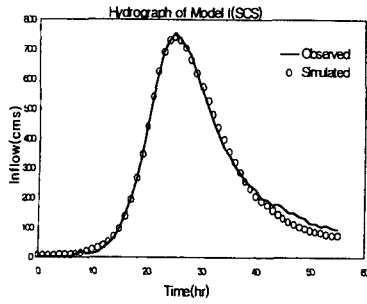


그림 9 관측값과 모의값의 비교
(Model I)

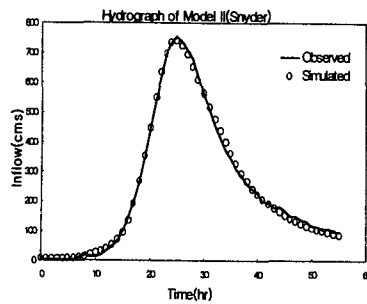


그림 10 관측값과 모의값의 비교
(Model II)

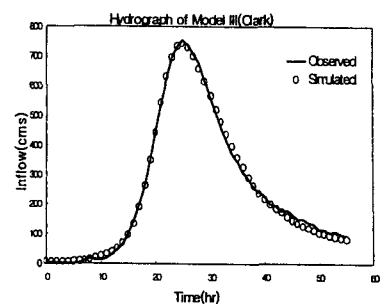


그림 11 관측값과 모의값의 비교
(Model III)

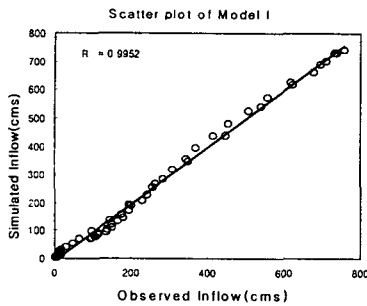


그림 12 관측값과 모의값의 산포도
(Model I)

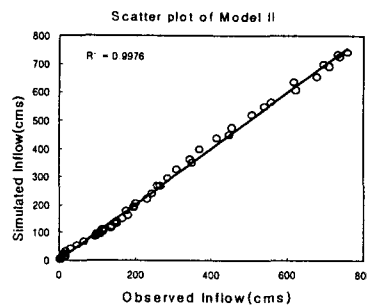


그림 13 관측값과 모의값의 산포도
(Model II)

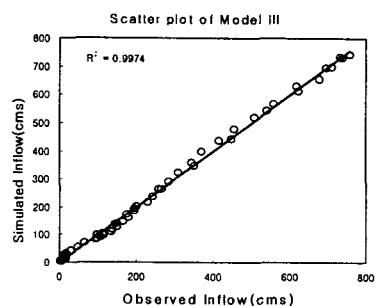


그림 13 관측값과 모의값의 산포도
(Model III)

5. 결론

지리정보 시스템과 연계한 강우-유출모형의 구성을 Model I, Model II, Model III로 구분하여 강우에 따른 유출을 모의한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 본 연구에서 생성한 Avenue 프로그램으로 격자형 토양도와 토지피복도를 중첩분석을 실시하여 보다 효율적으로 소유역별 평균 CN값을 산정 하였다.
2. Model I, Model II, Model III로 구성된 강우-유출모형의 매개변수를 최적화하여 대상유역에 적용한 결과, 결정계수가 0.9952, 0.9976, 0.9974 침투오차율은 1.928%, 2.090%, 1.751%로 분석되었다.
3. Model I, Model II, Model III로 구성된 모형으로 강우에 의한 유출을 모의하여 침투유입량 발생시간을 분석한 결과, 관측된 침투유입량의 발생시간과 일치함을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. 이관수, 박성천, 이연길. 2002. 지리정보시스템과 수문모형 결합에 의한 홍수유출해석. 한국수처리기술연구회. 10(4):61-70.
2. 김중훈, 전환돈, 윤용남, "HEC-1 모형의 대하천 유역에 적용", 대한토목학회지, 제 17권 제 II-1호, pp. 1-11, 1994
3. US Army Corps of Engineers, "HEC-HMS Hydrologic Modeling System User's Manual", 1993