

섬진강 홍수에경보 시스템의 소개

한국건설기술연구원 연구원 이 홍 래
 연구원 정 성 원
 수석연구원 서 병 하

1. 개 요

섬진강 홍수에경보 시스템은 유역에 발생하는 홍수를 조기에 예경보하여 홍수에 의한 인명과 재산피해를 최소화 할 목적으로 구성되었으며, 1989년부터 섬진강 홍수통제소에서 운영될 예정이다.

본 시스템은 수문관측망을 T/M화 하여 통신시스템을 이용 통제소에 설치된 컴퓨터에 실시간(real-time)으로 자료가 수집될 수 있도록 설계되었으며, 입력된 자료를 사용하여 선정된 예보지점에서의 홍수위 및 홍수유출량을 계산하고, 예보할 수 있는 홍수유출 예측 전산프로그램등과 그를 위한 입출력프로그램으로 구성되었다.

유출예측을 위하여 선정된 유출모형은 유역내에서 사용할 수 있는 수문자료의 정도와 국내의 기술적 경험 축적등을 감안하여 한강 및 낙동강의 경우와 마찬가지로 저류함수법을 적용하였다.

여기에서는 개발된 홍수유출 예측 전산프로그램의 운영에 필요한 제반 수문, 지형학적인 인자와 모형상수의 초기치들의 산정결과를 중심으로 섬진강 홍수에경보 시스템을 소개하기로 한다.

2. 수문관측소 선정과 유역 및 하도분할

2.1 T/M수문관측소와 경보소의 선정

홍수에경보 시스템의 수문관측망 구성에서는 가능한한 과거 기록치가 많은 기존 수문관측점을 이용하고, 홍수추적 결과를 점검할 수 있는 주요지점을 T/M우탕관측소와 T/M수위관측소로 선정하였으며, 그들 위치는 그림 1과 같다.

분할소유역의 지형특성인자는 1/50,000 지형도를 사용하여 구하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 또한 분할하도구간별 지형특성인자도 1/50,000 지형도와 <하천정비기본계획보고서> 등을 사용하여 하도구간 연장, 구간경사, 평균하폭 및 하도구간별 조도계수를 구하였으며 표 2와 같다.

이와같이 분할된 소유역과 하도구간에 대해 홍수유출해석을 수행하기 위한 유출계산 모식도는 그림 3과 같다. 여기에서 한강과 낙동강 홍수에경보 프로그램은 유역추적결과를 해당 하도구간의 입구에 합성하여 유량추적을 실시하였으나, 본 유출계산모형에서는 유역추적결과를 해당 하도구간의 출구에 합성하여 홍수계산을 실시하도록 작성하였다.

표 1 小流域別 地形特性因子

소유역번호	유역면적(km ²)	분류장(km)	표고차(ΔH)(m)	평균경사(i)
1	294.35	40.95	850.0	0.020757
2	465.95	48.28	345.0	0.007147
3	351.76	40.25	730.0	0.017888
4	302.40	44.86	674.3	0.015033
5	321.97	27.05	580.0	0.021442
6	315.72	40.85	955.0	0.024127
7	353.95	29.65	339.7	0.011457
8	270.45	43.25	403.0	0.009318
9	192.20	29.28	483.0	0.016496
10	563.10	62.20	556.0	0.008939
11	378.47	41.93	715.0	0.015915
12	461.59	35.50	1433.4	0.040264
13	334.36	40.28	1452.0	0.036325
14	280.23	43.85	1354.7	0.030694

표 2 河道分割과 地形因子의 決定

하도번호	하도연장(km)		표고차(m)	평균경사	평균하폭(m)	조도계수	
	입류구	출류구				漢江式	判欄川式
A	46.17	8.74	71.5	0.001549	164	0.04527	0.04380
B	28.44	8.74	60.0	0.001694	185	0.04548	0.04458
	37.18		63.0				
C	4.39	8.74	10.0	0.002278	188	0.04606	0.04715
	13.13		10.0	0.000762			
D	7.07		10.0	0.001414	296	0.04503	0.04301
E	15.61	5.59	20.0	0.001118	336	0.04432	0.04097
	21.20		23.7				
F	15.51	5.59	40.0	0.002579	310	0.04625	0.04823
	21.10		54.7	0.002592			
G	10.10	8.16	20.0	0.001161	298	0.04584	0.04608
	18.26		21.2				
H	34.78	22.00	20.0	0.000981	186	0.04384	0.03983
	56.78		55.7				
I	22.45	22.00	40.0	0.001782	204	0.04559	0.04502
	44.45		71.7	0.001613			
J	25.84	8.16	40.0	0.001548	254	0.04527	0.04380
	34.00		43.4	0.001276			
K	14.63		9.7	0.000663	395	0.04198	0.03643
L	24.61		9.8	0.000398	404	0.03815	0.03200
M	15.55		4.6	0.000296	543	0.03485	0.02943

3. 홍수유출모형 입력자료에 대한 분석

홍수유출모형을 사용한 홍수추적시에는 분할소유역별 T/M우량관측소의 Thies-
sen 계수의 결정과 T/M우량관측소의 결측보완법 및 홍수발생시 총강우량에 대한
시간적 분포형 등의 자료와 T/M수위관측소의 수위-유량관계곡선식이 프로그램에
입력되어 있어야 한다.

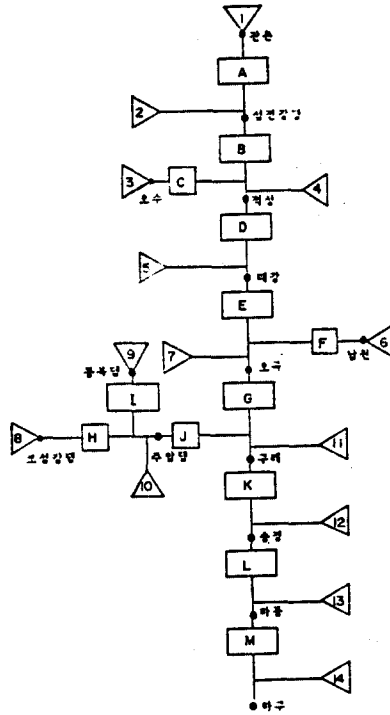


그림 3 流出計算模式圖

20개 T/M우량관측소의 Thiessen 다각형과 14개 소유역으로 구성되는 소유역별 T/M우량관측소별 Thiessen 계수를 산정하였다. (표 3 참조)

T/M우량관측소별 결측치 보완방법으로는 관측소별 결측치 보완 우선순위표에 의해 각 방향에 위치한 인접관측소와의 거리를 사용하는 RDS(Reciprocal Distance Squared)방법을 이용하였다. 또한 총강우량에 대한 시간적분포는 유역의 유출특성과 홍수량에 큰 영향을 미치므로 홍수에 대한 정확한 예보를 위한 입력자료로서 강우의 시간적분포는 중요한 의미를 갖는다. 섬진강의 경우는 한강과 낙동강 홍수에정보에 사용된 Huff 방법을 지향하고, 수식으로 간략하게 강우의 시간적분포를 나타낼 수 있는 Yen, Chow의 무차원 3각형 우량주상도를 제시함으로써 보다 간편하게 사용될 수 있도록 하였다. 이를 위하여 총우량이 110mm 이상의 호우를 선정하고 해당일의 천기도로 호우원인을 분석하여 a_0 , b_0 , h_0 등을 구하였다. (그림 4, 표 4 참조)

표 3 小流域別 T/M雨量觀測所別 Thiessen係數 算定

소유역	유역면적 (km ²)	우량관측소	지배면적 (km ²)	Thiessen 계수
1	294.35	성수	288.46	0.9799
		신평	2.01	0.0069
		문남	2.70	0.0092
		변암	1.17	0.0040
2	465.95	성수	15.60	0.0335
		신평	182.29	0.3912
		문남	15.15	0.0325
		심진강	83.72	0.1797
3	351.76	성수	36.55	0.1039
		심진강	5.96	0.0169
		산창	0.45	0.0013
		남원	26.10	0.0742
4	302.40	문남	7.35	0.0229
		변암	275.34	0.2827
		신평	10.98	0.0363
		문남	6.16	0.0204
5	321.97	심진강	180.72	0.5616
		산창	26.29	0.0819
		문남	75.92	0.2351
		남원	2.33	0.0077
6	315.72	심진강	192.48	0.6098
		산창	123.26	0.3928
		요산	5.51	0.0171
		요곡	0.70	0.0022
7	353.95	문남	214.41	0.6061
		변암	93.89	0.2657
		남원	2.84	0.0080
		노고단	95.82	0.2737
8	270.45	문남	263.35	0.9738
		복내	7.10	0.0262
		요산	85.82	0.3172
		문남	103.06	0.3812
9	192.20	문남	3.32	0.0173
		복내	92.12	0.4793
		주암댐	144.86	0.7534
		상사	23.16	0.1205
10	563.10	복내	288.85	0.5130
		보성	14.1	0.0251
		요곡	111.80	0.1986
		요산	19.06	0.0338
11	378.47	주암댐	183.27	0.4843
		구매	64.34	0.1700
		남원	20.86	0.0551
		요곡	40.71	0.1082
12	461.99	노고단	109.72	0.2377
		구매	251.38	0.5446
		주암댐	12.68	0.0275
		상사	22.63	0.0490
13	334.36	상사	3.61	0.0108
		노고단	43.49	0.1301
		상계	211.06	0.6312
		구매	0.10	0.0003
14	290.23	평천	21.06	0.0726
		하동	58.65	0.2021
		상계	21.31	0.0735
		평천	97.98	0.3376
15	290.23	하동	170.90	0.5888
		상계	21.31	0.0735
		평천	97.98	0.3376
		하동	170.90	0.5888

소유역	유역면적 (km ²)	우량관측소	지배면적 (km ²)	Thiessen 계수
8	270.45	보성	263.35	0.9738
		복내	7.10	0.0262
9	192.20	요산	85.82	0.4465
		문남	103.06	0.5362
10	563.10	주암댐	3.32	0.0173
		문남	92.12	0.1636
11	378.47	주암댐	144.86	0.2573
		상사	23.16	0.0411
		복내	288.85	0.5130
		보성	14.1	0.0251
12	461.99	요곡	111.80	0.2354
		요산	19.06	0.0504
		주암댐	183.27	0.4843
		구매	64.34	0.1700
13	334.36	남원	20.86	0.0452
		요곡	40.71	0.0882
		노고단	109.72	0.2377
		구매	251.38	0.5446
14	290.23	주암댐	12.68	0.0275
		상사	22.63	0.0490
		상사	3.61	0.0108
		노고단	43.49	0.1301
15	290.23	상계	211.06	0.6312
		구매	0.10	0.0003
		평천	21.06	0.0630
		하동	58.65	0.1754
16	290.23	상계	21.31	0.0735
		평천	97.98	0.3376
		하동	170.90	0.5888
		상계	21.31	0.0735

13개 T/M수위관측소 지점에 대한 유량측정결과를 이용 수위-유량관계곡선을 구하여 프로그램에 사용하였고, 수위자료의 결측시에 따른 보완은 선형외삽법을 사용하였다.

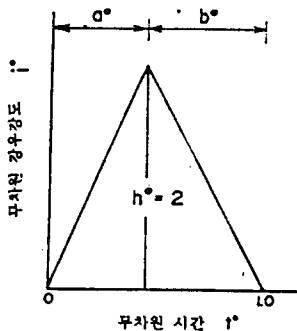


그림 4 無次元 三角形 雨量柱狀圖

표 4. 심진강流域의 平均 無次元 1차모멘트 및 特性變數

특성 변수	전호우 상태	호우 현인				지속 기간 (hr)				평균강우량 mm		계절 (월)		
		저기압	전선	td < 6	6 ≤ td < 12	12 ≤ td < 24	td > 24	D < Dm	D ≥ Dm	1-5	6-9	10-12		
\bar{t}^*	0.4984	0.4989	0.4796	0.5224	0.5009	0.4724	0.5007	0.5005	0.4997	0.4957	0.4880	0.4967	0.5503	
σ^*	0.4953	0.4936	0.4389	0.5671	0.5026	0.4173	0.5021	0.5015	0.4991	0.4872	0.4639	0.4960	0.6329	
β^*	0.5047	0.5004	0.5611	0.4329	0.4974	0.5827	0.4979	0.4985	0.5009	0.5128	0.5261	0.5040	0.3491	
β^*	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	

4. 유출계산모형의 매개변수 결정

유역과 하도에 대한 유출해석을 실시하기 위해서는 소유역별 저류상수(k,p)와 지체시간(T1), 그리고 초기유출율(f1), 포화유출율(fsa) 및 포화우량(Rsa)과 같은 변수의 초기값과 하도구간별로 저류상수(k,p)와 지체시간(T1) 등의 결정이 필요하다.

유역에 대한 저류상수와 지체시간을 결정하기 위해서는 각 분할소유역 출구점에서 홍수량자료가 필요하나, 기존 수위관측소가 출구점에 일치하는 지점이 별로 없고, 자료도 충분치 않아 한강, 낙동강에서 사용한 경험공식에 의하여 소유역별 매개변수를 결정하였다.(표 5) 그리고 저류함수법에 의한 유역유출계산에서는 저류상수 및 지체시간뿐만 아니라 한유역의 침투능력을 대표하는 1차유출율(f1), 포화우량(fsa)값등이 필요하다. 마찬가지로 과거의 실측자료가 없으므로 토지이용과 피복상태를 고려한 SCS 방법에 의해 초기유출율, 포화우량, 포화유출율 등을 구하였다.

표 5 經驗公式에 의한 小流域別 K, P, T1의 推定

유역번호	유역면적 (km ²)	유역의최장하천연장 (km)	경 사	K	P	T1(hr)
1	294.35	40.95	0.020757	37.1631	0.435015	1.7621
2	465.95	48.28	0.007147	26.9898	0.558881	2.1330
3	351.76	40.25	0.017888	35.5411	0.450491	1.7267
4	302.40	44.86	0.015033	33.7347	0.469280	1.9599
5	321.97	27.05	0.021442	37.5269	0.431709	1.0587
6	315.72	40.65	0.024127	38.8789	0.419904	1.7570
7	353.95	29.65	0.011457	31.0945	0.500215	1.1903
8	270.45	43.25	0.008318	29.2253	0.525106	1.8785
9	192.20	29.28	0.016496	34.6878	0.459149	1.1716
10	563.10	62.20	0.008939	28.8535	0.530255	2.8373
11	378.47	44.93	0.015915	34.3166	0.463035	1.9635
12	461.59	35.60	0.040264	45.3354	0.372291	1.4914
13	334.36	40.28	0.036325	43.9566	0.381408	1.7282
14	290.23	43.85	0.030894	41.8721	0.396203	1.9088

하도구간별 저류상수(k,p)와 지체시간(T1) 등 변수값 결정은 자료의 빈곤으로 기왕자료에 의해 해석이 불가능하여 하천의 기하학적 자료를 사용하여 저류상수를 추정하였고, 지체시간은 경험식에 의해 결정하였다. 하천의 기하학적 자료도

총 13개 하도구간 중 7개 구간밖에 자료가 없어 이 추정치를 지형인자와 상관시켜서 하도구간에 대한 저류상수를 구하였고, 지체시간 결정을 위한 경험식은 기무라의 4개 공식을 사용하여 구간별 실측자료와 비교하여 기무라식으로 결정하였다.

5. 유출계산모형의 Test Run

유역의 유출분석과 하도의 유출분석을 통하여 구한 매개변수등을 사용하면 호우사상에 대한 유역내의 유출상황을 예측할 수 있다. 그러므로 섬진강 홍수에 경보 유출모형의 정도향상을 도모하기 위하여 기존에 측정된 강우 및 수위자료를 이용하여 Test Run을 행하고, 산정된 제반 모형상수들에 대한 검정을 실시하였다.

섬진강유역내 과거 기록 수문자료로부터 홍수사상을 택하였고, 그 홍수사상에 대한 선행강우를 조사하여 AMC 상태를 판별하였다.

표 6 홍수사상선정

사상기간	AMC 상태
84년 4월	III
85년 5월	I
85년 6월	I

AMC-I 상태인 85년 6월 사상과 AMC-III 상태인 84년 4월 사상을 가지고 Test Run을 실시하였고, 84년 5월 사상은 85년 6월 사상의 최종 Test Run에서 사용된 제반상수를 적용함으로써 미흡하나마 AMC-I 상태의 제반상수에 대한 적합성을 검토하기로 하였다. 또한 선정된 홍수사상 중 AMC-II 상태가 없으므로 AMC-I과 AMC-III 상태의 제반상수값을 비교하여 적절히 값을 취하였다.

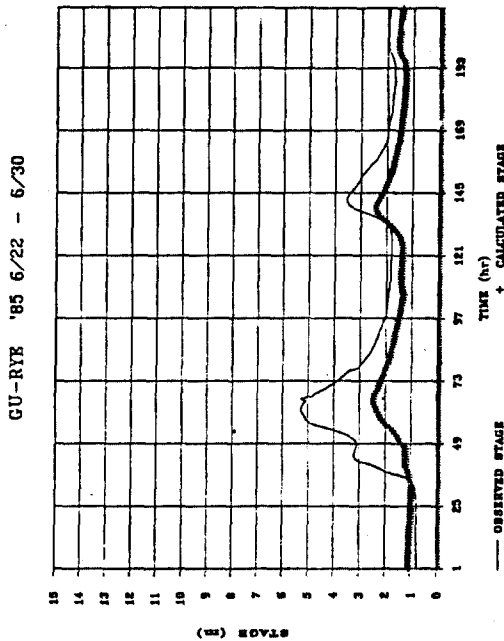


그림 5 最初 Test Run (6月 洪水, 구례)

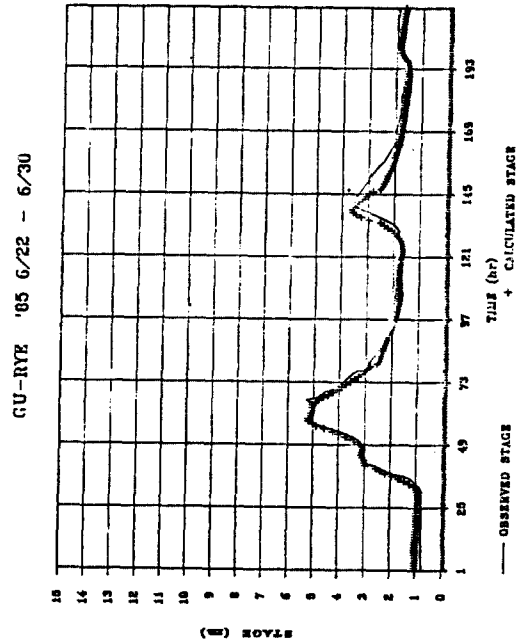


그림 6 最終 Test Run (6月 洪水, 구례)

그림 5는 85년 6월 홍수에 대해 최초의 변수값에 의한 구례수위관측소 지점의 결과이며, 그림 6은 상수조정에 의한 최종결과이다. 각 Test Run의 결과에 대한 적합성 판정은 객관적인 기준판단으로써, 실측치수위와 계산치수위의 전반적인 형상의 차이를 판단하기 위한 형상오차율과 실측치와 계산치의 첨두수위와 그 발생시각의 차이를 판단하는 오차율을 사용하였다.

6. 제반상수의 제시 및 제언

유역 및 하도추적에서 제시된 제반상수값을 초기치로 하여 이 값들을 변경하면서 시행착오법으로 Test Run을 수행하여 제일 양호한 Test Run에 의하여 유역 및 하도의 제반상수등을 최종적으로 조정·결정하였다. (표 7 참조) 그러나 분석 대상 홍수사상이 충분치 못하여 기초분석 및 Test Run에서 충분한 검토가 이루어

워지지 못하였으므로 앞으로 발생할 홍수사상에 대한 자료를 충분히 검토하여 재분석함으로써 계속 수정·보완되어 보다 정도가 높은 결과로 발전시켜야 할 것이다.

표 7
中流域別 初期流出率, 飽和流出率 및 飽和雨量의 提案

변수 소유역 종류역	초기유출율 f_1			포화유출율 f_{∞}			포화우량 R_{∞} (mm)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
I	0.233	0.236	0.243	0.692	0.821	0.892	110.0	98.7	90.1
II	0.237	0.241	0.247	0.700	0.836	0.900	121.0	107.2	97.0
III	0.209	0.213	0.219	0.800	0.874	0.917	120.0	97.3	86.0
IV	0.031	0.104	0.250	0.500	0.617	0.700	178.0	164.8	155.0

小流域別 貯溜常數 및 遲滯時間의 提案

유역번호	K	P	Tl(hrs)
1	37.1631	0.435015	1.7621
2	26.9898	0.558887	2.1330
3	35.5411	0.450491	1.7267
4	33.7347	0.463280	1.9599
5	37.5269	0.431709	1.0587
6	38.8789	0.419904	1.7570
7	31.0945	0.500215	1.1903
8	29.2253	0.525106	1.8785
9	34.6878	0.459149	1.1716
10	28.8635	0.530255	2.8373
11	34.3166	0.463035	1.9635
12	45.3354	0.372291	1.4914
13	43.9566	0.381408	1.7282
14	41.8721	0.396203	1.9088

河道區間別 貯溜常數 및 遲滯時間의 提案

하도구간	K (10^4)	P	Tl(hrs)
A	21.1302	0.677	0.863
B	16.7600	0.677	0.665
C	6.7759	0.677	0.350
D	3.2860	0.676	0.138
E	10.2531	0.681	0.467
F	8.8506	0.707	0.305
G	8.7749	0.651	0.394
H	28.0753	0.677	1.334
I	20.2040	0.677	0.815
J	16.0797	0.677	0.701
K	7.7300	0.689	0.418
L	100.0000	0.682	0.908
M	100.0000	0.656	0.665