

GIS를 이용한 유역매개변수의 추정 및 유출량 산정

Estimation of Watershed Parameters and Runoff Computation Using GIS

이 임 근* / 안 경 수**
Lee, Im Keun / Ahn, Kyung Soo

Abstract

There exist various difficulties in runoff analysis due to many ungauged basins in Korea and the runoff phenomena is also more and more complicated by the change of geologic characteristics due to the urbanization. So, we use GIS technique which is widely used in hydrologic field and cell runoff concept for the fast and effective runoff simulation. This study uses the observations of 6 stage stations in Wi-Cheon watershed and simulates the watershed parameters by using WMS model. We construct DEM by the grids which are consisted based on the criteria of minimum area according to land use. The cell runoff is estimated by an average weighted method using mean annual streamflow and mean maximum daily streamflow obtained from six stage stations. The runoff ratio at arbitrary site is estimated by conducting the direction analysis of streamflow and by removing sinkhole. We compare the simulated and observed runoffs and know that the simulated runoff shows the valid results. So, we could use the geographical information and cell runoff concept for more fast and effective runoff simulation studies.

keywords : DEM, GIS, cell runoff, Area Weighted Method, sinkhole

요 지

우리나라는 미계측 유역이 많아 유출현상을 분석하는데 어려움을 주고 있으며, 도시화로 인한 지형적 특성의 변화 또한 유출현상 분석을 복잡하게 하고 있다. 이에 본 연구는 최근 수공학 분야에서 보편화되고 있는 GIS(Geographic Information System)와 셀 유출량(cell runoff)을 도입시켜 유출현상을 신속하고 효과적으로 모의할 수 있는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 위천유역의 6개 수위관측지점의 자료를 적용하여 WMS를 통한 유역의 매개변수를 모의하고, 토지이용별 최소면적을 기준으로 격자를 구성하여 수치표고 모델을 구성하였다. 셀 유출량은 6개 수위관측소 지점의 관측자료로부터 획득한 연평균 유량 자료와 일 최대 유량자료의 평균을 적용한 면적 가중법(Area Weighted Method)에 의해 산정되었고, 흐름방향 분석과 함락공 제거를 통해 유역내 임의의 지점에 대한 유출율을 모의하였다. 실측되어진 유출율과 모의된 유출율의 비교 분석결과, 소유역으로 분할한 유량자료를 적용하여 모의한 유출율의 결과가 효과적임을 확인할 수 있었으며, 한 유역에 있어 향후 변화 가능한 지형정보를 예측하여 모의함으로써 이수과 치수 목적에 필요한 유출모의를 신속하고 효과적으로 이루어지게 할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 수치표고모델, GIS, 셀 유출량, 면적 가중법, 함락공

* (주)정도엔지니어링 대리
Assistant manager, Dept of water resource, Jungdo Eng, Donga plaza 502, Kwanyang-Dong, Dongan-Gu, An-Yang
(e-mail: fireaway@naver.com)

** 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
Professor, Dept of Civil & Environmental System Eng. University of Incheon, 177 Dowha-Dong, Nam-gu, Incheon,
402-749, Korea (e-mail: ahn@incheon.ac.kr)

1. 서론

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 많은 노력이 필요하다. 그러나 아직까지 자연현상의 유출관계를 규명하는 것은 상당히 복잡하고 대부분의 하천이 충분한 수문정보가 부족한 것이 현실이다. 우리나라의 중·소하천 또한 수위-유량의 관측이 제대로 이루어지지 않고 있는 미계측 유역이 많아 정확한 유출현상을 규명하기 어려운 상태이며, 이수과 치수에 대한 대책수립 또한 미흡한 실정이다. 최근에는 GIS를 이용하여 미계측 유역에 대한 유출현상을 모의하는 연구들이 많이 이루어지고 있다. 국내에서의 연구를 살펴보면, 김경탁 등(1997)은 GIS와 같은 수치지형모델을 이용하고 있는 WMS(watershed modeling system)를 이용해 홍수유출 해석을 연구하고, GIS를 이용한 강우-유출모형의 개발을 수행하였다. 조홍제와 김정식(1997)은 TIN을 이용해 SCS법으로 유효 강우량 산정에 관한 연구를 하였다.

국외에서의 연구를 살펴보면, Ragan and Jackson (1980)은 위성영상과 SCS모델을 이용하여 수문학적 유출모의를 연구하였고, Tachikawa et al.(1994)은 TIN/DEM 자료를 이용하여 유역의 지형정보시스템 개발에 대한 연구를 하였다. 또한 Vantier and Feldman (1993)은 수문학적 모형에 GIS를 적용하기 위해 수치표고모델 자료를 적용하는 연구를 하였다. 이와 같이 GIS기법은 다양한 지형자료를 저장, 분석, 합성, 도시화할 수 있는 기능을 가지고 있어 공간적인 구성요소를 포함하는 수공학, 수자원분야에 접목되어 많은 학문적 향상을 가져왔다. 그러나 이 분야에 대한 연구시 장기간의 홍

수사상에 대한 강우자료 뿐만 아니라 지형, 식생, 토지 이용 등에 관한 폭넓은 자료의 수집이 요구되어지고 있어 유출량 모의에 다소 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 단기간의 유량자료를 적용한 셀(cell)유출율을 GIS에 접목시켜 유역내의 임의 지점에 대한 유출 모의 결과의 분석을 통해 유출 모의를 신속하면서도 일정수준의 정확도를 가질 수 있는지 여부에 대한 검토를 하여 GIS를 활용한 유출 모의에 대한 적용성을 검증하고자 한다.

2. 홍수유출모의를 위한 GIS 적용 방법

2.1 WMS모형

미 육군공병단(U.S. Army Corps of Engineers)과 Brigham Young 대학의 공학컴퓨터그래픽 연구실에서 개발한 수문모델링 프로그램인 WMS는 수문모델링을 위한 포괄적인 그래픽 사용자 환경을 제공하는 프로그램이다.

WMS는 수치표고자료를 이용하여 형성된 격자형 그리드(Grid)와 불규칙 삼각망으로부터 유역도 및 소유역의 경계선 등을 자동으로 생성하여 주고, HEC-1, TR-20, 합리식(rational method) 및 NFF(National Flood Frequency Program)에 대한 그래픽 사용자 인터페이스를 제공한다. Table 1은 WMS의 모듈별 기능들을 보여주고 있으며 본 연구에서는 TIN(불규칙 삼각망 해석)과 GRID(격자형 그리드해석)을 통한 유역망을 구축하는데 적용하였으며, 소유역별 면적을 산출하여 평균값으로 배수면적을 산출하였다.

Table 1. Modular function of WMS(김경탁, 1998)

Classification	Main function
TIN Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Creation of Irregular TIN ·Small basin and topography characteristic factor of abstraction by TIN analysis
DEM Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Change DEM ·Image output by using DEM ·Offer of interface are linked TOPAZ program ·Abstraction of river network by using GRID analysis ·Separation of small basin and topography characteristic factor
Map Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Digitizing of main topography data(river, boundary etc) ·DXF file change of AutoCad ·Change of image file
Tree Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Interface offer are linked HEC-1, TR-20, 합리식, NFF programs
2D Grid Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Interface offer linked CASC2D Rainfall-runoff model
2D Scatter Point Module	<ul style="list-style-type: none"> ·Scatter form data → Grid data

2.2 지형공간자료의 구축

2.2.1 하천망 및 유역경계의 추출

수치표고자료를 이용하여 유출해석에 필요한 유역경계의 추출 및 지형특성인자를 추출하는 방법으로는 불규칙삼각망(TIN)해석과 격자형 그리드(Grid)를 들 수 있다. 본 연구에서는 불규칙삼각망 해석과 격자형 그리드 해석을 통하여 하천망을 결정하고 유역경계를 자동 추출하였다.

(가) 불규칙삼각망 해석을 통한 유역경계의 결정

WMS를 이용하여 유역의 하천망을 구축하기 위해서는 불규칙삼각망을 구축하여야 하며, 불규칙삼각망을 구성하기 위해서는 유출구 지점(본 연구 유역의 하류 지점인 무성지점)의 상류 측에 해당하는 흐름방향이 결정된 하천레이어, 개략적인 유역의 경계선을 나타내는 유역경계 레이어와 수치고도자료가 필요하다. WMS에서는 수치고도자료를 이용하여 등고선을 디스플레이 할 수 있는 기능을 제공하고 있으므로 이를 이용하면 대략적인 유역 경계선을 간편하게 형성할 수가 있다.

WMS에서의 하천은 일반적인 Arc 성격과는 달리 방향성을 갖는 성격을 가져야만 한다. Arc의 방향성은 디지털화 할 때 하나의 Arc에서 절점(node)의 시작점과 절점의 끝점의 위치에 따라 방향성이 결정된다. 즉, Arc를 형성할 때 절점의 시작점이 하류측이 되고 절점의 끝점은 상류측이 된다. 유역내의 흐름 양상을 계산하기 위해서 하천은 반드시 이러한 방향성에 위배되지 않게 입력되어 있어야 한다. WMS에서 하천레이어를 완성하기 위해서는 각각의 Arc에 대한 방향성을 상류에서 하류방향으로 흐르도록 보정해 주어야 한다. Fig. 1에서 둥근 점은 각 하천 지류의 시작점과 끝점을 나타내는 절점들을 나타내고 있다. Fig. 2는 하천레이어의 절점을 확대하여 나타낸 그림이다.

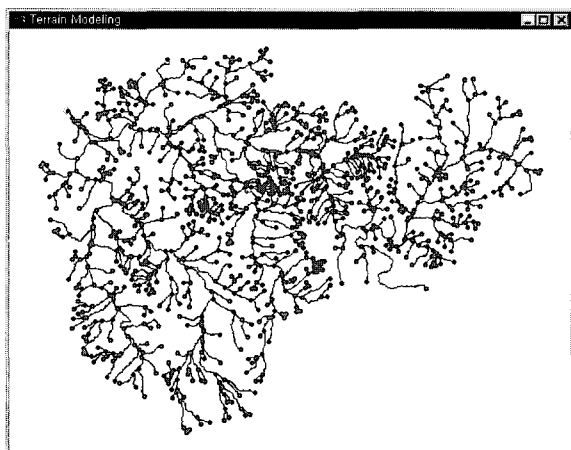


Fig. 1. River layer of Wi-Cheon basin

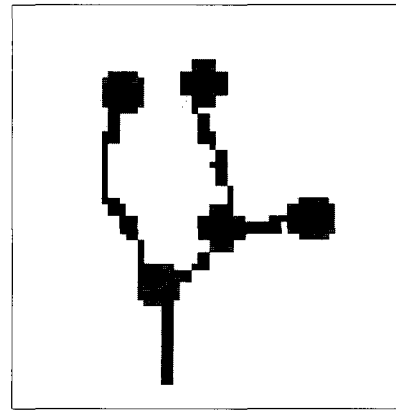


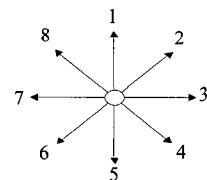
Fig. 2 Expanded river node

(나) 그리드(Grid)해석을 통한 흐름방향 및 하천망의 결정

격자 방식의 수치표고모델 자료로부터 지표면에 대한 수문학적 특성을 추출하는 요소 중 가장 중요한 것은 모든 격자로부터 흐름의 방향을 결정하는 것이다. Mark(1984)는 '꼭면의 한 점과 최하점 사이의 최단거리가 가장 급한 하향선이다'라는 Cauchy 정리를 기초로 하여 수치표고모델에서 유로를 모의해 낼 수 있는 알고리즘을 연구하였다. GIS소프트웨어와 본 연구에서 이용되고 있는 수치표고모델 자료로부터 하천망을 추출하는 가장 보편적인 순서는 Fig. 3과 같다.

10	9	11	12
8	7	6	7
5	4	3	4
5	0	1	5

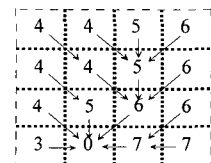
(a) DEM



(b) direction

4	4	5	6
4	4	5	6
4	5	6	6
3	0	7	7

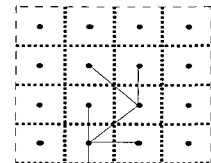
(c) flow direction no. of cell



(d) flow direction

1	1	1	1
1	2	4	1
1	2	8	1
1	16	3	1

(e) flow accumulation



(f) stream network

Fig. 3. Flow direction of Mimetic diagram from grid DEM

3.1 셀 유출률 산정방법

3.2.1 유량자료의 선정

유량 자료는 위천유역의 6개 수위-유량 관측소에서 기록되어진 1990년부터 1999년까지의 10년간의 자료를 사용하였다.

3.2.2 격자의 크기 결정

격자크기의 결정은 토지이용 용도에 의해 결정된다. 이 방법은 소유역별 토지이용분류 법에 의해 먼저 면적을 분할 한 후 분할 면적이 제일 작은 것을 기준으로 하여 유역전체에 적용할 격자의 크기를 결정하는 방법을 사용하였다.

예를 들면, 어떠한 유역에 대하여 분할토지이용별 면적을 산정하였을 때 토지이용별 분류 면적 중 가장 작은 면적이 격자크기를 결정 하는 기준면적이 된다. 만약 그 면적이 400m²(20m×20m)이라면, 이 면적을 정사 변형으로 가정 하여 한 변의 길이는 20m가 되게 된다. 격자의 구성방법은 이 정사변형을 Fig. 4와 같이 1/4로 균등분할 하는 10m×10m의 크기로 4개의 격자로 구성 되게 된다(Anonymous, 1990). 따라서 이때 구성되는 한 개 격자의 한 변의 길이는 1/2인 10m이 된다.

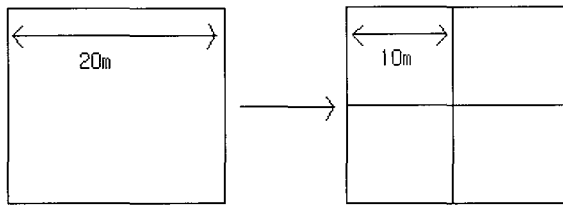


Fig. 4. Decision of grid size

3.2.3 셀유출율의 결정

셀 유출율(cell runoff ratio)은 유출량(flow rate)을 계산하기 위해서 사용되는 전 유역에 구성된 각각의 격자에 동일하게 부여된 가상의 유량을 말하며 셀 유출율의 결정은 면적 가중법을 적용하여 연평균 유량과 일 최대 유량에 대한 셀 유출율을 산정하였다. 셀 유출율을 구하는 관계식과 결정하는 과정은 다음과 같다.

$$Q_c = \frac{x_1y_1 + x_2y_2 + \dots + x_ny_n}{y_1 + y_2 + \dots + y_n} \quad (1)$$

여기서 x_n = 유량 자료(m³/day)

y_n = 배수면적(km²)

Q_c = 셀 유출율(mm)

연평균 셀 유출율 계산은 유역 내 설치되어 있는 6개 수위관측지점에서 측정되어진 연 유량자료를 사용하여 각 관측지점에서의 연평균 유량을 구한다. 산정된 연평균 유량을 면적 가중법을 적용하여 전체유역에 대한 연평균 셀 유출율을 결정하게 된다. 일 최대 셀 유출율은 유역 내 설치되어 있는 6개 수위관측지점에서 측정되어진 일 최대 유량 자료를 사용하여 각 관측지점에서의 일 최대 유량을 구한다. 산정된 일 최대 유량을 면적 가중법을 적용하여 전체유역에 대한 일 최대 셀 유출율을 산정한다.

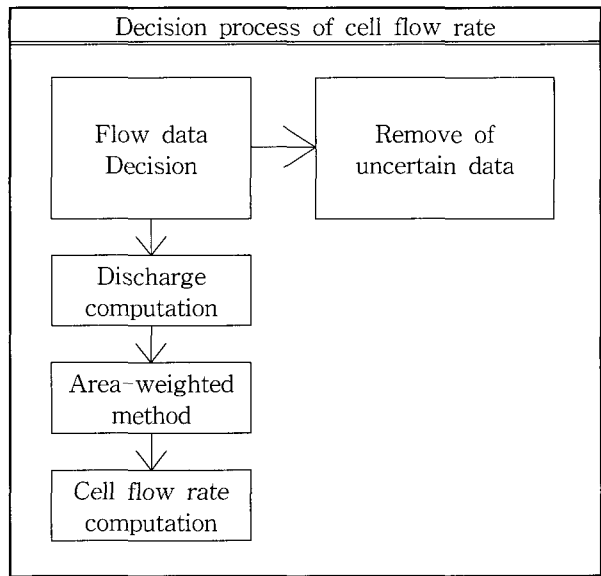


Fig. 5. Cell flow rate of Mimetic diagram

3. 셀유출량 산정을 통한 홍수유출 모의

3.1 대상유역 및 자료현황

3.1.1 대상유역

본 연구의 대상유역인 낙동강 수계의 위천유역은 수문자료의 관측기간이 길고, 관리가 비교적 양호한 유역으로써 국제수문개발계획(IHP)에 의해 선정된 대표유역을 연구대상 유역으로 선정하였다.

위천유역의 유량 및 수위관측소는 Table 2와 같으며 이 유역의 면적은 472km²로써 경상북도 군위군을 중심으로 하여 의성군, 구미시, 칠곡군, 대구광역시, 영천군 및 청송군으로 둘러싸여 있다. Table 2는 각 수위관측소의 좌표 값을 나타내고 있다.

3.1.2 유량자료

유량 자료는 위천유역의 6개 수위-유량 관측소에서 기록되어진 1990년부터 1999년까지의 10년간의 자료를 사용하여 분석을 실시하였다.

Table 2. Coordinates for stage stations of Wi-Cheon basin

Stage station	Longitude	Latitude	Coordinates of TM	
Moo-seung	128 34 00.0	36 11 28.0	160762.5349	299343.3585
Hyo-ryoung	128 35 12.5	36 09 08.0	162555.5033	295020.2795
Byoung-cheon	128 35 18.0	36 10 26.0	162703.2572	297423.8279
Mi-seong	128 40 28.3	36 10 43.5	170459.8289	297933.5421
Go-ro	128 45 24.8	36 07 24.8	177853.7094	291787.2800
Dong-gok	128 49 27.9	36 09 29.7	183939.9814	295623.6653

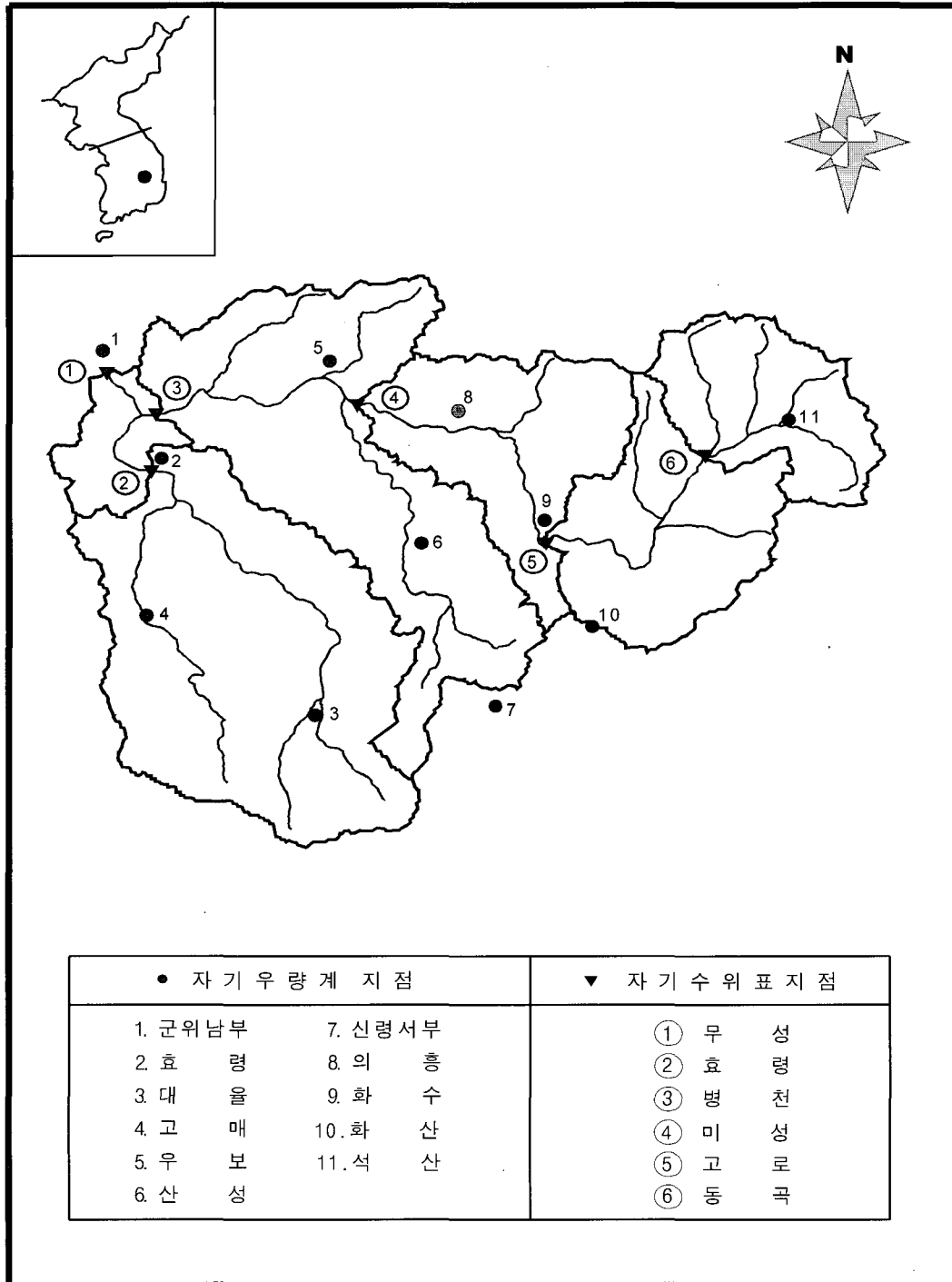


Fig. 6. Wi-Cheon basin and six stage stations

Table 3. Minimum area according to Land Use Classification of Wi-Cheon basin

Land Use Classification	Forest	Orchard	Rice Field	Bunch	Urban	Others
Area(m ²)	12,591,495	6,300	9,000	3,512,658	1,800	1,625,514
Proportion(%)	66	0.014	0.02	18	0.004	8

3.2 셀 유출률 산정

3.2.1 격자 크기의 결정

격자크기의 결정은 토지이용도에 따라 결정하였다. 일반적으로 우리나라는 산지가 많고 경사가 급한 지형을 이루고 있기 때문에 격자의 크기가 작을수록 보다 정밀한 값을 나타내게 된다. 따라서 본 연구에서는 소유역별 토지이용분류에 따라 면적을 분할하여 전체유역에 대한 격자를 결정하는 방법을 채택하였다.

Table 3은 ArcView를 이용하여 위천유역의 토지이용분류 항목을 나타낸 표로서 토지이용도 별 면적을 살펴보면 도시 지역이 1,800m²(42.43×42.43)로 용도별 면적 중 최소면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 도시지역의 1,800m²가 격자크기를 결정하는 최소면적이 되며, Fig. 7은 격자크기의 결정과정을 보여주고 있다.

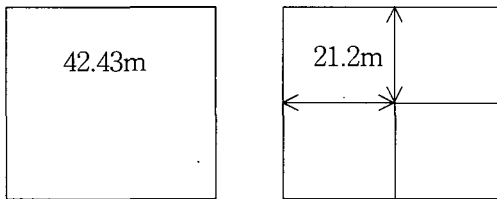


Fig. 7. Decision of grid size

Fig. 7에서 보는 바와 같이 격자는 그 크기가 실제 유역의 토지이용도 최소면적의 1/4이 되게 구성되므로, 따라서 격자의 한 변의 길이는 최소면적 1800m²(42.43×42.43)의 한 변의 길이 42.43×1/4에 해당되는 한 변의 길이가 21.2m로 되는 격자의 크기로 결정된다. 따라서 격자망 구성을 위한 격자의 한 변의 크기를 자

연수에 해당되는 20.00m로 결정하여 사용토록 하였다. 격자의 크기 20.00m×20.00m은 보통 2km×2km의 격자크기를 사용하는 USGS 수치표고모델 지도와 비교하면 격자의 크기가 아주 작다.

3.2.2 셀 유출율의 결정

가) 면적별 비교

셀 유출율의 산정은 면적가중법을 적용하였다. 관측 지점에 대한 소유역별 분할면적은 셀 유출 산정시 유출량 자료와 함께 중요한 인자가 된다. 따라서 면적상에 발생하는 오차를 줄이기 위해서 불규칙삼각망 해석시 추출된 유역의 면적과 그리드 해석시 추출된 유역의 면적에 대한 평균값을 산정하였다. Table 4는 수위관측소별 유역면적을 계산한 결과이다. 면적 계산결과 두 가지 방법에서의 해석시 추출된 유역면적은 그 차이가 크지 않았다.

나) 셀 유출율의 산정

유역 내에서의 유출량을 산정하기 위해서 연평균 유출량과 일최대 유출량에 대한 셀 유출율을 결정하여야 한다. 유량 자료는 평균 유량 자료를 적용하여 셀 유출율을 결정하였다. 그 결과 연 평균 유량 자료를 적용하여 산정된 셀 유출율은 1620mm이었다. 일 최대 유량 자료를 적용하여 산정된 셀 유출율은 235mm였다. 이 결과는 Tables 5 and 6에 나타내었다.

3.3 홍수유출 모의

3.3.1 DEM의 구성

우선 유역의 수치표고모델을 생성하기 위해 수치지

Table 4. Comparison of sub-basin area by using scatter TIN and Grid (단위:km²)

Method \ Station	Moo-seoung	Hyo-ryoung	Byoung-cheon	Mi-seoung	Go-ro	Dong-Gok
Scatter TIN	19.59	150.20	130.70	63.31	62.57	46.72
Grid	18.85	150.24	131.14	62.44	62.39	46.75
Average	19.22	150.22	130.92	62.88	62.48	46.73

* 참고문헌 : Chia-Yii Yu (2001), THE INTEGRATION OF THE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM(GIS) AND THE SCIENTIFIC VISUALIZATION SYSTEM (SVIS) FOR THE SIMULATION OF THE WATER RUNOFF IN A WATERSHED, Michigan State University.

Table 5. Mean annual cell flow rate for Wi-Cheon basin and sub-basin

Station	Drainage area(km ²)	Cell flow rate(sub-basin) (mm)	Cell flow rate (Wi-Cheon) (mm)
Moo-seung	19.22	2675.09	1620
Byoung-cheon	130.92	2191.32	
Mi-seong	62.88	1161.7	
Go-ro	62.48	968.71	
Dong-Gok	46.73	183.02	
Hyo-ryoung	150.22	1896.95	

Table 6. Maximum daily cell flow rate for Wi-Cheon basin and sub-basin

Station	Drainage area(km ²)	Cell flow rate(sub-basin) (mm)	Cell flow rate (Wi-Cheon) (mm)
Moo-seung	19.22	392.19	235
Byoung-cheon	130.92	172.01	
Mi-seong	62.88	55.30	
Go-ro	62.48	137.35	
Dong-Gok	46.73	20.51	
Hyo-ryoung	150.22	454.03	

도는 1:25,000을 사용하였고, 수치지도상에 비정규적으로 배열되어 있는 표고(Z)값들을 활용하여 20m×20m 격자(Grid)를 가지는 수치표고모델을 구축하였다. Fig. 8은 위천유역의 수치표고모델을 그래픽화하여 나타낸 것이다.

Fig. 8을 보면 유역내의 각 점들은 가장 작은 높이인

98.30m부터 가장 높은 높이인 1177.3m의 고유한 표고(Z)값을 가지고 있으며, 대부분 표고가 높은 지역은 수치표고모델상에서 동쪽방향과 남서쪽에 밀집해 있고 유출이 표고가 높은 이곳으로부터 시작되어 북쪽방향으로 진행된다.

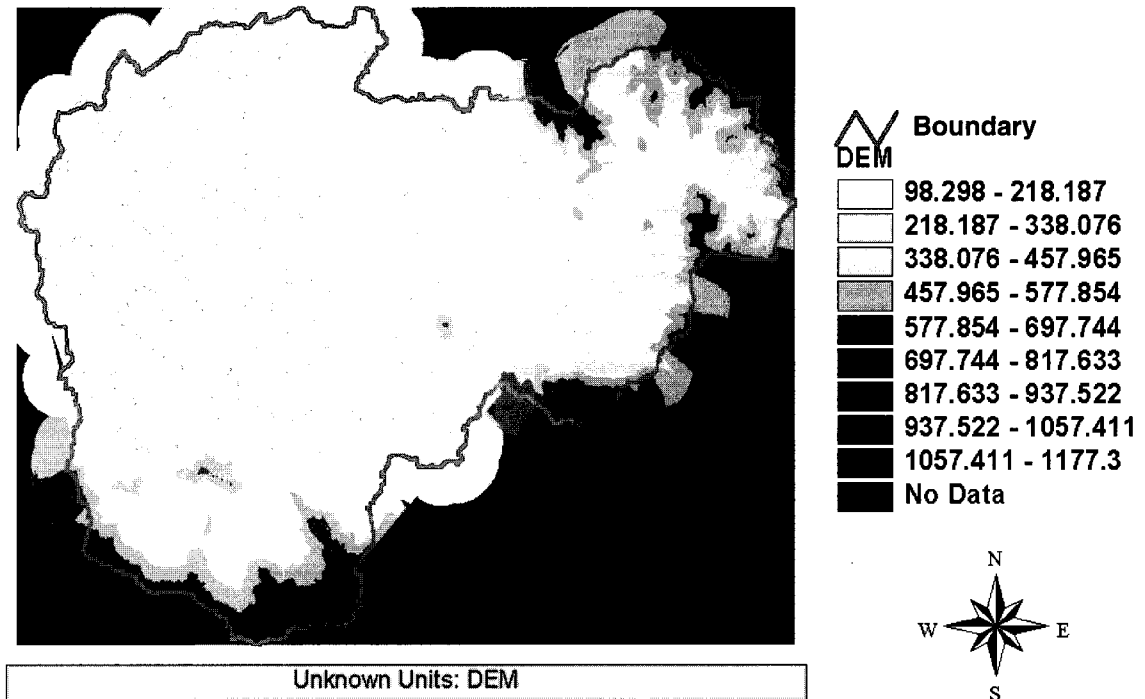


Fig. 8. DEM of Wi-Cheon basin

Table 7. River length according to grid size(sub-basin) (단위:km)

Classification Size	Moo-seoung	Byoung-cheon	Mi-seoung	Go-ro	Dong-Gok	Hyo-ryoung
5m×5m	44.585	42.428	31.205	19.945	9.098	21.068
10m×10m	44.147	41.809	30.883	19.719	8.979	20.809
20m×20m	43.753	41.297	30.411	19.412	8.852	20.610
30m×30m	43.449	40.989	30.197	19.209	8.743	20.426
50m×50m	43.110	40.569	29.893	19.008	8.615	20.159
80m×80m	42.711	40.202	29.495	18.761	8.470	19.870
100m×100m	42.520	39.950	29.314	18.613	8.379	19.722
150m×150m	42.160	39.529	28.886	18.351	8.287	19.521

3.3.2 격자 크기별 유로연장

분할된 각 소유역에 대하여 강우-유출해석시 가장 큰 영향을 미친다고 판단되는 지형인자는 유로장이다. Table 7은 1:25000의 수치지도를 가지고 격자의 크기별로 산정한 유로장을 보여주고 있다.

Table 7을 살펴보면 격자의 크기가 커질수록 유로장이 짧아지며, 유로장이 짧아질수록 배수면적이 작아져서 유출량이 적게 산정되는 것으로 나타나 있다. 이는 격자크기가 유출량과 밀접한 관계가 있음을 보여준다. 따라서 GIS를 이용하여 구한 지형인자 즉, 유로장을 강우-유출해석에 필요한 입력자료로 사용할 경우에는 격자크기가 유출에 영향을 미치게 되므로 강우유출해석에 격자의 크기에 따른 유로장의 관계를 반드시 고려하여 적절한 격자의 크기를 정하여야 할 것으로 판단된다.

3.3.3 경사에 관한 인자

Fig. 9는 수치표고모델 자료로부터 추출해낸 위천유

역의 경사도를 구하여 나타낸 그림이다.

경사를 계산할 때 사용된 관계식은 주위를 둘러싸고 있는 8개의 인접 셀과 함께 (2)식을 사용하여 계산하였다.

$$S = \frac{X}{Z} \times 100 \tag{2}$$

여기서, S : 경사도(%)

X : 인접한 셀과의 표고차(m)

Z : 인접한 셀중심간의 거리(m)

셀 중심 간의 수평거리는 20m로 같으며 대각선방향으로의 거리는 28.28m이다. 이와 같은 관계식에 의해 계산되어진 각 점들은 0~87%의 범위를 가지고 분포해 있으며 동쪽지역과 남서쪽지역에 걸쳐 30°이상의 급한 경사가 밀집해 있음을 알 수 있다. Fig. 10은 Fig. 9의 위천유역 경사도를 3차원화 시킨 음영기복도이다.

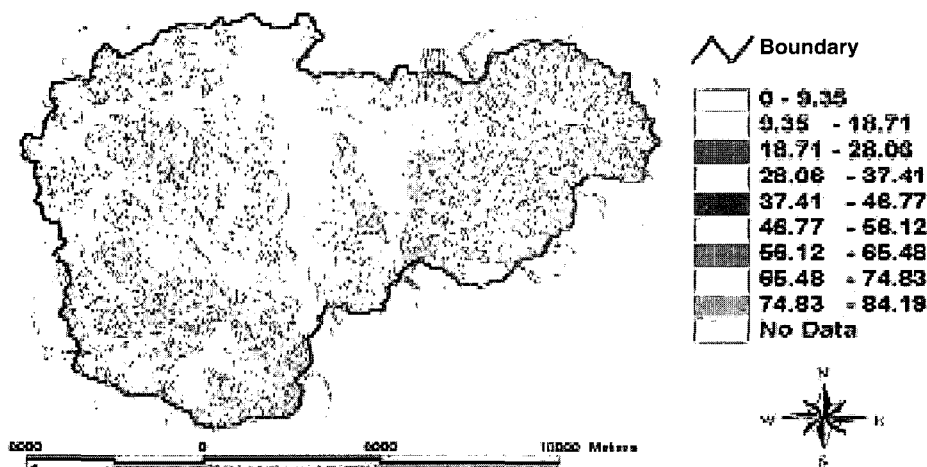


Fig. 9. Slope map of Wi-Cheon basin

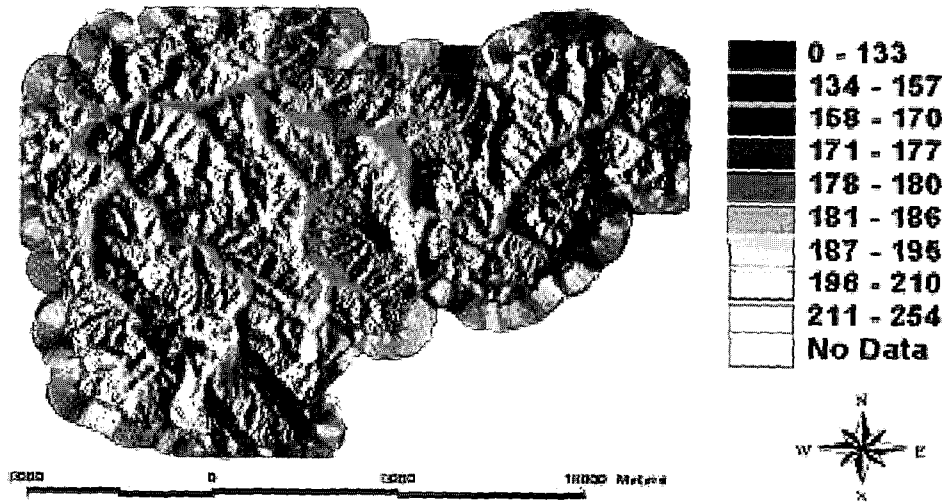


Fig. 10. Shadow map of Wi-Cheon basin

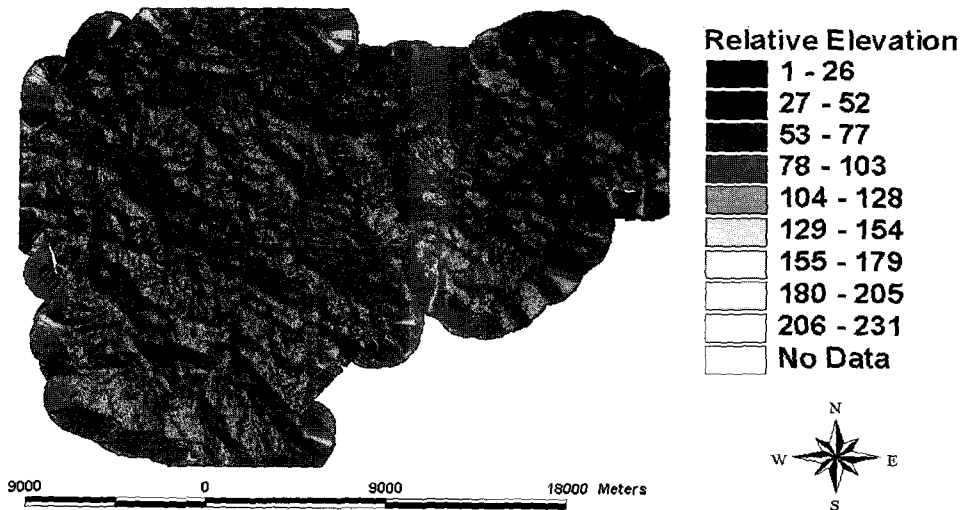


Fig. 11. Relative elevation map of Wi-Cheon basin

Fig. 10은 태양이 동쪽에 위치해 있을 때 유역의 음영기복도를 나타낸 것이며, 지형을 개략적인 모식화에 의해 나타낸 그림이다. Fig. 10의 음영기복도상에 나타난 수치들은 각 표고 위치에서의 조도값을 나타내고 있다.

앞에서 얻어진 Fig. 8의 수치표고모델과 Fig. 9의 유역경사도를 사용하여 이 연구에서 다음 사항들이 분석하여 연구에 사용 하였다

- (1) 상대표고에 의한 흐름방향(flow directions)분석
- (2) 함락공(sinkhole)분석
- (3) 토지이용 인자에 관한 분석
- (4) 유출량(Flow Rate)의 산정

3.3.4 상대표고에 의한 흐름방향 분석

상대표고도(Relative Elevation Map)는 인접한 셀들 간의 높이차를 산정함으로써 각 셀마다의 고유한 표고(Z)값을 부여하여 중력법칙에 의해 유출의 시작점에서부터 출구 점까지 이르는 동안 가장 낮은 표고를 가지는 셀들, 즉 인접한 셀들 중에 가장 낮은 Z값을 가지는 한 방향으로만 유출이 발생하도록 하여 흐름방향(Flow Direction)을 분석하였다. Fig. 11은 각 셀들의 표고차(Z)값에 의해 생성된 위천유역의 상대표고도이다.

Fig. 11은 각 셀들이 가지는 고유의 표고(Z)값이 가장 낮은 높이인 1부터 가장 높은 높이인 231 범위의 상대표고도이다. 만일 두 인접한 셀들 간의 경사도가 같

다면 이웃한 셀들로의 유출은 같아지며, 또한 서로 다른 경사도를 가지게 된다면 중력법칙에 따라 가장 낮은 표고를 가지는 이웃한 셀로 유출이 일어나게 된다 (Greenlee, 1987). 만일 중앙에 위치한 셀이 이웃한 8개의 셀들보다 낮은 표고(Z)값을 가지고 있다면 흐름방향은 이 중앙의 셀로 집중되게 된다. 이와 같이 흐름방향이 중앙 셀로 집중되는 지역을 함락공(Sinkhole)이라 부르며, 함락공은 일반적인 유출양상을 변화시키는 인자이기 때문에 유출해석시 반드시 제거되어 저야 한다.

3.3.5 함락공 분석

함락공(Sinkhole)은 중앙에 위치한 셀이 그 이웃에 위치한 셀들보다 낮은 표고를 가질 때 발생하게 되는데 수문지 정보를 추출하기 전에 반드시 제거되어야 한다. 따라서 이러한 함락공이 존재하는 경우에는 유출은 중앙의 낮은 셀로 모여들게 되며 이렇게 되면 더 이상의 유출이 일어나지 않게 되어 흐름의 방향이 변경되어져 부정확한 수문정보가 수집될 뿐 아니라 유역 경계선의 자동 분할시 독립적인 하나의 유역이 실제 유역 경계면내에 발생할 수도 있다. 이러한 부분은 빙하 또는 카르스트 지역에서 자연적으로 나타나며 우리나라와 같이 지형 굴곡이 심한 지역에서도 자주 나타난다. 본 연구의 대상지역인 위천유역에서는 총 9083개의 함락공이 셀 단위로 발생되었다. 그러나 함락공제거를 위해 이 연구에서는 셀 단위로 함락공을 조사한 후 각 위치에 고유의 번호를 붙여 1부터 9083까지의 숫자를 부여하였

다. 그리고 함락공의 제거 시에는 흐름분석을 위한 Fig. 11의 상대표고도에서 9083개의 함락공이 0이 될 때까지 반복 작업에 의해 상대표고도를 재구축토록 하였다. Fig. 12는 위천유역내에서 발생된 함락공의 위치를 나타낸 그림이다.

3.3.6 경사와 토지 이용에 따른 인자

유출시 발생하는 속도는 토지이용 상태에 따라 증가 또는 감소하게 된다. 이러한 속도는 일반적으로 단기간에 발생하는 많은 양의 강우, 유출, 급한 경사, 토지이용상태, 지하수의 지질학적 상태에 따라 영향을 받게 된다. 이러한 유출수의 속도로부터 발생하는 동적에너지는 토사유출, 물의 저장 감소, 수질 악화 등과 같은 인자에 영향을 미치는 다른 침식인자들을 유도하는 원천이 된다. 따라서 이와 같은 영향 때문에 유역 내에서 유출에 대한 속도를 고려하는 것이 필요하다.

산악경사가 유역에서의 흐름방향, 축적, 유로장, 그리고 유출속도에 영향을 미치며, 토지이용 상태 또한 유출속도에 영향을 주게 된다. 따라서 산비탈의 토사를 보존하는 공사를 설계하고 실행하는 데 있어서 유출속도는 토사침식의 원천이 되는 주요한 요소가 되는 입력 자료이다.

산비탈에서 농작물을 경작하기 위해서, 유출의 물리적 특성과 토지이용 형태 사이의 관계들은 토사침식과 수질악화를 감소시키기 위해서 고려되어야 한다. Fig. 12는 30%보다 작거나 큰 지세의 경사를 나타내

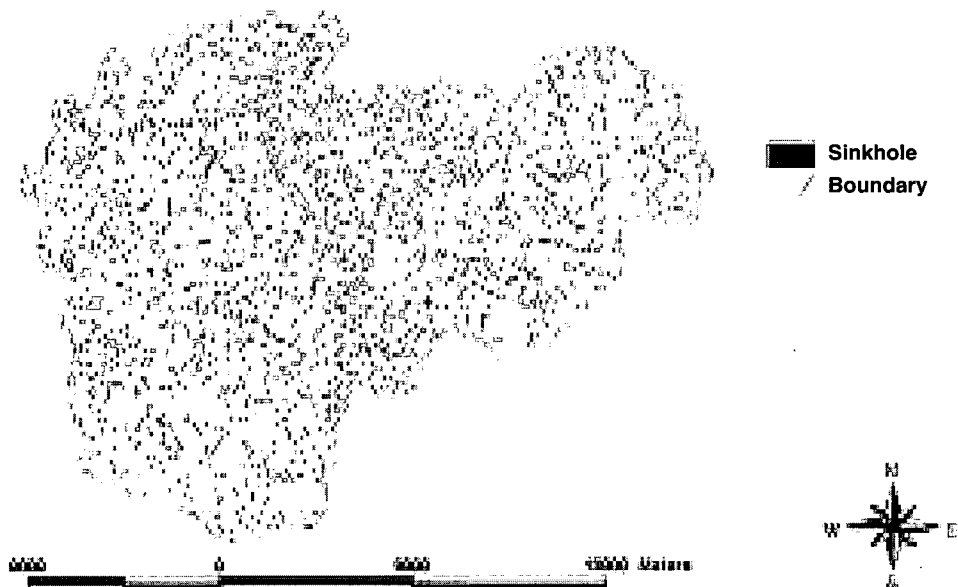


Fig. 12. Sinkhole of Wi-Cheon basin

고 있다. 경사가 30%보다 작은 경우 이때의 유출의 속도는 1.5m/sec보다 작아야 한다. 경사가 30%보다 클 경우에는 농업지역으로서 사용할 수가 없으며, 토지이용과 경사의 관계에 있어서 고려되어야 하는 하나의 기준(Anonymous, 1990)이 되기 때문에 농업지역으로 사용하기 위해서는 경사와 속도에 대한 대책이 필요하다. Fig. 13은 경사 30%를 기준으로 재배열한 것이다.

3.4 결과 고찰

셀에 축적되어 지는 모의 유출량은 Eq. (3)에 의하여 계산되어 진다.

$$Q = A \times C \times Q_c \quad (3)$$

여기서 Q : 모의 유출량(m³/year)

A : 셀의 면적(m²)

C : 저류되는 셀의 총 개수

Q_c : 셀 유출율(mm)

셀의 면적은 400m²(20×20)이다. 셀의 개수는 Fig. 11의 상대표고도에서 "Identify" 도구를 사용하여 병천 유역과 무성유역에 있어서 유로를 따라 저류되어지는 유효 셀 개수를 계산하였으며 계산에 사용되어진 총 유효 셀의 개수는 병천 유역은 327,302개, 무성유역은 47,963개로 산정 되었다. 병천 유역과 무성유역의 모의 유출량 산정은 연평균 유출량과, 일 최대 유출량으로 나누

어 다음과 같은 계산방법으로 산정하였다.

(1) 연평균 셀 유출율을 적용한 모의 유출량(병천 유역)
전체유역에 대한 연평균 셀 유출율은 1,620mm이다.
따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 327,302 \times 1,620\text{mm} = 212,091,696\text{m}^3/\text{year}$$

병천 유역에 대한 연평균 셀 유출율은 2191mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 327,302 \times 2,191\text{mm} = 286,847,472\text{m}^3/\text{year}$$

(2) 일 최대 셀 유출율을 적용한 모의 유출량(병천 유역)
전체유역에 대한 일 최대 셀 유출율은 235mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 327,302 \times 235\text{mm} = 30,766,388\text{m}^3/\text{day}$$

병천 유역에 대한 일 최대 셀 유출율은 172mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 327,302 \times 172\text{mm} = 22,518,377\text{m}^3/\text{day}$$

(3) 연평균 셀 유출율을 적용한 모의 유출량(무성유역)
전체유역에 대한 연평균 셀 유출율은 1,620mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 47,963 \times 1,620\text{mm} = 31,080,024\text{m}^3/\text{year}$$

무성유역에 대한 연평균 셀 유출율은 2675mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 47,963 \times 2,675\text{mm} = 51,320,410\text{m}^3/\text{year}$$

(4) 일 최대 셀 유출율을 적용한 모의 유출량(무성유역)
전체유역에 대한 일 최대 셀 유출율은 235mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 47,963 \times 235\text{mm} = 4,508,522\text{m}^3/\text{day}$$

무성유역에 대한 일 최대 셀 유출율은 392mm이다.

따라서 유출량은

$$(400\text{m}^2) \times 47,963 \times 392\text{mm} = 7,520,598\text{m}^3/\text{day}$$

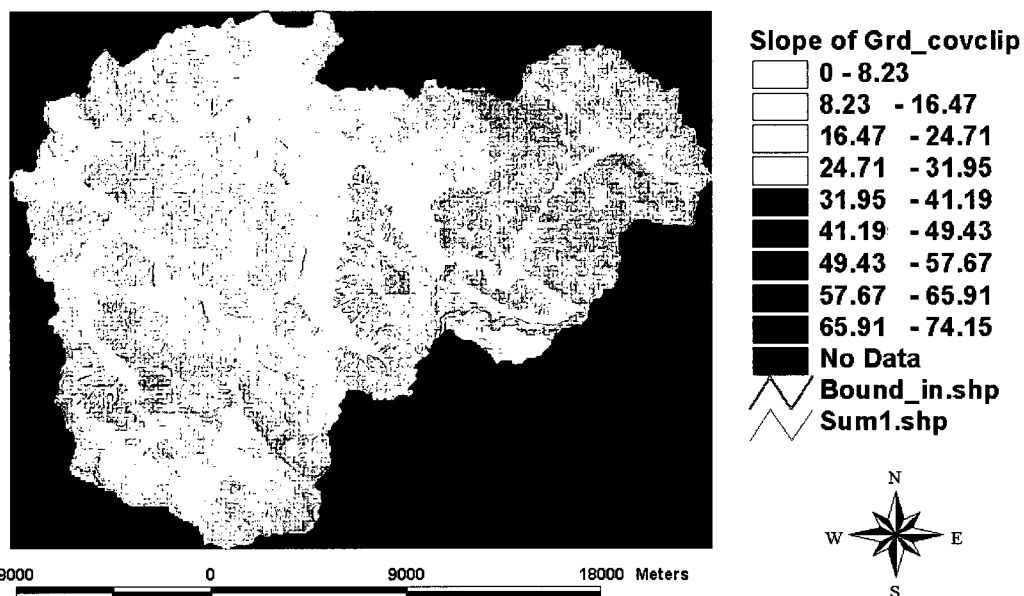


Fig. 13. Slope map of Wi-Cheon (standard 30%)

Table 8. Simulated runoff (Byoung-cheon)

Classification	Runoff
Mean annual cell flow rate(Wi-Cheon basin)	212,091,692m ³ /year
Mean annual cell flow rate(Byoung-cheon)	286,847,472m ³ /year
Maximum daily cell flow rate(Wi-Cheonl basin)	30,766,388m ³ /day
Maximum daily cell flow rate(Byoung-cheon)	22,518,377m ³ /day

Table 9. Simulated runoff (Moo-seoung basin)

Classification	Runoff
Mean annual cell flow rate(Wi-Cheon basin)	31,080,024m ³ /year
Mean annual cell flow rate(Moo-seoung)	51,320,410m ³ /year
Maximum daily cell flow rate(Wi-Cheon basin)	4,508,522m ³ /day
Maximum daily cell flow rate(Moo-seoung)	7,520,598m ³ /day

Table 10. Comparison of simulated and observed runoffs(Mean annual cell flow rate)

Basin	Runoff	Runoff(Wi-Cheon basin)		Error (%)	Runoff(sub-basin)		Error (%)
		Simulated (m ³ /year)	Observed (m ³ /year)		Simulated (m ³ /year)	Observed (m ³ /year)	
Byoung-cheon		212,000,000	295,000,000	40	286,000,000	295,000,000	5
Moo-seoung		31,080,000	45,330,000	45	51,320,000	45,330,000	10

Table 11. Comparison of simulated and observed runoffs(Maximum daily cell flow rate)

Basin	Runoff	Runoff(total)		Error (%)	Runoff(small)		Error (%)
		Simulated (m ³ /year)	Observed (m ³ /year)		Simulated (m ³ /year)	Observed (m ³ /year)	
Byoung-cheon		30,760,000	20,292,600	47	22,500,000	20,292,600	10
Moo-seoung		4,500,000	7,030,000	60	7,520,000	7,030,000	7

3.5 비교 검토

모의 유출량 결과의 검증에 위해 연평균 셀 유출율을 적용하여 구한 모의 유출량 산정 결과와 실제유출량과의 비교한 오차를 비율로 계산하여 Table 10에 나타내었으며 또한 일 최대 셀 유출율을 적용하여 구한 모의 유출량 산정 결과와 실제 유출량을 비교한 오차를 비율로 계산하여 Table 11에 나타내었다.

Table 11을 보면 병천 유역의 경우 전체유역에 대하여 연평균 셀 유출율을 적용하여 구한 모의유출량은 실제 유출량과의 오차 비율이 40%로 산정되었고, 무성유역의 경우에는 45%로 그 오차가 큰 경향을 보였다. 그

러나 소유역별 셀 유출율을 적용하여 모의 유출량을 구한 경우에는 병천 유역이 5%, 무성유역이 10%로 오차가 작았다. 따라서 연평균 유출율을 적용하여 모의유출량을 구하고자 할 때는 소유역별 연평균 셀 유출율을 적용하여 모의유출량을 구하면 우수한 결과를 얻을 수 있을 것이라 사료된다.

Table 11은 일 최대 셀 유출율에 의한 모의 유출량 산정을 전체유역에 적용하여 산정 하였고, 또한 소유역별 최대 일 최대 셀 유출율을 적용하여 모의 유출량을 산정한 결과 실제 유출량과 모의 유출량과의 오차는 먼저 전체유역에 대한 연평균 셀 유출율을 적용한 결과 병천 유역의 경우에는 47%로, 무성유역의 경우에는

60%로 오차값이 크게 나타났다. 그러나 소유역별 일 최대 셀 유출율을 적용한 경우에는 그 오차가 병천 유역의 경우 10%로, 무성유역의 경우에는 7%로 나타나 일 최대 셀 유출율을 적용할 경우에도 소유역별 일 최대 셀 유출율을 적용하여 모의 유출량을 산정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

4. 결론

GIS를 이용한 유출 시뮬레이션 연구를 위해 위천유역을 대상으로 WMS를 이용하여 하천망 구축과 소유역 분할을 실시하고, 토지이용도를 이용하여 격자의 크기를 최적화 한 후, 전체 유역에 대한 셀 유출율과 소유역에 대한 셀 유출율을 산정하기 위해 6개 관측지점(무성, 동곡, 고로, 미성, 병천, 효령)의 유량 자료를 사용하였다. 또한 흐름방향 분석과 함락공 제거를 한 후 6개 수위관측지점 중 병천 유역과 무성유역의 2개 수위 관측지점을 실험 대상유역으로 선정하여 유출량을 모의 분석한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) GIS를 이용한 지형정보 구축을 위해 WMS를 이용하여 하천망을 구축하고, 격자의 크기를 토지 이용별 최소면적에 의해 최적의 격자크기를 결정하였으며, 단기간의 유량자료로써 전체 유역에 대한 셀 유출율과 소유역에 대한 셀 유출율을 산정하여 흐름방향 분석과 함락공 제거 후 수위관측 지점별 유출량 산정을 모의한 결과 전 유역을 소유역으로 분할하여 소유역별 셀 유출율을 적용했을 때 실제 유출량과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 본 연구에서는 단기간의 유량자료로써 전체 유역에 대한 셀 유출율과 소유역에 대한 셀 유출율을 산정한 후 연구대상 분할 유역의 수위관측지점에 대하여 단기간의 관측 유량자료를 사용하여 유출량을 모의한 결과 소유역 분할을 통한 유출량 모의시 실제 유출량과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 현재까지 사용되고 있는 유출량 모의 방법은 여러 가지 적합한 매개변수 산정이 요구되며, 이 매개변수를 산정하기 위해서는 충분한 수문자료와 많은 시간이 소요되나 이 방법에 의해 유출량을 산정한다면 장기간의 유량 관측 자료와 매개변수 산정에 대한 어려움을 다소 해소할 수 있을 것으로 사료된다.
- (3) GIS의 지형정보 구축을 통해 하천유역의 개발

에 따른 지형적 변화를 예측하고, 토지이용별 면적에 의해 격자의 크기를 최적화 한 후, 셀 유출율을 적용한 유출량을 예측하여 관리한다면 유역의 효율적 수자원 관리뿐만 아니라 향후 방재 예방을 위한 자료로도 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

- (4) 본 유역에서 제시한 것처럼 전 유역을 소유역으로 분할하여 소유역별 세 유출율을 적용했을 때 보다 정확한 결과를 얻을 수 있었으나 이와 같은 연구결과가 타유역에 적용시 동일한 결론을 얻을 수 있을지는 검증되지 않았다. 따라서 향후 연구로서 이와 같은 방법론을 입증하기 위해 보다 많은 유역에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2003년도 자체연구비 지원에 의하여 연구(개최되었음).

참고 문헌

- 김경탁 (1998). "GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구, 박사학위논문." 인하대학교
- 김경탁, 김성재, 심명필 (1997). "WMS를 이용한 홍수 유출해석." 97 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 256~261
- 조홍제, 김정식 (1997). "TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구." 한국수자원학회 논문집, 제30권 제4호, 한국수자원학회, pp. 357~366.
- Greenlee, D. D. (1987). Raster and vector processing for scanned linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 10, pp. 1383-1387, October.
- Mark, D. (1984). Automated detection of drainage network from digital elevation models. *Cartographica*, Vol. 21, pp. 168-178
- Ragan, R.M. and Jackson, T.J. (1980). "Runoff synthesis using Landsat SCS model." *Journal of Hydrology. Div.*, ASCE 106,(HY5), pp. 667~678.
- Tachikawa, Y., Shiiba, M., and Takasao, T. (1994). "Development of a Basin Geomorphic Information System Using a TIN-DEM Data Structure." *Water Resources Bull.*, Vol 30, No. 1, pp. 9~17.
- Vantier, B.A., and Feldman, A.D. (1993). "Review of GIS application in hydrologic modeling." *Journal of*

Water Resources Planning and Management, Vol. 119, No. 2, pp. 246~261.

Yu, Chia-Yii (2001). "The Intergration of The Geographical Information System(GIS) and The Scientific Visualization System(SVIS) for The

Simulation of The Water Runoff in a WWatershed." Michigan State University.

(논문번호:06-80/접수:2006.07.26/심사완료:2006.12.6)