

댐 건설전후 유역의 장기유출특성변화의 분석 : I. GIS를 이용한 NWS-PC 모형의 매개변수 추정

윤용남^{*} · ○유철상^{**} · 안재현^{***} · 양인태^{****} · 고덕구^{*****}

1. 서 론

유출은 유역의 지형특성, 식생분포, 토지이용 상태, 토양의 성질, 및 기상상태에 따라 복잡 다양하게 나타나며, 이러한 유출현상은 강수로 인한 물이 지면저류, 증발과 증산, 침투와 침투, 지하수 등의 과정을 거치면서 하천유량의 형태로 흐르게 된다. 이러한 유출현상에 대한 해석은 이수목적에서의 장기유출 해석과 치수목적에서의 홍수의 해석으로 나누어 진다. 특히, 장기유출은 일단위 이상의 연속적인 수문 현상으로, 정확한 장기유출량의 예측은 이수 측면에서 대단히 중요하다. 예를 들어, 저수지의 저수용량 결정과 저수지 관개용수의 다목적 이용, 갈수기 광역화에 따른 이·치수 계획 수립, 담수호 부영양화 현상의 해석을 위한 일 유입량의 추정, 저수지 유사 침전량 계산을 위한 하천 유황곡선의 작성, 하천 유지 용수량 결정 등 합리적인 수자원의 개발 및 관리와 계획수립 등에 장기유출 해석이 폭넓게 이용된다.

장기유출의 해석과 관련한 최근의 연구는 지형정보체계(GIS)의 발달과 인공위성자료의 이용 증가 경향과 밀접히 관련되어 있다. 인공위성자료를 이용하게 되면서 대상유역의 식생 및 토지이용의 상황을 쉽고 정확하게 파악할 수 있게 되었으며, 이런 정보는 기존의 토양정보나 지형정보와 함께 지형정보체계라는 도구 안에서 쉽게 조작할 수 있게 되었다. 즉, 유출해석에 필요한 여러 가지 소유역별 정보 뿐만 아니라 더 나아가 필요한 모형의 매개변수들을 직접 추정할 수 있게 된 것이다.

대유역에서 신뢰성있는 장기유출 해석을 하기는 쉽지 않다. 이는 근본적으로 유출해석에 필요한 신뢰성 있는 자료의 빈곤에서 그 이유를 찾을 수 있으며, 이런 측면에서 인공위성자료의 이용은 그 가치가 크다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 장기유출해석에 필요한 대상유역의 지형정보, 토양자료 및 인공위성영상 분석 결과로부터 얻은 토지이용자료를 GIS를 이용하여 소유역별로 추출해 보고 그 적용성을 검토해 보는 것을 목적으로 한다. 장기유출해석모형은 국내에 이미 적용된 사례가 있는 모형 중에서 모형의 구조가 상대적으로 간단하며 모형의 입력자료를 GIS를 이용하여 적절히 추출할 수 있다는 점을 고려하여 NWS-PC 모형으로 결정하였다.

2. NWS-PC 모형

미국 국립 기상국(National Weather Service)의 수문예측 사업그룹은 강수, 눈의 적설과 용설, 토양 함수상태의 계산, 흐름에 대한 매개변수 최적화 등의 유출예측체계를 모의하는 National Weather Service River Forecast System(NWSRFS)을 개발하였으며 개인용 컴퓨터를 이용하여 최근의 추세에 맞추어 NWSRFS의 축소 모형인 NWS-PC모형을 추가로 개발하였다(Tabios 등, 1991).

NWS-PC 모형은 크게 토양 함수상태 계산(SAC-SMA) 모형과 흐름에 대한 추적모형으로 구분된다. SAC-SMA의 모형은 수문 순환과정의 지표면부분에 입력된 강우를 하도흐름의 유입량으로 변환시킨다. 흐름에 대한 추적모형은 하도 유입량을 유역 출구의 유출로 변환하며 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 추적방법의 조합을 사용한다.

SAC-SMA(Sacramento Soil Moisture Accounting)모형은 토양을 상층부와 하층부로 구분하고 상·하층부의 수분은 자유로이 이동할 수 있는 자유수와 토양입자에 부착된 부착수로 이루어지며 하층부의 자유수는 기저유출을 모의하는 기저 자유수와 최근 강우에 의한 보조 자유수로 구분된다. 모의되는 유출성분은 직접유출, 지표면 유출, 중간유출, 보조 지하수유출, 기저 지하수유출로 구분되며 처음 3개 성분으로 구성되는 총 하도 유입량은 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 추적방법에 의해 하도추적되며, 마지막 2개 성분으로 구성되는 지하 유출은 선형감쇠가중함수(linear decay weighting function)로 계산한 후 유역출구에서 하도 유입량에 합산된다.

* 고려대학교 토목환경공학과 교수
** 고려대학교 환경공학과 조교수
*** 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정
**** 강원대학교 토목공학과 교수
***** 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

3 NWS-PC 모형의 적용

3.1 대상유역 및 소유역 분할

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 장기유출해석을 실시하였다. 대상유역인 금강유역은 한반도의 중서부에 위치하며 충청남도, 충청북도의 약 절반과 전라북도의 약 1/4를 점하고 경기도 및 경상북도 일부를 점하는 유역 면적 9,886km²의 대유역으로서 대략 남한면적의 1/10정도인 남한 제3의 유역이며 본류의 유로 연장이 393.9km에 이른다(한국 수자원공사, 1992). 수문모형을 적용하기 위한 소유역 분할은 금강홍수통제소에서 적용하고 있는 소유역 분할(건설교통부, 1995)을 기준으로 하였으며, 수위관측소에서의 유량 검정을 위해 수위관측소가 소유역의 출구에 위치할 수 있도록 조정하였다. 또한 하천차수 2차이상의 하천을 고려하지 못하는 NWS-PC 모형의 한계로 인해 SAC-SMA 매개변수는 유역을 유사한 지형특성에 따라 중간분류한 19개의 소유역별로 추정하였고, 운동과 추적모형의 매개변수 적용을 위해서는 19개의 소유역을 1a, 1b, ..., 19a, 19b까지 총 50개의 세부 소유역으로 재분할하였다.

3.2 모형의 매개변수 추정

3.2.1 SAC-SMA 모형의 매개변수

모형의 매개변수를 추정하는 방법에는 수문곡선을 이용하는 방법(Burnash 등, 1973)과 유역의 토양의 성질을 분석하여 이용하는 방법(Armstrong, 1978)이 주로 사용된다. 본 연구에서는 개략 토양도, 지형도, DEM, 인공위성영상 등 가용자료를 모두 이용하여 매개변수를 직접 추정하는 방법을 선택하였다. 이는 관측된 강우, 유출 기록이 충분하지 못할 경우 모형의 매개변수 추정이 어느정도 정확하게 될 수 있는가를 판단할 수 있게 될 것이다. 모형자체에 관측자료를 이용하는 "자동보정" 기능이 있기는 하지만 이 기능을 적절히 사용하기 위해서는 유량관측지점을 중심으로 소유역을 재편해야 하고 아울러 2차하천 이상을 고려할 수 없는 모형의 제약을 고려하면 대상유역인 금강유역의 경우에는 5-6개의 소유역으로 분할할 수 밖에 없게 된다.

NWS-PC 모형은 앞에서 언급한 가용자료를 이용해서도 추정이 불가능한 매개변수들을 몇 개 포함한다. 먼저, 상부토양층의 두께인 UCST와 총토양층의 두께인 TSPT가 있다. 본 연구에서는 개략토양도를 참고하여 토양층이 전유역에 대하여 일정하다고 보고 총 토양층의 두께는 1m, 상부 토양층의 두께는 20cm로 가정하였다. 매개변수의 검정시 상부 토양층의 두께를 변화시켜 가면서 모의한 결과 20cm에서 양호한 결과를 가짐을 알 수 있었다.

표 1. 개략토양도 분석에 의한 유역의 토양형별 면적(km²)

토양형 유역명	A	B	C	D
1	158.62	24.21	39.08	4.62
2	241.81	25.41	44.62	22.22
3	119.07	6.29	23.57	37.88
4	189.98	1.45	17.33	17.29
5	452.08	8.62	40.83	30.19
6	326.54	25.28	52.78	1.32
7	232.25	27.55	48.89	0.01
8	498.04	84.84	169.86	65.15
9	132.92	37.86	40.48	0.00
10	222.34	56.83	52.52	0.00
11	200.88	37.06	55.35	0.00
12	403.61	140.96	198.39	8.50
13	828.68	630.12	519.31	0.00
14	263.79	61.16	100.86	5.12
15	339.87	33.56	79.36	0.01
16	265.49	71.29	67.85	0.00
17	154.56	158.78	154.95	0.00
18	249.59	170.69	218.65	23.20
19	153.82	113.80	214.66	0.00

표 2. 소유역별 각 매개변수의 초기치

구분	ZPERC	REXP	UZK	LZPK	UZSK	UZTWM	UZFWM	LZTWM	LZFSM	LZFFM	ADIMC
1	10.90	1.373	.399	.0477	.0043	10.45	79.78	41.82	67.04	137.06	52.27
2	10.73	1.438	.384	.0498	.0042	13.20	76.73	52.80	66.65	133.73	66.00
3	9.64	1.814	.382	.0616	.0042	22.99	76.38	91.97	58.42	120.78	114.96
4	7.37	1.348	.351	.0707	.0038	12.71	70.27	50.83	70.27	133.50	63.54
5	12.78	1.294	.353	.0408	.0038	11.31	70.58	45.24	70.58	135.80	56.55
6	10.54	1.236	.372	.0481	.0040	8.30	74.32	33.21	71.75	138.75	41.51
7	11.80	1.282	.386	.0432	.0042	8.62	77.23	34.47	69.73	138.85	43.08
8	19.95	1.602	.417	.0267	.0045	15.30	83.45	61.18	60.98	130.28	76.48
9	15.75	1.377	.434	.0324	.0047	9.73	86.78	38.93	65.53	139.64	48.67
10	7.90	1.323	.420	.0645	.0046	9.27	83.95	37.08	67.53	140.64	46.35
11	13.97	1.346	.408	.0366	.0044	9.28	81.64	37.10	67.10	138.69	46.38
12	25.94	1.524	.470	.0188	.0051	11.52	94.01	46.07	60.60	135.89	57.59
13	47.81	1.553	.576	.0079	.0063	11.70	115.30	46.79	57.96	138.93	58.49
14	23.38	1.458	.431	.0212	.0047	10.84	86.30	43.34	63.39	136.29	54.18
15	14.12	1.300	.384	.0359	.0042	8.70	76.86	34.79	69.23	138.00	43.49
16	15.64	1.340	.425	.0326	.0046	9.42	84.96	37.69	66.89	140.43	47.11
17	27.58	1.666	.678	.0167	.0073	12.68	135.67	50.73	53.74	135.78	63.42
18	51.70	1.729	.591	.0073	.0064	14.65	118.15	58.61	53.45	131.14	73.26
19	45.64	1.786	.658	.0084	.0071	13.23	131.58	52.92	50.37	128.86	66.14

침투와 관련된 PFREE, RSERV, SIDE는 이론적인 추정방법이 없으므로 사용자 지침서에서 주어진 값을 초기 조건으로 사용하였다. 토양층아래 암반의 균열이나 틈과 관계가 있는 PFREE는 일반적으로 0~0.4까지 변하는데 본 연구에서는 전 유역에 0.3을 사용하였고 RSERV도 이론적으로는 결정할 수 없으며 0~0.4까지 변하므로 전 유역에 걸쳐 0.3을 사용하였으며(Burnash 등, 1973), SIDE는 대유역의 경우 지하수는 전부 하도로 유입된다고 볼 수 있으므로 전 유역에 "0"을 사용하였다.

ZPERC, UZK, UZTWM, LZTWM, UZFWM, LZFFM, LZPSM, REXP, LZPK, LZSK의 경우는 표

1의 유역 토양형별 면적 분류 및 표 3과 4의 지형자료 분석 결과를 이용하여 모형 매개변수의 추정식(Amstrong, 1978)에 따라 가질 수 있는 값의 범위를 구할 수 있다. 모형적용을 위해 매개변수의 초기치는 표 2에서와 같이 추정된 값의 중간값으로 결정하였고, 모의 결과를 분석하여 추정된 범위내에서 보정할 수 있도록 하였다.

표 3. 소유역별 지표면 형상자료

유역명	유역면적 (km ²)	사면길이 (m)	사면경사	유역명	유역면적 (km ²)	사면길이 (m)	사면경사
1a	118.548	2899	.078	11a	40.897	1487	.060
1b	113.989	3113	.084	11b	80.016	3011	.049
2a	73.157	2555	.044	11c	62.942	3672	.036
2b	171.980	2849	.041	11d	109.442	5386	.037
2c	89.000	3557	.088	12a	43.884	2293	.031
3a	39.867	1193	.062	12b	650.812	5996	.039
3b	146.952	2367	.077	12c	56.765	6769	.031
4a	41.776	3358	.052	13a	71.300	2960	.037
4b	114.121	1968	.074	13b	1833.323	11385	.029
4c	70.155	2627	.060	13c	78.102	5727	.020
4d	67.217	2679	.061	14a	268.389	7772	.044
5b	464.505	4484	.089	14b	162.540	2827	.047
6a	90.402	1291	.052	15a	34.924	3407	.045
6b	260.566	4275	.050	15b	283.382	3538	.044
6c	54.967	2869	.062	15c	134.991	6041	.029
7a	166.046	4059	.055	16a	151.915	6839	.033
7b	142.698	2986	.047	16b	252.714	2484	.033
8a	2.460	498	.009	17a	110.548	6276	.031
8b	670.800	4901	.053	17b	164.220	3965	.031
8c	85.998	2940	.055	17c	45.460	1859	.018
9a	33.87	1462	.046	17d	149.893	3113	.015
9b	553.43	4122	.041	18a	7.240	935	.001
10a	54.22	1385	.076	18b	661.461	10700	.045
10b	83.20	1891	.057	19a	245.863	8607	.010
10c	194.25	2431	.048	19b	276.679	7072	.014

표 4. 소유역별 하천 형상자료

유역명	하천길이 (m)	하천경사	하천폭 (m)	유역명	하천길이 (m)	하천경사	하천폭 (m)
1a	20445	0.00641	40	11a	13748	0.00042	300
1b	18310	0.01647	40	11b	13287	0.00524	40
2a	14314	0.00732	50	11c	8571	0.00035	300
2b	30185	0.00861	40	11d	10160	0.00025	300
2c	12511	0.00599	40	12a	9568	0.00053	205
3a	16708	0.00263	60	12b	54274	0.00326	300
3b	31039	0.00866	40	12c	4193	0.00050	300
4a	6221	0.00260	80	13a	12044	0.00066	600
4b	28998	0.01048	40	13b	80518	0.00084	400
4c	13354	0.00126	100	13c	6819	0.00040	600
5a	12544	0.00119	120	14a	17267	0.00017	500
5b	51792	0.00971	150	14b	28744	0.00383	80
6a	35018	0.00142	140	15a	5126	0.00007	730
6b	30479	0.00498	100	15b	40052	0.00323	100
6c	9579	0.00080	160	15c	11132	0.00009	500
7a	20454	0.00106	160	16a	11107	0.00010	800
7b	23893	0.00831	120	16b	50875	0.00286	300
8a	2470	0.00050	160	17a	8807	0.00018	700
8b	68439	0.00320	150	17b	20707	0.00222	250
8c	14626	0.00033	180	17c	12226	0.00020	880
9a	11585	0.00114	180	17d	24079	0.00083	80
9b	67134	0.00271	150	18a	3870	0.00025	1000
10a	19580	0.00023	200	18b	30909	0.00128	280
10b	22004	0.00020	300	19a	14283	0.00008	1070
10c	39958	0.00335	80	19b	19561	0.00010	1490

RIVA와 PCTIM은 각각 인공위성 영상의 분석결과에서 Water와 Swamp, Water, Swamp 및 Urban이 차지하는 비로 나타낼 수 있으며 각 소유역별 추정치는 표 5와 같으며, 표 6에 SAC-SMA 모형의 매개변수 산정방법을 정리하였다.

표 5. 연도별 인공위성영상 분석에 따른 매개변수

구분	1974년		1985년		1995년	
	RIVA	PCTIM	RIVA	PCTIM	RIVA	PCTIM
1	0.004	0.008	0.039	0.046	0.051	0.060
2	0.004	0.008	0.042	0.050	0.061	0.073
3	0.003	0.004	0.053	0.061	0.058	0.073
4	0.006	0.014	0.058	0.069	0.062	0.075
5	0.003	0.007	0.036	0.041	0.052	0.059
6	0.012	0.030	0.054	0.075	0.068	0.091
7	0.008	0.017	0.036	0.047	0.058	0.070
8	0.014	0.028	0.042	0.054	0.067	0.076
9	0.010	0.024	0.045	0.059	0.073	0.086
10	0.019	0.031	0.079	0.096	0.118	0.140
11	0.019	0.024	0.148	0.156	0.176	0.186
12	0.013	0.059	0.040	0.133	0.054	0.194
13	0.027	0.060	0.037	0.088	0.040	0.109
14	0.014	0.021	0.029	0.050	0.030	0.065
15	0.015	0.021	0.025	0.041	0.032	0.058
16	0.014	0.021	0.011	0.030	0.009	0.040
17	0.045	0.066	0.028	0.072	0.026	0.103
18	0.034	0.058	0.072	0.099	0.088	0.138
19	0.106	0.162	0.118	0.177	0.130	0.230

표 6. SAC-SMA 모형의 매개변수 산정방법

매개변수	설 명	산정 방법
PCTIM RIVA	영구 불투수 지역의 면적비 수표면적 비율	Water, Swamp, Urban의 합 Water, Swamp의 합
ADIMP	임시 불투수 지역의 면적비	개략도상의 "D" 토양군의 면적비 이용
UZTWM UZFWM UZK	상층부 흡착수의 최대 저류용량 상층부 자유수의 최대 저류용량 상층부 자유수의 탈수계수	유역별 토양형의 분류, 지형 자료 분석 결과를 이용하여 모형 매개변수의 추정식 (Amstrong, 1978)에 따라 매 개변수의 범위(최대, 최소)를 구하고, 평균값을 초기치로 이용하여 유출 도의에 의한 검정결과에 따라 매개변수 의 범위내에서 적절한 값을 선정
LZTWM LZFWM LZPK LZSK	하층부 부착수의 최대 저류용량 하층부 자유수대 보조 지하수의 최대 저류용량 하층부 자유수대 기저 지하수의 탈수계수 하층부 보조 지하수의 탈수계수	
ZPERC REXP	포화에서 건조로 변할때 증가되는 침투량의 계수 하층부 수분부족량 변화에 따른 침투곡선의 곡률	
UZTWC UZFWC UZTWC	상층부 흡착수의 초기 수분 상태 변수 상층부 자유수의 초기 수분 상태 변수 하층부 부착수의 초기 수분 상태 변수	시행착오법을 통하여 해당 매개변수값에서 초기 계산 유출량이 관측 유출량과 잘 일치하는 비율을 선택함.
LZFPC ADIMC	하층부 기저자유수의 초기 수분 상태 변수 임시 불투수 지역의 현재 저류영역	ADIMC는 UZTWM+ LZTWM의 비율 적용
PFREE RSERV SIDE	침투수가 하층부 자유수대로 유입되는 비율 하층부 자유수중 증발산에 의해 비소모되는 비율 타 유역으로 배수되는 기저지하수의 비	사용자 지침서에서 주어진 값을 고정 값으로 사용
PXADJ PEADJ	강우 보정계수 증발산 보정계수	"1"의 기타 다른 비율 사용 가능

3.2.2 모형의 지형 특성 변수의 추정

운동과 추적모형에서 필요한 매개변수들은 표 3과 4에 나타난 유역의 지배면적 및 사면과 하도의 길이, 경사, 조도계수, 하천형상, 하도폭 등이 있으며, 이 값들은 지형도와 GIS를 이용하여 소유역별로 구하였다. 하천의 형상은 사다리꼴로, 제방경사는 1:1로 전 유역에 고정하여 사용하였다. 소유역별 지표면 조도계수는 표 7의 인공위성영상 분석자료에서 Water, Swamp를 제외한 Urban, Forest, Vegetation, Bare의 면적비를 고려하여 추정하였으며, 표 8에 연도별 변화를 나타내었다.

표 7. 대상년도별 인공영상분석에 의한 면적비

유역	Water			Urban			Forest			Vegetation			Swamp			Bare		
	74년	85년	95년	74년	85년	95년	74년	85년	95년	74년	85년	95년	74년	85년	95년	74년	85년	95년
1	.002	.006	.006	.004	.007	.009	.715	.751	.786	.269	.195	.146	.002	.033	.045	.008	.008	.008
2	.002	.010	.010	.004	.008	.012	.715	.765	.816	.269	.177	.103	.002	.032	.051	.008	.008	.008
3	.002	.020	.020	.001	.008	.015	.815	.843	.871	.175	.09	.050	.001	.033	.038	.006	.006	.006
4	.003	.020	.020	.008	.011	.013	.576	.714	.852	.399	.205	.061	.003	.038	.042	.012	.012	.012
5	.002	.004	.004	.004	.005	.007	.753	.816	.880	.233	.136	.054	.001	.032	.048	.007	.007	.007
6	.006	.015	.015	.018	.021	.023	.302	.508	.715	.640	.388	.165	.006	.039	.053	.029	.029	.029
7	.005	.015	.015	.009	.011	.012	.604	.701	.798	.371	.243	.123	.003	.021	.043	.009	.009	.009
8	.008	.018	.018	.014	.012	.009	.565	.677	.788	.396	.259	.126	.006	.024	.049	.010	.010	.010
9	.006	.013	.013	.014	.014	.013	.483	.589	.695	.484	.345	.212	.004	.032	.060	.007	.007	.007
10	.010	.056	.056	.012	.017	.022	.537	.637	.737	.428	.263	.119	.009	.023	.062	.004	.004	.004
11	.011	.142	.142	.005	.008	.010	.623	.687	.751	.349	.152	.058	.008	.006	.034	.005	.005	.005
12	.005	.007	.007	.046	.093	.140	.422	.417	.393	.501	.434	.407	.008	.033	.047	.018	.016	.006
13	.015	.010	.010	.033	.051	.069	.259	.421	.452	.656	.474	.432	.012	.027	.030	.025	.017	.007
14	.011	.005	.005	.007	.021	.035	.486	.463	.487	.484	.475	.446	.003	.024	.025	.009	.012	.002
15	.012	.004	.004	.006	.016	.026	.625	.523	.421	.347	.432	.517	.003	.021	.028	.007	.004	.004
16	.011	.005	.005	.007	.019	.031	.568	.503	.437	.404	.463	.519	.003	.006	.004	.007	.004	.004
17	.031	.014	.014	.021	.044	.077	.310	.326	.291	.594	.592	.596	.013	.014	.012	.030	.010	.010
18	.019	.011	.011	.024	.027	.050	.355	.331	.287	.561	.563	.560	.016	.061	.077	.026	.007	.015
19	.067	.061	.061	.056	.059	.100	.278	.365	.412	.543	.447	.353	.038	.057	.069	.017	.011	.005

표 8. 인공위성영상을 이용한 연도별 조도계수의 변화

유역	1974	1985	1995
1	.378	.394	.410
2	.378	.402	.415
3	.404	.421	.429
4	.343	.387	.424
5	.388	.415	.431
6	.271	.329	.386
7	.350	.380	.410
8	.341	.374	.409
9	.320	.352	.389
10	.335	.371	.406
11	.358	.400	.426
12	.301	.299	.292
13	.261	.303	.311
14	.322	.316	.323
15	.357	.332	.306
16	.343	.325	.307
17	.275	.279	.267
18	.287	.286	.272
19	.271	.297	.309

3.3. 수문·기상 자료의 수집 및 정리

3.3.1 관측유량

계산 유량과 실제 유량을 비교하기 위한 수위표 지점으로는 댐상류의 용담지점과 댐하류의 규암지점을 선정하였으며 “금강유역 유량분석 및 홍수조사 보고서”(한국수자원공사, 1994)의 수위-유량관계식을 이용하여 수위자료를 유량자료로 변환하였다.

3.3.2 강우 및 잠재증발산

강우자료의 실측기간 및 결측치 등을 고려하여 유역내에서 신뢰도가 높은 23개의 우량관측소를 선택하고 관측소별로 산정된 강우량에 Thiessen법을 적용하여 19개의 소유역별로 평균강우량을 산정하였으며, 잠재증발산은 청주, 대전, 전주, 보은, 부여, 거창을 포함한 6개 기상관측소의 기상관측 자료를 이용하였으며 Penman 방법을 적용하여 추정하였다.

4. NWS-PC 모형에 의한 장기유출해석

4.1 토양의 초기 수분상태 결정

모형에서 토양의 초기수분상태를 나타내는 변수들(UZTWC, LZTWC, UZFWC, LZFWC, LZPSC)의 결정은 시행착오방법(trial and error method)에 의존하게 된다. 본 연구에서는 추정된 관련 상태변수의 최대값의 10%정도를 초기치로 사용했을 경우 관측 유출량과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 임시 저류영역인 ADIMC는 UZTWM과 (UZTWM + LZTWM) 사이에서 결정되므로 (UZTWM + LZTWM)의 최대값의 10%를 적용하였다. 표 9에는 이와같은 방법으로 결정된 토양의 초기수분상태변수들의 값을 나타내었다.

표 9. 유역별로 결정된 초기수분상태변수

구분	UZTWC	UZFWC	LZTWC	LZFWC	LZPSC	ADIMC
1	1.42	2.97	5.67	7.06	20.15	7.09
2	1.49	2.51	5.96	7.00	19.75	7.46
3	1.96	2.46	7.83	5.01	17.81	9.79
4	1.34	1.54	5.38	7.54	19.85	6.72
5	1.28	1.59	5.12	7.59	20.20	6.40
6	1.22	2.15	4.89	7.76	20.52	6.11
7	1.29	2.58	5.17	7.46	20.46	6.46
8	1.71	3.52	6.84	6.15	19.03	8.55
9	1.46	4.02	5.84	6.83	20.48	7.30
10	1.39	3.59	5.56	7.13	20.72	6.95
11	1.39	3.25	5.57	7.07	20.35	6.96
12	1.64	5.10	6.58	6.09	19.72	8.22
13	1.75	8.30	7.02	5.69	20.15	8.77
14	1.54	3.94	6.15	6.51	19.87	7.69
15	1.31	2.53	5.22	7.38	20.29	6.52
16	1.41	3.74	5.65	7.03	20.66	7.07
17	1.90	11.35	7.61	5.06	19.47	9.51
18	1.94	8.72	7.76	5.02	18.79	9.70
19	1.98	10.74	7.94	4.56	18.12	9.92

4.2 모형 매개변수의 보정

모형의 보정은 Armstrong의 방법으로 구한 매개변수의 초기치를 이용하여 상대변수를 변화시키면서 다음 식의 기준에 의거하여 모형의 적합성을 판단하였으며 이는 차후 유출모의에서 모형의 정확도 기준(accuracy criteria)이 된다.

$$RE(\%) = \frac{1}{N} \times \frac{\sum Q_{obs} - \sum Q_{com}}{\sum Q_{obs}} \times 100, \quad SSE(cms^2) = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{com})^2}{N}$$

여기서, RE(%)는 유출 용적의 차이를 나타내는 상대오차(Relative Error), SSE(cms²)는 침투유량의 차이를 나타내는 제곱오차(Sum of Square Error), 그리고 Q_{com}는 계산유량, Q_{obs}는 관측유량, N은 총 모의 일수를 나타낸다. 표 10에서는 4.1절에서 언급한 토양의 초기수분상태 결정시 초기값을 변화시켰을 때의 상대오차 및 제곱오차의 변화를 나타내었는데 앞의 결과와 마찬가지로 10%를 적용하였을 때 가장 좋은 결과를 산정하고 있음을 알 수 있었다.

표 10. 대상지점별 토양함수 초기상태 변화시 유출의 비교(1974년)

구분	용담			공주			규암		
	10%	15%	20%	10%	15%	20%	10%	15%	20%
관측	29.7			167.0			222.6		
유량	332.0			2883.0			3285.0		
계산	30.8	31.5	31.9	181.3	188.2	192.0	217.1	224.7	229.0
유량	226	227	228.7	2368	2386	2395	2969	2990	3002
상대오차	3.7	6.24	7.3	8.4	12.5	14.8	2.47	0.995	3.07
제곱오차	1028	1018	1018	14118	14093	14196	19076	18798	18869

앞에서 추정된 모형의 매개변수 및 상대변수 적용하여 1974년에 대한 유출해석을 실시한 결과 수문곡선의 형상은 비슷하였으나 계산침투유량이 적고, 기저유량이 전반적으로 큰 결과를 보였다. 이와 같은 문제점을 보정하기 위하여 토양의 수분상태를 결정하는 LZTWM, LZFWM, LZPFM, UZTWM, UZFWM과 침투와 유출을 조절하는 REXP, UZK, LZSK, LZPK, ZPERC를 추정치의 최대~최소 범위내에서 차례대로 변화시켜가며 모의하였다. 대부분 침투와 저류를 나타내는 매개변수는 최소값 위주로 조정하고, REXP, UZK와 같이 침투된 지하수의 탈수를 지배하는 매개변수는 최대값 위주로 적용하면 평균과 침투유량이 비교적 일치하였으며 보정된 매개변수는 표 11과 같다.

표 11. 소유역별 각 매개변수의 보정치

구분	ZPERC	REXP	UZK	LZPK	UZSK	UZTWM	UZFWM	LZTWM	LZFSM	LZPFM	ADIMC
1	30.90	1.460	0.797	.0277	.0023	9.46	19.78	37.82	47.04	134.33	47.28
2	30.73	1.505	0.767	.0298	.0022	9.94	16.73	39.76	46.65	131.64	49.70
3	29.64	1.877	0.763	.0416	.0022	13.06	16.38	52.22	38.42	118.74	65.28
4	27.37	1.386	0.702	.0507	.0018	8.96	10.27	35.84	50.27	132.35	44.80
5	32.78	1.332	0.705	.0208	.0018	8.53	10.58	34.11	50.58	134.65	42.64
6	30.54	1.301	0.743	.0281	.0020	8.14	14.32	32.57	51.75	136.78	40.72
7	31.80	1.361	0.772	.0232	.0022	8.62	17.23	34.46	49.73	136.39	43.08
8	39.95	1.706	0.834	.0067	.0025	11.39	23.45	45.57	40.98	126.89	56.97
9	35.75	1.473	0.867	.0124	.0027	9.73	26.78	38.93	45.53	136.54	48.67
10	27.90	1.402	0.839	.0445	.0026	9.27	23.95	37.08	47.53	138.11	46.35
11	33.97	1.441	0.816	.0166	.0024	9.28	21.64	37.10	47.10	135.70	46.38
12	45.94	1.656	0.940	.0088	.0031	10.96	34.01	43.85	40.60	131.46	54.81
13	67.81	1.684	1.000	.0079	.0043	11.70	55.30	46.79	37.96	134.34	58.49
14	43.38	1.575	0.862	.0012	.0027	10.25	26.30	41.01	43.39	132.47	51.26
15	34.12	1.388	0.768	.0159	.0022	8.70	16.86	34.79	49.23	135.28	43.48
16	35.64	1.423	0.849	.0126	.0026	9.42	24.96	37.69	46.89	137.73	47.11
17	47.58	1.831	1.000	.0067	.0053	12.68	75.67	50.73	33.74	129.82	63.42
18	71.70	1.894	1.000	.0073	.0044	12.94	58.15	51.74	33.45	125.28	64.68
19	65.64	2.008	1.000	.0084	.0051	13.23	71.58	52.92	30.37	120.81	66.14

4.3 유출 해석 결과

모형의 보정에는 1974년 자료를 사용하였으며, 1979년의 자료를 이용하여 모형을 검정하였다. 표 12에서와 같이 1974년의 경우에 규암지점에서의 상대오차는 0.95%로 양호한 반면 1979년의 경우에는 용담지점의 상대오차가 25.5%, 규암지점의 상대오차는 10.66%로 과소 계산되었다. 각각의 사상에 대한 모의결과에서 그림 1과 2에서와 같이 관측치와 계산치의 전반적인 수문곡선의 형상은 일치하나 모형에서 고려되지 않은 3월의 강우로 인하여 초기 토양함수조건이 포화 상태에 있기 때문에 초기유출에서 계산유출량이 관측유출량보다 작은 결과를 나타내었다.

표 12. 계산 및 관측유출의 비교

연도	구 분	용담지점	규암지점
1974년	계산유출 (평균유량(cms), 침투유량(cms))	31.5/227.0	224.7/2990.0
	관측유출 (평균유량(cms), 침투유량(cms))	29.7/332.0	222.6/3285.0
	상대오차 (%)	6.24	0.95
1979년	계산유출 (평균유량(cms), 침투유량(cms))	31.5/677.0	280.4/3857.0
	관측유출 (평균유량(cms), 침투유량(cms))	42.3/693.0	313.9/4976.0
	상대오차 (%)	25.5	10.7

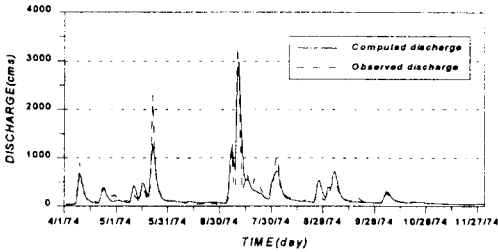


그림 1. 유출수문곡선의 비교(규암지점, 1974년)

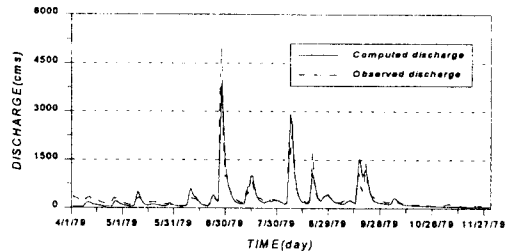


그림 2. 유출수문곡선의 비교(규암지점, 1979년)

5. 결 론

본 연구에서는 장기유출해석 모형의 하나인 NWS-PC모형의 매개변수를 가용한 자료들-인공위성 자료(토지이용도), 토양도, 지형도 등-을 GIS를 이용하여 효과적으로 추정해 낼 수 있음을 보였다. 추정된 매개변수들은 가능한 값의 범위로 주어지며, 모형의 보정과정을 통해 적절한 값을 선택할 수 있었다. 특히 모형의 보정과정에서 나타난 결론으로서 금강유역의 경우 침투 및 저류를 나타내는 매개변수는 최소값 위주로 조정하고, REXP, UZK와 같이 침투된 지하수의 탈수를 지배하는 매개변수는 최대값 위주로 적용했을 경우 모의된 결과가 관측치와 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. 이는 금강유역 토양의 특성을 반영하는 것으로 보이며, 일정한 범위의 값으로 추정된 매개변수를 복잡한 보정과정을 거치지 않고 직접 결정할 수 있을 것이다.

모형의 보정은 대청댐 건설이전 1974년의 강우 및 관측자료를 이용하였고, 댐 건설 이전의 1979년의 유출모의를 통하여 모형을 검증하였다. 1974, 1979년의 강우 및 관측자료를 이용하여 댐 건설 이전의 유출을 모의한 결과 1974년의 유출은 하류인 규암지점에서 평균 0.95%의 상대오차를 보인 반면 1979년의 유출은 상대오차가 약 10%정도로 크지만 전반적인 형상에서 계산유출량이 관측유출량을 잘 반영하고 있다. 따라서 NWS-PC 모형이 장기유출해석에 적절히 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 건설교통부 (1995). 금강홍수예경보.
- 한국수자원공사 (1992). 전국 하천조사서.
- 한국수자원공사 (1994). 금강유역 유량분석 및 홍수조사.
- 한국수자원공사 (1995). 한강수계 다목적댐 하류 연속유출 모형과 동역학적 하도추적 모형 연구.
- Armstrong, B.L. (1978). *Derivation of initial soil moisture accounting parameters from soil properties for the National Weather Service River Forecasting System*, NOAA Tech. Memo. NWS HYDRO-37, Office of Hydrology, Washington, D.C.
- Burnash, R.J.C., Ferral, R.L., McGuire, R.A. (1973). *A generalized stream flow simulation system conceptual modeling for digital computers*, National Weather Service, California Dept. of Water Resources.
- Tabios III, G., Obeysekera, J.T., Salas, J.D. (1991). *Forecasting and control of water resources systems(NWS-PC Model)*, U.S. National Weather Service Center.