

유전자알고리즘을 이용한 도시화 유역에서의 유출 관리 방안 연구

이범희

배재대학교 건설환경·철도공학과

Research of Runoff Management in Urban Area using Genetic Algorithm

Lee, Beum Hee

Dept. of Civil, Env. and Railroad Eng., Paichai University

요 약

최근 급격한 인구증가와 산업화, 도시화로 포장지역의 증가에 따른 불투수지역의 증가로 유역의 유출 특성의 변화를 유발시키고 있다. 도시화 유역의 효율적인 관리를 위해서는 유역에 대한 정확한 지형인자 및 수문관련 인자들이 추출되어야 함에 따라 본 연구에서는 지리정보체계와 유전자알고리즘의 결합을 통하여 입력정보의 정확성을 향상시키고, 매개변수를 추정하였다. 이러한 목적에 따라 본 연구에서는 전형적인 한국의 도시화하천으로서 본류와 상류로부터 오전천, 당정천 등의 지류를 지니고 있는 안양천을 연구대상으로 선정하여 유출량 해석에 XP-SWMM을 적용하였고, 이의 적용과정을 개선하기 위하여 지리정보체계와 유전자 알고리즘을 적용하였다. XP-SWMM 매개변수들의 민감도 분석을 통하여 도시 유출의 거동특성을 조사하였으며, 이를 바탕으로 매개변수들의 개선규칙을 설정하였고 이러한 규칙 및 사실등을 통하여 유전자 알고리즘을 구성하였다. GIS를 이용하여 지형도로로부터 각각의 소유역에 대하여 면적, 경사도, 유역폭 등 수문정보를 얻었고, 토지이용도와 토양도로로부터 불투수비, 토지이용상태, 침투능에 대한 정보를 얻었다. 도시유출 모형인 XP-SWMM을 선택하여 모의 후 민감도 분석을 통해 선정된 매개변수에 대하여 보정은 자동보정으로 무작위 탐색법의 일종인 유전자알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 사용하여 매개변수들을 추정하였고, 이의 적용성을 확인하였다.

주요어

지리정보체계, 유전자 알고리즘, 안양천유역, XP-SWMM

ABSTRACT

Recently, runoff characteristics of urban area are changing because of the increase of impervious area by rapidly increasing of population and industrialization, urbanization. It needs to extract the accurate topologic and hydrologic parameters of watershed in order to manage water resource efficiently. Thus, this study developed more precise input data and more improved parameter estimating procedures using GIS(Geographic Information System) and GA(Genetic Algorithm). For these purposes, XP-SWMM (EXPERT-Storm Water Management Model) was used to simulate the urban runoff. The model was applied to An-Yang stream basin that is a typical Korean urban stream basin with several tributaries. The rules for parameter estimation were composed and applied based on quantity parameters that are investigated through the sensitivity analysis. GA algorithm is composed of these rules and facts. The conditions of urban flows are simulated using the rainfall-runoff data of the study area. The data of area, slope, width of each subcatchment and length, slope of each stream reach were acquired from topographic maps, and imperviousness rate, land use types, infiltration capacities of each subcatchment from land use maps, soil maps using GIS. Also we gave the management scheme of urbanization runoff using XP-SWMM. The parameters are estimated by GA from sensitivity analysis which is performed to analyze the runoff parameters.

Key words

GIS(Geographic Information System), Genetic Algorithm, XP-SWMM, An-Yang Stream Basin

1. 서 론

우리나라는 1950년대 이후 산업의 급속한 발달로 인

구의 도시집중화가 진행되면서 도시기반의 시설확충 및 주택과 상가 등의 시설물이 늘어나 도심외곽으로의 팽창은 물론 도시유역 하천하류부에까지 부족한 택지와

상가 등 여러 시설물의 건설이 급격히 이루어지게 되었다. 1960~70년대를 거치면서 현재에 이르기까지 지속적으로 진행된 도시화 및 산업화로 인한 도시환경의 변화양상을 보면 도심에서부터 시가지의 확산과 그 주변 지역의 각종 사회간접자본 개발사업 등으로 인해 도시화되기 이전 지표면이 갖고 있었던 보수 및 우수기능 등이 줄어들었다. 이렇게 급속한 도시화 경향은 그 지역의 여러 수문조건의 변화, 즉 도로포장율의 증대 및 복잡한 하수관로체계의 구축, 공업단지 및 거주 지역, 상업지역 등으로 구분되어 발달해 가는 지역별 활동내용의 복잡화 외에도 인구증가, 산업시설의 증가 등으로 도시유역 내 하수관거를 통해 하천으로 유입되는 홍수유출량이 이전보다 증대되고 유역 출구점까지의 도달시간은 오히려 단축됨으로써 첨두유출량이 증가하게 되었다. 더욱이 최근 인구의 급격한 도시집중에 따라 택지 및 시설부지의 절대부족으로 이전의 경우 하천범람구역이나 홍수우려가 있는 범람원내의 저지대에까지 주택, 건물 기타 도로시설 등이 건설됨으로써 치수면에서의 안전도가 상대적으로 저하되고 있는 실정이다.

강우-유출모의에서 모형의 입력 매개변수로 사용되는 수문학적 지형인자의 산정은 모의과정에서 매우 중요한 일이며 이는 DEM(Digital Elevation Model)으로부터 GIS기법을 이용한다면 매우 효과적으로 추출될 수 있다. 특히 강우-유출모의를 위하여 정확한 지형정보의 추출은 필수적이라 할 수 있다.

이러한 모의는 복잡한 수문현상을 분석하고 조합하여 현상에 따른 결과를 예측할 수 있게 해주지만 모형의 결과는 항상 정확한 것이 아니어서 모형의 가정, 입력자료 그리고 매개변수(Parameter)를 대상유역에 올바르게 적용될 경우에만 그 결과가 신뢰성을 인정받을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도시화에 따른 수문현상의 변화를 파악하고 적용하기 위하여 대상유역에 대한 각종 정보들을 지형 및 공간과 관련하여 해석하고, 이들의 관계로부터 도시화가 진행되고 있는 대상유역의 발생 유출의 문제들을 효율적으로 관리하기 위하여 모의 모형과의 결합 및 실제 지역에 대한 관리방안을 제시하고자하였다.

본 연구에서는 도시화 유역의 유출을 분석, 관리하기 위해 GIS를 활용하여 지형인자들을 추출하고, 이를 도시화 유출모의 모형에 적용하였으며, 모의 모형의 신뢰도를 구축하기 위해 매개변수의 추정방법을 개선하여 대상유역의 현상을 보다 유사하게 나타낼 수 있도록 하였다.

즉, GIS Software 중 ArcView를 이용하여 대상 유역의 수문자료를 추출하고 강우-유출 모형의 적용을 위한 각종 입력자료들을 생성하였으며, 강우-유출 모형인 XP-SWMM을 이용하여 도시화 유역 유출을 해석하고자 하였다. 모형의 보정은 자동보정으로 무작위 탐색법의 일종인 유전자알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 적용해 매개변수들을 결정하고 모형을 구성하였다.

2. 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm, GA)

일반적으로 모형 매개변수의 정확한 추정은 가장 어렵고도 중요한 문제이며, 이러한 매개변수의 추정과정은 오랜 기간을 통하여 시행착오법, 최적화 알고리즘에 의한 자동산정법, 1차 오차분석법 등과 같은 다양한 형태의 방법들이 제시되어왔다. 이러한 연구와 더불어 인간의 지적인 능력을 모방하는 시스템의 개발에 많은 관심을 가져 왔으며 이를 다양한 분야로의 적용이 시도되었다. 그 중에서 GA는 많은 최적화 문제에 적용되었는데 매개변수추정과 관망시스템 설계에 적용된 예를 살펴보면 다음과 같다.

Wang(1991)은 Xinanjiang 강우-유출모형을 Oklahoma 인근의 Bird Creek유역에 적용하였는데 Xinanjiang 강우-유출모형은 모두 7개의 매개변수들로 구성되어 있는 모형으로서 각각의 매개변수들은 관측된 유량과 모형으로부터 계산된 유량의 차이의 제곱의 합이 최소가 되도록 GA를 이용하여 보정하였다. 10개의 다른 매개변수 집합들의 초기치를 일정범위 내에서 무작위적으로 추출하여 각각 5000회의 진화(Evolution)를 거친 후, 잔차의 제곱의 합이 각 초기치마다 실제적으로는 무시할 수 있을 만큼의 차이를 보이는 것을 보여주었는데 이로부터 GA가 초기치의 영향을 거의 받지 않는 것과 GA가 전체 최대나 전체 최소에 도달하는데 효과적인 방법으로 사용될 수 있음을 입증하였다.

Liong(1995)은 도심지역에서의 강우-유출모형으로 주로 사용되는 SWMM 모형을 Singapore의 Upper Bukit Timah 유역에 적용하고 SWMM 모형의 8개의 매개변수를 GA를 사용하여 보정하였다. 사용한 목적함수는 Wang(1991)이 사용한 계산유량과 관측유량의 차이의 제곱의 합을 최소로 하는 것을 사용하였으며 이를 평균한 값을 구하여 제 4의 홍수수상에 대하여 사용함으로써 검증(Verification)하였다. 보정된 매개변수를 사용하여 검증한 결과 관측값과 계산값이 거의 유사하였

고 이로부터 GA를 이용한 매개변수의 보정이 타당함을 알 수 있었다. 국내 여러연구에서도 매개변수 추정에 GA기법의 적용이 활발해지고 있는 실정이다.

3. GIS 모형의 선정

많은 프로그램들이 GIS 기술수요에 부응하여 개발되어 왔으며 수공학분야에서 전세계적으로 널리 응용되고 있는 GIS S/W로는 ESRI사의 Arc/Info, ArcView와 미국육군공병단 건설공학연구소(Construction Engineering Research Laboratory)의 GRASS를 들 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 현재 세계적으로 널리 사용되어 많은 사용자를 보유하고 있으며, 각 S/W상호간의 변환과정이 다양하고 손쉽게 구할 수 있고 가격이 비교적 저렴한 ESRI사의 상업용 프로그램인 ArcView를 사용하여 작업을 실시하였다.

4. 모형의 적용

4.1 대상구역의 현황 및 특성

도시화의 진행에 따른 무분별한 개발과정은 산림의 벌채나 농경지의 개발, 고층건물의 건축 및 녹지의 감소, 포장율의 증가 등을 야기 시키고, 이러한 도시화의 영향은 도시홍수 및 상습적인 내수피해 증가, 사면재해, 인구증가로 인한 갈수재해, 지반침하, 도시환경 악화 등 자연재해에 의한 피해 가능성을 증가시키고 있다. 이에

따라 본 연구에서는 도시화로 인하여 발생하는 유출변화를 효율적으로 모의하기 위한 종합적 유출모의 모형의 효율적 적용방안을 제시하고자 하였다.

이러한 목적에 따라 본 연구에서는 전형적인 한국의 도시하천으로서 본류와 상류로부터 오전천, 도림천, 개화천, 목감천, 학의천, 당정천, 산본천, 삼성천, 수암천 등 다수의 지류를 지니고 있는 안양천을 연구대상으로 선정하였다.

안양천은 서울 및 수도권의 젖줄인 한강으로 유입되는 4대지천 중 제1지천으로서 유역의 위치는 서울의 남서쪽으로 동경 126° 47'~127° 04', 북위 37° 18'~37° 33'에 해당되는 지역이며 유하거리 32.2 km, 유역면적 280.52 km²이며, 안양시, 군포시 등을 거쳐 서울의 강서구 양화교에서 한강 본류와 합류하게 된다. 특히 상류로부터 경기도의 7개시(안양시, 의왕시, 군포시, 과천시, 시흥시, 부천시, 광명시)와 하류로는 서울 특별시의 7개구(관악구, 금천구, 동작구, 구로구, 영등포구, 양천구, 강서구)를 포함하고 있는 등 안양천을 중심으로 주변 도시들이 급격히 발전하고 있어 도시 형태의 변화에 따른 수문현상의 변화를 살펴볼 수 있는 좋은 대상으로 선정할 수 있었다.

하천의 형태는 그림 1에 제시된 바와 같으며, 그림 2와 같이 ArcView를 이용하여 소유역 분할을 하였다.

4.2 GIS의 운용을 통한 전처리과정

본 연구의 진행을 위하여 고도자료(DEM), 하천도,



그림 1 안양천유역의 형태.

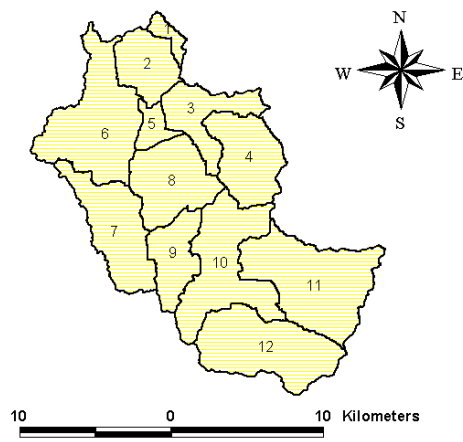


그림 2 안양천유역의 소유역 분할.

토지이용도 및 정밀도양도 등을 필요로 하며, 이를 위해 국립지리원과 환경부, 농촌진흥청에서 각각의 용도에 맞는 자료를 DXF파일로 자료를 획득하여 GIS program 중 ArcView를 이용하여 고도자료(DEM)를 구축, 대상 유역을 소유역으로 분할하였다. 이에 따라 제일 먼저 그림 2와 같이 안양천 유역을 추출하였으며 이에 따른 행정구역별 구분은 그림 3과 같으며, 이들 자료는 표 1에 제시된 바와 같이 전체유역의 면적이 281.16 km²이고, 그중 안양시가 유역의 20.8%인 58.57 km²이며, 의왕시(15.3%), 광명시(14%), 관악구(9.3%)의 순으로 구성할 수 있다.

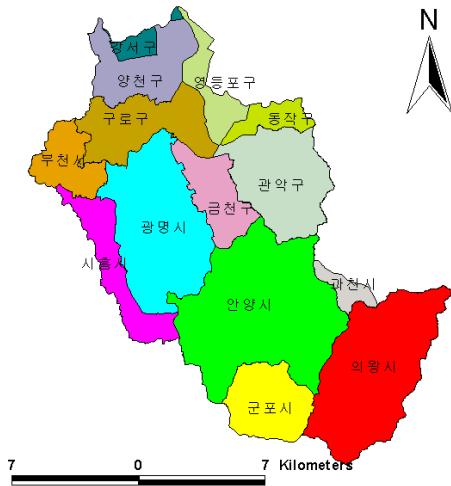


그림 3 안양천 유역의 행정구역.

표 1 행정 구역별 유역 자료.

행정구역명	면적(km ²)	윤변 길이(km)
양천구	16.95	24.6
영등포구	8.73	21.6
강서구	3.30	11.4
구로구	20.29	24.1
동작구	5.98	10.0
부천시	10.95	15.4
관악구	26.16	23.4
광명시	39.40	35.4
금천시	12.88	19.0
시흥시	14.44	27.1
안양시	58.57	38.7
과천시	3.83	11.7
의왕시	43.13	31.1
군포시	16.55	17.3
전유역	281.16	89.9

추출한 안양천 유역을 수위 측정위치 중에 각 하천의 합류점에서 소유역을 구분하였으며 대상유역을 12개로 분할하여 그 분할된 결과를 살펴보았다(그림 2). 하도의 구성은 그림 4와 같이 자동생성 되었고, 이를 통해 유역 분할을 위하여 결정된 각 기준점들을 중심으로 하천의 연결상태를 표시하였다. 각 하도의 시작점과 끝점의 구성 및 고도자료를 얻을 수 있었고, 고도차와 하도의 길이를 계산함으로써 하도의 기울기와 유역의 평균경사를 제시 하였다.

표 2는 소유역의 넓이 및 평균경사를 나타냈으며, 표 3은 하도자료와 하도의 경사를 나타냈다. 표 4는 안양천

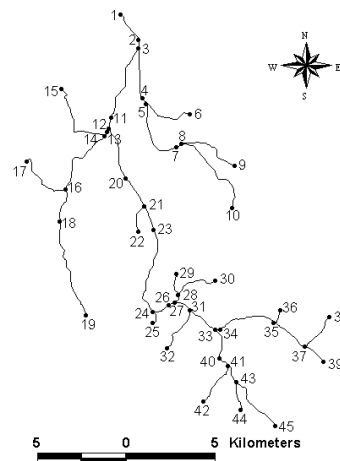


그림 4 안양천 하도 구성도.

표 2 소유역의 면적.

Basin No.	Area (km ²)	유역의 평균경사 (%)
1	3.47	1.80
2	15.42	4.52
3	17.05	6.98
4	22.73	16.36
5	5.29	5.23
6	38.92	7.43
7	26.42	9.17
8	24.75	6.39
9	15.55	6.89
10	35.30	19.58
11	41.58	15.45
12	34.68	12.95
Total	281.16	

표 3 안양천유역 수로 자료.

channel no.	From node	To node	F-node EL.(m)	T-node EL.(m)	Channel length(m)	slope(%)
2	2	1	0.25	0.20	2200	0.0227
3	3	2	0.30	0.25	100	0.0500
4	4	3	0.80	0.30	3054	0.0164
6	6	4	12.00	0.80	3043	0.3680
7	7	4	6.00	0.80	4297	0.1210
9	9	7	32.00	6.00	3781	0.6876
10	10	7	245.00	6.00	5819	4.1072
11	11	3	0.50	0.30	4883	0.0041
12	12	11	0.60	0.50	300	0.0333
13	13	12	1.20	0.60	483	0.1242
18	18	13	4.00	1.20	6140	0.0456
19	19	18	25.50	4.00	6271	0.3428
20	20	12	3.00	1.00	2669	0.0749
23	23	20	6.00	3.00	4899	0.0612
26	26	23	20.00	6.00	5737	0.2440
33	33	26	23.00	20.00	3022	0.0993
34	34	33	24.00	23.00	321	0.3115
39	39	34	54.00	24.00	7181	0.4178
40	40	33	63.00	23.00	1828	2.1882
45	45	40	368.00	63.00	5424	5.6223

유역 중 관찰하고자 하는 유역들의 특성을 나타냈다.

매개변수 추정을 위한 강우사상은 시정개발연구원(1993)과 안양천 유역종합 치수대책 보고서(삼안기술공사, 1983)에 수록된 강우사상 중 표 5의 강우사상을 사용하였고, 모형검증을 위한 강우사상은 표 6의 강우사상을 사용하였다. 안양천의 수위자료도 안양천 유역종합 치수대책 보고서(1983)와 서울시로부터 획득하였으며, 이를 안양천 유역종합 치수대책 보고서에 수록된 수위-유량관계 곡선식을 이용해 유출량을 산정하여 모의 값과 비교하였다. 투수지역에 대한 침투량 모의는 Horton 방법을 사용하였고, XP-SWMM을 사용하여 지표면 유출 및 하도 유출해석을 실시하였다.

5. GA를 사용한 XP-SWMM 모형의 자동보정

5.1 유전자 알고리즘(GA)

GA는 자연선택(Natural Selection)의 과정에 기초한 탐색법으로서 1975년 미시건 대학의 Holland(1975)에 의해서 최초로 개발되었고 Goldberg(1998)에 의해 체계적인 방법으로 구체화되기 시작하여 최적화문제에 적

표 4 유역의 특성 (* : 그림 4의 하도 번호).

대상유역	특성	유출구	면적(km ²)	유역폭(m)	유역경사(%)	불투수 면적(%)	유역특성
6+7번 유역		목감천 하류(13*) (주공철산교)	74.71	9851	15.32	13.46	산지 및 농경지
3+4번 유역		도림천 하류(4*) (도림교)	39.78	20377	36.49	62.52	도시화 지역
11번 유역		학의천 하류(34*) (비산교)	41.58	15463	30.11	19.91	산지 및 농경지
12번 유역		산본천 하류(40*) (전파교)	34.68	10860	26.73	31.28	산지

표 5 매개변수 추정을 위한 강우사상.

대상유역	대상강우	총 강수량(mm)	지속기간(시간)
6+7번 유역	1983. 7.14 07:00 - 7.14 18:00	49.1	12
3+4번 유역	1982. 11.28 20:00 - 11.30 03:00	102.9	32
11번 유역	1982. 7.28 14:00 - 7.29 06:00	110.2	17
12번 유역	1982. 8.20 06:00 - 8.21 05:00	91.6	23

표 6 매개변수 검증을 위한 경우사상.

대상구역	대상강우	총강수량(mm)	지속기간(시간)
6+7번 구역	1983. 7.19 13:00 - 7.20 06:00	78.8	18
3+4번 구역	1983. 7.14 07:00 - 7.14 19:00	50.9	13
11번 구역	1981. 8.25 9:00 - 8.25 23:00	107.8	15
12번 구역	1982. 8.14 08:00 - 8.15 12:00	112.2	29

용되었으며, Wang(1991), Liong(1995), Mohan(1997)에 의해 강우-유출모형을 보정하는데 사용된 바 있다. GA가 기존의 최적화 방법들에 비해서 가지는 특징은 다음과 같다.

첫째, GA는 매개변수 자체가 아니라 매개변수집합(Chromosome)을 대상으로 진행된다.

둘째, GA는 하나의 매개변수집합(Chromosome)이 아니라 일정 수로 구성되는 매개변수 집합군(Population)으로부터 탐색을 시작한다.

셋째, GA는 목적함수의 다른 부가적인 정보를 필요로 하지 않고 목적함수 그 자체를 이용한다.

넷째, GA는 확률론적(Probabilistic)방법을 이용한다.

다섯째, GA는 임의의 보정 반복횟수(Generation)에 도달하면 알고리즘을 끝낸다.

GA가 가지는 이러한 장점들은 경사에 기반한 최적화 방법에서 주로 발생하는 국지 최대(Local Maximum)나 국지 최소(Local Minimum)에 빠지는 문제와 목적함수의 연속 조건 문제를 극복할 수 있게 하며 순수한 무작위 탐색법(Random Search Method)보다 계산시간을 절약할 수 있게 한다. 또한 기존의 방법들이 최초의 매개변수의 설정에 많은 주의를 기울여야 함에 반해 GA는 최초의 매개변수들의 설정에 대한 영향이 적고 그에 따라 전체 최대(Global Maximum)나 전체 최소(Global Minimum)에 도달할 가능성이 그만큼 커지게 된다.

특정문제의 최적화에 있어서 GA를 사용할 경우 기존의 알고리즘을 사용한 것보다 탐색시간이 오래 걸리거나 불만족스러운 최적 값을 계산할 수도 있는데 GA가 기존의 최적화 기법보다 효과적인 경우는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 탐색공간이 큰 경우에는 효과적이다.

둘째, 목적함수의 비선형성이 클수록, 즉 탐색공간에서 여러 개의 정점들이 존재하는 다중 모드인 경우에 효

과적이다.

셋째, 탐색공간 내에서의 전체 최대 전체 최소를 찾아야 하는 경우에 효과적이다.

넷째, 조합최적화(Combinatorial Optimization)의 경우에 효과적이다.

위와 같은 조건이 아닌 경우에는 특히 목적함수의 특성에 따라 구성되는 탐색공간이 단일 모드인 경우에는 GA보다 기존의 경사법(Gradient Method)이 시간상의 절약과 좋은 값을 얻을 수 있고 다중 모드인 경우에도 탐색공간이 작은 경우에는 순수한 무작위 탐색법이 보다 철저한 탐색을 실행할 수 있을 것이다.

5.2 매개변수의 선정 및 범위결정

민감도 분석을 통해 선정된 매개변수는 표 7과 같다. 각 매개변수의 범위는 이범희(1998)의 결과를 참고하였으며 유역의 폭과 불투수유역의 면적, 유역경사는 표 4를 이용하여 좌우측 경계값은 $\pm 50\%$ 의 값을 적용하였다.

5.3 매개변수집합(Chromosome) 길이결정 및 초기 값 설정

GA는 실제의 유전자들이 가지고 있는 정보를 모방하기 위하여 이진법을 사용하는데 본 연구에서도 각각의 매개변수들을 이진법으로 바꾸어 사용함으로써 매개변수가 가지는 정보를 0, 1의 두 가지 숫자를 이용하여 나타내었다. 먼저 결정된 변수들을 각 범위 내에서 이진수로 변환하기 위하여 식 (1)을 이용하여 각 변수들의 길이를 결정하였으며 각 변수들의 자릿수의 합이 64이므로 64자리의 길이를 가지는 매개변수집합을 구성하기로 하였으며 Gen과 Cheng(1997)과 같이 10개의 매개변수집합으로 1개의 매개변수집합군을 구성하였다.

$$2^{m-1} < (b-a) \times 10^k < 2^m - 1 \quad (1)$$

식 (1)에서 a, b는 각 변수들의 좌우측 경계이고, k는 요구되어지는 정확도이며 m은 각 변수들의 길이이다.

예를 들어 구역의 폭의 유전자 자릿수는 $2^{m-1} < (30555 - 10185) \times 10^0 < 2^m - 1$ 으로 여기서 m은 15가 나오므로 15의 유전자 자릿수를 갖는다. 이런 방법을 각 매개변수에 입력하고 각각의 매개변수의 유전자 자릿수를 합치면 매개변수집합이 된다.

매개변수집합을 구성하기 위해서 0과 1을 무작위하게 64개를 발생시킨 후 식(5.1)에서 결정된 각 매개변수들의 자릿수에 따라 매개변수집합을 분할한 후 식(5.2)를 이용하여 각 매개변수들의 값을 실제 값으로 변화였다. x는 각 매개변수의 실제 값이고 decimal은 각 변수를 십진법으로 바꾼 값이다.

$$x = a + decimal \times \frac{b-a}{2^m - 1} \quad (2)$$

표 8은 최초로 구성된 개체집단과 각 개체들을 표현 형으로 다시 변환한 값들을 나타낸 것이다.

5.4 목적함수의 설정

XP-SWMM 모형을 보정하기 위한 목적함수로는 Wang(1991)이 사용한 관측값과 계산값의 차이의 제곱 (Residual Sum of Squares, SSQ)을 최소화시키는 식(3)을 사용하였다.

$$\min(SSQ) = \min \sum_{i=1}^N [(Q_i)_o - (Q_i)_s]^2 \quad (3)$$

여기서, Q_o 는 실측유량, Q_s 는 XP-SWMM이 계산한 모의유량이고 N은 모의 값의 개수로 30개이다. 이는 실측된 유량이 30개로 이와 비교하기 위해서 모의 값을 30개 모의하였다.

표 7 선정된 매개변수와 범위.

변수명	변수의 범위
구역의 폭	$-50\% \leq WW(1)(m) \leq 50\%$
불투수구역의 면적 비율	$-50\% \leq WW(3)(\%) \leq 50\%$
구역의 경사	$-50\% \leq WSLOPE(\%) \leq 50\%$
투수구역의 Manning 계수	$0.010 \leq WW(6) \leq 0.320$
초기 침투율	$76 \leq WLMIN(mm/sec^2) \leq 254$
투수구역의 표면저류	$0.50 \leq WSTORE2 \leq 1.50$

표 8 초기값으로 선택된 개체집단 (Basin 3+4).

개체 번호	개체	WW(1)	WW(3)	WSLOPE	WW(6)	WLMIN	WSTORE2
1	0011011001011101011110111110011101000011100111110011001001110111	14510	77.64	34.82	0.147	146	1.44
2	101010010111101111111001100000011100110111100110110011000000111	23670	93.38	20.30	0.219	218	0.07
3	00010100000001011101011110101011001110010011000101100011101111011	10982	89.78	32.95	0.095	175	1.23
4	1010100001101001110110000001110110011011000001010101011010001010	23585	88.90	49.29	0.014	197	0.10
5	01110101111100110110110100101010000011001000010010010010011110	19570	75.84	41.17	0.124	127	0.30
6	011100000100111101100010000000011111010100010111000101110001001	19109	81.13	40.53	0.130	92	0.09
7	101001101100000010001011100100000010101111111101000110111111010	23453	48.29	18.63	0.229	95	1.22
8	1000101111010101001110111111000110100001101010010001000010100111	21311	69.83	21.97	0.155	99	0.39
9	011110100100111101011010000000000100111111000101110100001010000	19917	73.50	18.60	0.205	221	0.80
10	1010100000011000000001110010110010111101001010111101000010001001	23560	32.35	47.32	0.047	188	0.09

5.5 재생산 (Reproduction)

초기 매개변수집합군을 이용하여 SWMM을 10회 실행하여 얻은 모의 값과 실측 값으로부터 SSQ를 계산하였다. 각각의 SSQ를 SSQ의 총합으로 나눈 값들을 적합도(Fitness)라 하는데 이 값이 커질수록 다음세대에서 재생산될 확률이 높아지게 된다. 그러나 각 값들의 적합도를 계산한 후 목적함수가 SSQ를 최소로 하는 것이 목적이므로 가장 큰 선택확률과 가장 작은 선택확률을 바꾸는 것을 반복하여 수정선택확률로 재배열함으로써 SSQ가 가장 작은 것은 선택확률이 가장 큰 값을 가지도록 하였으며 수정 선택확률을 누적시켜 누적 선택확률을 구하였다(표 9). 계산된 누적 선택확률을 이용하여 룰렛 휠에 의한 선택방법을 사용하여 선택과정을 수행하였다. 0과 1사이의 난수 10개를 발생시키고 발생된 난수에 해당되는 누적 선택확률 구간의 큰 번호를 가지는 개체를 선택하여 선택된 개체에 해당하는 유전자형

표 9 누적 선택확률의 계산과정 (Basin 3+4).

개체 번호	SSQ(적합도)	선택확률	수정 선택확률	누적 선택확률
1	10026	0.0447	0.0237	0.0237
2	1669	0.0074	0.2315	0.2553
3	2456	0.0109	0.2243	0.4796
4	2940	0.0131	0.2149	0.6945
5	48161	0.2149	0.0131	0.7076
6	4145	0.0185	0.2102	0.9184
7	47240	0.2102	0.0185	0.9369
8	50281	0.2243	0.0109	0.9478
9	5322	0.0237	0.0447	0.9926
10	51890	0.2315	0.0074	1.0000

표 10 룰렛 휠에 의한 선택 (Basin 3+4).

선택된 개체번호	발생된 난수	개체의 유전자형
4	0.5944	1010100001101001110110000001110110011011000001010101011010001010
3	0.3311	0001010000000101110111110101011001110010011000101100011101111011
4	0.6586	1010100001101001110110000001110110011011000001010101011010001010
6	0.8636	0111000000100111101100010000000011111010100010111000101110001001
4	0.5676	1010100001101001110110000001110110011011000001010101011010001010
9	0.9805	011110100100111101011010000000000100111111000101110100001010000
6	0.7918	0111000000100111101100010000000011111010100010111000101110001001
2	0.1526	1010100101111011111110011000000111001101111001101100110011000000111
6	0.8330	0111000000100111101100010000000011111010100010111000101110001001
2	0.1919	1010100101111011111110011000000111001101111001101100110011000000111

을 표 10에 나타내었고 수정 선택확률이 높은 개체가 더 많이 선택된 것을 알 수 있다. 재생산된 매개변수집합군은 표 11과 같이 재생산전보다 SSQ(적합도)가 작은 매개변수집합으로 구성되게 된다.

5.6 교배 (Crossover)

재생산만의 반복만으로는 매개변수집합군을 구성하는 매개변수집합이 빠른 속도로 같아지게 되므로 탐색공간이 한정되게 되고 더 작은 SSQ를 가지는 매개변수집합의 구성도 불가능하다. 이러한 문제점을 극복하여 주는 연산자가 교배이다. 재생산된 매개변수집합들을 교배하기 위하여 일정한 교배확률(Crossover Probability)을 정하는데 본 연구에서는 Gen과 Cheng(1997)과 같이 0.25를 사용하였다. 교배확률이 결정되면 0과 1사이의 10개의 난수를 발생시켜 교배확률보다 작은 값에 해당하는 매개변수집합 번호를 선택하고 1과 64사이에서 하나의 무작위 수를 발생시켜 교배점으로 사용하여 새로운 매개변수집합을 구성한다. 교배를 위한 난수를 표 12와 같이 발생시키고 교배확률 0.25보다 작은 난수번호 8과 9에 해당하는 매개변수집합 여덟 번째와 아홉 번째인 매개변수집합 개체번호 2와 6을 선택한다. 선정된 두 개의 개체를 교배점 41로 결정하여 일점교배 시키도록 하였다.

5.7 변종 (Mutation)

교배를 통하여 탐색공간을 넓히게 되지만 보다 더 넓은 탐색공간을 확보하기 위하여 변종 연산자를 사용한

표 11 재생산후 선택된 개체집합 SSQ(적합도) 비교 (Basin 3+4).

재생산 전 개체집단 (Chromosome)		재생산 후 개체집단 (Chromosome)	
개체번호	SSQ(적합도)	선택된 개체번호	SSQ(적합도)
1	10026	4	2940
2	1669	3	2456
3	2456	4	2940
4	2940	6	4145
5	48161	4	2940
6	4145	9	5322
7	47240	6	4145
8	50281	2	1669
9	5322	6	4145
10	51890	2	1669
합계	224128	합계	32370

다. 변종은 임의의 변종확률(Mutation Probability)을 정하고 이 확률에 의해 선택된 이진수가 0이면 1로 1이면 0으로 바꾸어줌으로써 실행될 수 있다. 본 연구에서는 Gen과 Cheng(1997)이 사용한 0.01을 변종확률로 사용하였고 매개변수집합의 길이가 64자리이고 매개변수집합 10개가 매개변수집합군을 구성하므로 전체자리수는 640자리이다. 여기에 변종확률을 곱하면 6.4이므로 일곱개의 유전자가 변종의 대상이 된다. 640개의 0과 1사이의 난수를 발생시키고 변종확률보다 작은 난수에 해당되는 유전자를 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째, 여섯 번째, 일곱 번째를 찾아 0이면 1로, 1이면 0으로 변환하면 변종과정의 실행이 끝난다. 640개의 난수를 발생시킨 결과 난수번호 54, 103, 149, 248, 326, 421, 598이 변종확률보다 작았다. 따라서 해당하는 유전자형을 각각 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0 으로 바꾸어 주었다.

5.8 세대(Generation)반복 및 결과

초기 값으로 출발하여 재생산, 교배, 변종을 통해 새롭게 구성된 매개변수집합군을 한 세대를 지난 매개변수집합군으로 정의하고 1세대를 거친 매개변수집합군을 이용하여 다시 같은 과정을 반복하게 되는데 이러한 반복을 100회 반복하였다. GA는 MATLAB으로 수행되도록 하였다. 표 13은 GA의 보정에 의해 구해진 변수들과 수동보정에 의해 구한 유역인자들의 값을 비교한 것이다. 표 14는 GA와 수동보정의 적합도를 비교한 것

표 12 교배과정을 위한 난수발생 (Basin 3+4).

난수번호	개체번호	발생된 난수
1	4	0.6390
2	3	0.6690
3	4	0.7721
4	6	0.3798
5	6	0.4416
6	9	0.4831
7	6	0.6081
8	2	0.1760
9	6	0.0020
10	2	0.7902

표 13 GA와 수동보정에 의한 유역인자들의 결과 (Basin 3+4).

	GA	수동보정
유역의 폭(m)	20480	19408
불투수유역의 면적비율(%)	58.3	55.7
유역의 경사 (%)	21.3	19.2
투수유역의 Manning계수	0.57	0.13
초기 침투율(mm/sec ²)	109	95
투수유역의 표면저류	0.95(mm)	1.43(mm)

표 14 GA와 수동보정의 SSQ 비교 (mm³/sec²) (Basin 3+4).

	SSQ	GA와 수동보정의 차이
GA	2356.18	588.72
수동보정	2944.90	

이고 그림 5는 GA와 수동보정에 의한 결과를 실측값과 비교한 것이다. 수동보정(점선)과 GA에 의한 결과(실선)를 보면 유출양상은 거의 동일하나, GA의 경우 첨두 유량은 증가하고 총유출량은 다소 감소하였다. 실측치(점)와 비교해볼 때, 첨두유량의 경우 수동보정은 -4.4%, GA는 -3.0%이며 총유출량의 경우 수동보정은 11.6%, GA는 8.7%으로 여전히 총유출량에서 차이를 보이고 있다.

5.9 매개변수의 특성분석

유출에 영향을 미치는 인자들은 유역폭, 유역경사, 불투수면적, 최소침투용량, 지표조도계수, 지표저류깊이(투수유역) 등이 있다. 이에 따라 유출계산을 위한 각 인자들의 변화가 모의치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 적정 매개변수들을 기준으로 각각 $\pm 10\%$ 씩 단계적으로 변화시키면서 모의 유출량과 비교하였다. 비교결과를 첨두유량 및 총유출량에 대한 변화비율로 산정하여 검토하였다. 첨두유량 및 총유출량의 민감도 분석결과를 그림 6과 그림 7에 정리하면, 첨두 유량 및 총유출량 모두의 경우에 유역의 폭, 불투수유역의 면적, 초기침투율에 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한, 투수 유역의 Manning 계수와 투수유역의 표면저류, 유역의 경사도 모형에 민감한 인자라는 것을 알 수 있다. 따라서, 다음 절에서 위의 매개변수들을 자동보정을 통하여 추정하여 모형을 구성하고자 한다. 첨두유량 발생시간에 대해 검토한 결과는 대부분의 매개변수들에 대해 발생시간이 거의 변화가 없었다.

각 매개변수들의 변화에 따른 변화 양상을 살펴보면, 유역의 폭, 불투수유역의 넓이, 유역 경사가 증가함에 따라 첨두유량과 총유출량이 증가하는 형태를 나타내고 있으며, 투수유역의 Manning 계수, 투수유역의 표면저류 및 초기 침투율의 증가에 함에 따라 첨두유량 및 총유출량이 감소하는 형태를 나타내고 있다. 또 유역의 폭, 유역경사 및 투수 유역의 넓이가 다른 요인들에 비해 유량의 유역 유하시간을 앞당겨 급격한 유출양상을 띠는 것으로 판단된다. 이외에 중기침투율, 불투수유역의 표면저류 등의 변화는 상대적으로 다른 매개변수들의 변화에 대하여 민감하지 못한 것으로 나타났다.

이를 통한 매개변수들을 XP-SWMM에 적용하였으며, 이를 그림 8과 같이 실제 유출량과 비교하였다.

6. 결론

GIS 프로그램 중 하나인 ArcView를 이용하여 안양천 유역의 지역인자를 추출하였으며 추출된 지역인자들

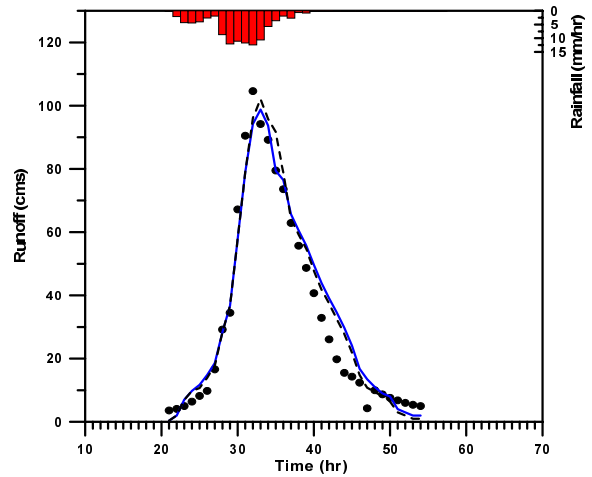


그림 5 GA와 수동보정의 비교.

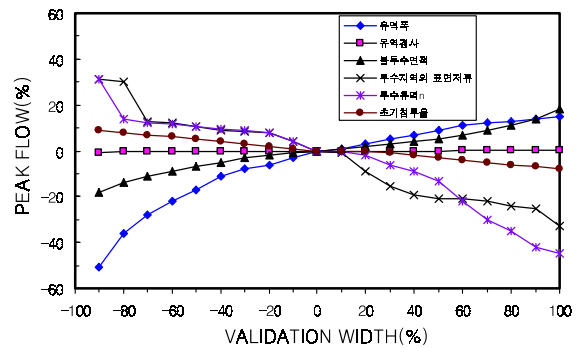


그림 6 첨두유출량 매개변수 분석(Basin 3+4).

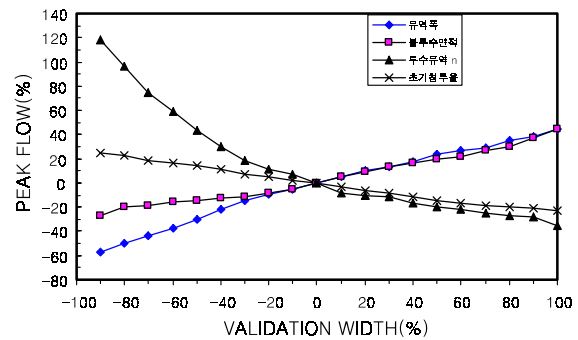


그림 7 첨두유출량 매개변수 분석(Basin 6+7).

을 도시수문 모형인 XP-SWMM에 적용하였다. 이에 따른 결과들을 정리하면 아래와 같다.

첫째로 ArcView의 적용을 통한 수문요소의 추출에서 사용자의 정의에 따라 소유역의 자동분할을 통하여 유역의 면적 및 하도의 길이, 경사 등의 요소들을 추출하였으며, 유역의 경사도, 유역면적과 하도의 길이 등도 제시하였다.

둘째로 매개변수의 민감도 분석을 통하여 유출에 민감한 유역인자들을 결정하였다. 민감도 분석결과 침투유량 및 총유출량 모두의 경우에 유역폭, 유역경사, 불투수유역 면적의 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한, 투

수유역의 Manning계수, 투수 유역의 표면저류, 초기침투율도 모형에 민감한 인자라는 것을 파악하였다.

셋째로 민감도 분석을 통해 선정된 유역인자 6개를 GA를 이용하여 자동보정을 수행하여 수동보정과 비교하였다(표 13). 투수유역의 표면저류가 가장 큰 차이를 보였고, 그 다음으로 초기침투율이 차이를 보였으나 하도의 Manning 조도계수는 거의 차이가 없었다. 또한, GA와 수동보정의 SSQ의 비교에서는 GA가 더 좋은 결과를 보임을 제시하였다. 다만 총유출량에서는 여전히 차이를 보였고 GA와 수동보정에 따른 모형 모의의 유출수문곡선의 유출양상은 거의 동일하나, GA의 경우 침투유량은 증가하고 총유출량은 다소 감소하는 경향을 보여주었다.

추후로 하도 뿐만이 아닌 하수관망을 포함한 유출해석 시 모의 오차의 범위를 줄일 수 있는지에 대한 연구와 본 연구에서는 모형의 보정을 GA의 적용을 통한 방법과 수동보정의 방법을 비교하였는데 다른 자동보정 방법들도 추가 수행하여 GA와 비교분석하고 모형의 보정에 대한 GA의 적합성을 검토하도록 하면 더 좋은 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단하였다.

감사의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

이범희 (1998). “지리 정보체계 및 전문가 시스템을 이용한 도시 유출 및 수질 모형의 개발”, 박사학위논문, 서울대학교.
 서울시정개발연구원 (1993). 도시하천 수질관리 방안을 위한 연구 (안양천을 중심으로), 시정연 93-R-15.
 ESRI (1994). *Understanding GIS: ARC/INFO method*. Environmental Systems Research Institute Inc., CA
 Gen, M., and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*. John Wiley & Sons.
 Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and learning*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass.
 Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. MIT Press, Chambridge, Mass.
 Wang, Q. J. (1991). “The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models.” *Water Resource Research*, Vol. 27, No.9 pp. 2467-2471.

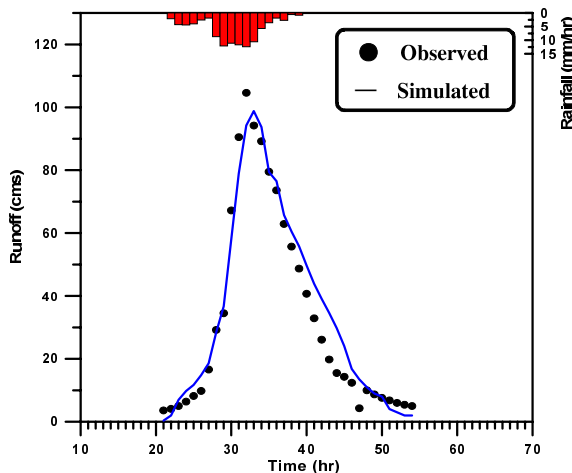


그림 8 (a) 유출 수문곡선 (Basin 3+4).

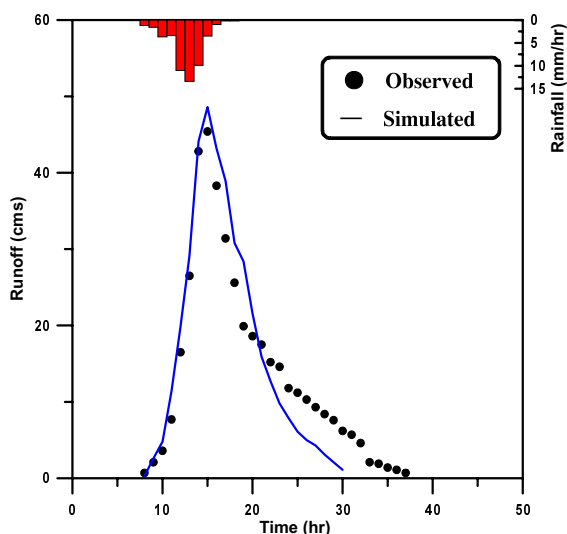


그림 8 (b) 유출 수문곡선 (Basin 6+7).