

도달시간 산정기법의 선정에 따른 홍수유출 수문곡선의 평가

Evaluation of Flood Runoff Hydrographs by Selection the Estimation Method for Time of Concentration

김기동*, 최현일** 지홍기***

Ki Dong Kim, Hyun Il Choi, Hong Kee Jee

요 지

본 연구에서는 하천유역의 홍수유출을 계산하는데 있어 입력인자로 사용되는 도달시간과 저류상수 등을 산정하는 데 있어 사용되는 경험식들의 조합에 따른 도달시간을 구하고 홍수유출량의 변화양상과 도달시간을 비교하였다.

본 연구에서는 FRIEND 대표유역인 금호강 유역에 대해 도달시간을 산정하여 비교하였다. 여기서, 각 소 유역에 대한 도달시간 산정은 단일 도달시간 공식의 적용과 도달시간을 유입시간과 유하시간의 합으로 고려한 적용으로 크게 구분하였으며, 도달시간 및 유입시간 산정에는 Kirpich, Kerby, Kraven, Rziha, Friend 및 Bransby 공식을 적용하였고 유하시간 산정은 SCS 평균유속법을 적용하였다.

국내의 경우 도달시간의 산정은 자연하천유역과 도시하천유역으로 크게 구분하고 있으며, 유입시간 및 유하시간 등으로 구분하지 않고 자연하천유역과 도시하천유역에 적합한 도달시간 산정에 대한 경험식을 제시하고 있다. 또한 도달시간의 산정기법은 외국의 여러 연구자들에 의해 개발된 경험공식이 주를 이루고 있으며 각 경험공식의 제한사항 및 검토결과 등을 감안하여 해당유역에 적절한 공식을 수자원 기술자의 판단을 통해 사용해야 할 것으로 사료된다.

핵심용어 : HEC-HMS, 도달시간, 금호강, 루사, 매미

1. 서 론

일반적으로 하천유역에서 홍수량을 산정하는데 있어 지형인자는 매우 중요한 요소이다. 유역의 지형인자를 이용하여 홍수유출 모형에 적용하기 위한 매개변수를 산정하여 강우-유출모형을 이용하여 홍수수문곡선을 추정하고 있다. 그러나 우리나라의 실정에 적합한 매개변수의 추정방법은 아직 미흡하여 외국에서 개발된 경험식을 이용하고 있는 실정이다.

홍수도달시간은 유역의 최원점에 내린 비가 유역 출구에 도달하는데 소요되는 시간으로서 유역 모든 지점에서 유출에 영향을 주는 시간이므로 주어진 강우강도에 의해 발생하는 유출량의 최대가 발생하는 시간이 된다. 이러한 정의는 초기손실을 모두 만족하면서 동일 강도의 호우가 전유역에 걸쳐 최소한 홍수도달시간 이상 발생하여야 한다는 전제가 내포되어 있다. 또한 이러한 전제가 만족된다면 Bedient와 Huber(1992)가 정의하고 있는 유역내 평형도달시간(유입과 유출량이 동일해지는 시간)의 개념과 일치하게 된다.

* 정회원 · 영남대학교 대학원 석사과정-E-mail : dldi02@hanmail.net

** 정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수-E-mail : hichoi@ynu.ac.kr

*** 정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수-E-mail : hkjee@yu.ac.kr

홍수도달시간을 결정하기 위해서는 유역의 특성에 따라 하도흐름이 지배적인 경우, 지표면 흐름이 지배적인 경우 및 하도와 지표면 흐름이 복합된 경우로 구분하여 결정하되, 하도경사, 유역 면적, 토지이용조건 등을 감안하여 적절한 공식을 선정하여 사용할 수 있다.

본 연구에서는 Clark 모형을 이용한 홍수량 산정에 있어 유역의 특성인자를 산정하고 도달시간의 선정에 따른 첨두홍수량의 변화를 비교·연구하였다.

2. 도달시간 산정

각 소유역에 대한 도달시간 산정은 단일 도달시간 공식의 적용과 도달시간을 유입시간과 유하시간의 합으로 고려한 적용으로 크게 구분하였으며, 도달시간 및 유입시간 산정에는 Kirpich, Kerby, Kraven, Rziha, Friend 및 Bransby 공식을 적용하였고 유하시간의 산정은 SCS 평균유속법을 적용하였다.

표 1. 도달시간 산정기법 비교

구 분	도달시간 또는 산정공식	제한사항 또는 비교
Kirpich (1940)	$T_c = 3.976L^{0.77}S^{-0.385}$ (min) L = 유역의 최장하천길이(km) S = 유역의 평균경사(H/L , m/m) H = 유역출구점과 본류 최원점까지의 표고차	지표면 흐름이 지배적인 농경지 소유역 하도경사 3~5% 유역면적 0.453km ² 이하
Kerby (1959)	$T_c = 36.264(LN)^{0.467}/S^{0.2335}$ (min) L = 유로의 최원점부터 하천유입부분까지의 직선거리(km) S = 유로의 평균경사(m/m) N = 유역의 조도를 나타내는 상수	불투수성 완만한 표면 N=0.02 나지의 비포장 표면 N=0.10 초지가 없는 나지의 거친 표면 N=0.20 초지로 구성된 표면 N=0.40 낙엽으로 덮힌 수목지역 N=0.60 초지와 산림이 우거진 표면 N=0.80
Kraven	$T_c = 0.444LS^{-0.515}$ (min) L = 유로길이(km) S = 유로경사(H/L , m/m)	지표면 흐름이 지배적인 중하류 하도경사가 1/200 이하인 유역
Rziha	$T_c = 0.833LS^{-0.6}$ (min) L = 유로길이(km) S = 유역의 평균경사(H/L , m/m)	지표면 흐름이 지배적인 상류 하도경사가 1/200 이상인 유역
SCS 평균유속방법 (1975)	$t = 1/60 \sum L/V$ (min) L = 지표면 흐름길이(ft) V = 표면상태에 따른 평균유속(ft/sec)	지표면 상태에 따라 평균유속을 산정하여 도달시간 계산
Bransby- Williams 식	$t_c = 58L/(A^{0.1}S_e^{0.2})$ (min) L = 유역분수계에서 출구점까지의 유로연장(km) A = 유역면적(km ²) S_e = 유로에 대한 등적경사(equal area slope)(%)	Queensland Urban Drainage Manual - vol. 1, 2nd Ed.(2007)
Friend 공식 (1954)	$t = (107nL^{0.333})/S^{0.2}$ (min) L = 면상흐름길이(m) n = Horton의 지표면 조도계수 S = 지표면 경사(%)	유역상류에 숲 또는 공원이 위치한 관로 및 수로가 발달한 유역면적 500ha 이하의 도시유역 Queensland Urban Drainage Manual - vol. 1, 2nd Ed.(2007)

표 2. 도달시간 산정결과 비교

유역	소유역	유역 면적 (km ²)	Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	Friend	Bransby	Kirpich +SCS	Kerby +SCS	Kraven +SCS	Rziha +SCS	Friend +SCS	Bransby +SCS	최소	평균	최대	비고
금호강	G1	112.23	112.69	248.38	35.94	89.67	126.31	1124.97	124.30	259.99	47.55	101.28	137.92	1136.58	35.94	295.46	1136.58	
	G2	215.30	24.97	99.57	4.97	11.01	20.49	280.26	197.97	272.57	177.97	184.01	193.49	453.26	4.97	160.04	453.26	
	G3	112.67	116.43	253.34	37.63	95.91	157.76	1098.18	191.70	328.62	112.91	171.19	233.04	1173.45	37.63	330.85	1173.45	
	G4	14.85	72.75	190.48	20.53	53.80	168.83	616.57	90.58	208.31	38.37	71.64	186.66	634.40	20.53	196.08	634.40	
	G5	159.02	90.08	216.84	26.61	62.78	66.33	1030.13	198.70	325.45	135.22	171.39	174.94	1138.75	26.61	303.10	1138.75	
	G6	180.18	71.61	188.67	19.70	45.91	53.04	773.85	199.89	316.94	147.98	174.19	181.32	902.13	19.70	256.27	902.13	
	G7	4.39	22.87	94.40	4.49	10.68	39.66	215.70	29.53	101.07	11.16	17.35	46.33	222.36	4.49	67.97	222.36	
	G8	5.88	69.65	185.51	19.53	53.05	235.98	560.33	81.15	197.01	31.03	64.55	247.48	571.83	19.53	193.09	571.83	
	G9	95.16	95.08	224.06	28.72	70.20	95.99	977.30	169.91	298.89	103.55	145.03	170.83	1052.13	28.72	285.97	1052.13	
	G10	33.71	50.32	152.32	12.68	32.62	120.10	463.18	109.49	211.49	71.85	91.78	179.26	522.35	12.68	168.12	522.35	
	G11	65.62	89.83	216.47	26.66	65.01	91.31	911.25	138.22	264.86	75.05	113.40	139.70	959.64	26.66	257.62	959.64	
	G12	0.39	8.91	53.30	1.36	3.75	116.17	62.06	14.41	58.80	6.86	9.25	121.67	67.56	1.36	43.67	121.67	
	G13	123.99	98.56	228.99	29.98	71.77	79.46	1102.52	155.89	286.32	87.31	129.10	136.80	1159.86	29.98	297.21	1159.86	
	G14	29.73	26.04	102.15	5.28	12.07	28.41	279.39	77.76	153.87	57.00	63.79	80.13	331.11	5.28	101.42	331.11	
	G15	221.02	103.13	235.38	32.00	79.54	116.90	1005.51	218.91	351.15	147.78	195.32	232.67	1121.29	32.00	319.97	1121.29	
	G16	14.88	48.51	148.97	11.90	28.00	49.29	554.34	62.68	163.14	26.07	42.17	63.46	568.51	11.90	147.25	568.51	
	G17	109.08	65.57	178.84	17.85	42.09	64.32	651.73	151.46	264.73	103.53	127.98	150.21	737.62	17.85	212.98	737.62	
	G18	94.77	70.23	186.45	19.29	45.98	65.67	744.55	143.79	260.01	92.85	119.53	139.23	818.10	19.29	225.47	818.10	
	G19	99.14	48.93	149.75	11.94	26.93	32.61	536.21	121.87	222.69	84.89	99.88	105.55	609.16	11.94	170.87	609.16	
	G20	6.41	111.72	247.09	36.48	105.62	540.77	795.54	116.61	251.97	41.37	110.51	545.66	800.43	36.48	308.65	800.43	
	G21	161.67	82.94	206.24	24.01	58.24	83.78	838.00	190.11	313.41	131.18	165.41	190.94	945.17	24.01	269.12	945.17	
	G22	9.40	29.78	110.81	6.33	15.01	43.44	296.27	44.89	125.93	21.44	30.12	58.55	311.38	6.33	91.16	311.38	
	G23	102.40	70.62	187.07	19.38	45.53	57.25	728.14	131.78	248.24	80.54	106.70	118.41	789.30	19.38	215.25	789.30	
	G24	36.37	186.37	337.00	71.01	207.40	734.89	1284.86	199.32	349.94	83.96	220.35	747.83	1297.80	71.01	476.73	1297.80	
	G25	56.30	118.59	256.19	38.31	94.31	113.18	1235.12	132.54	270.13	52.25	108.26	127.13	1249.07	38.31	316.26	1249.07	
	G26	25.60	28.80	108.58	6.04	14.12	37.07	313.38	83.57	163.36	60.82	68.90	91.85	368.16	6.04	112.05	368.16	

3. 홍수유출모의의 비교분석

본 연구에서는 강우-유출모델의 정밀분석 및 적용을 위하여 FRIEND 대표유역인 금호강 유역의 강우-유출모델로서 HEC-HMS를 적용하였으며, 2002년 태풍 루사 및 2003년 태풍 매미 내습 당시의 호우사상을 대상으로 홍수유출모의를 실시하였다. 앞서 분석한 자료들을 토대로 금호강 유역에 대한 강우-유출해석을 실시하였으며, HEC-HMS의 합성단위도 모델 및 홍수추적 모델들에 대한 매개변수 초기치를 검·보정하기 위하여 HEC-HMS의 최적화 기법을 사용하였다. 이 때 목적 함수유형은 Peak-Weighted RMS Error 및 Percent Error in Peak를 사용하였고 탐색기법으로는 Nelder & Mead 알고리즘을 사용하였으며, 기타 세부보정을 위해 시행착오법을 병행하였다. 그 결과 2002년 태풍 루사 및 2003년 태풍 매미 내습 당시 호우사상에 대한 관측 수문곡선과 모의 수문곡선과의 비교결과는 <그림 1> ~ <그림 4>과 같다.

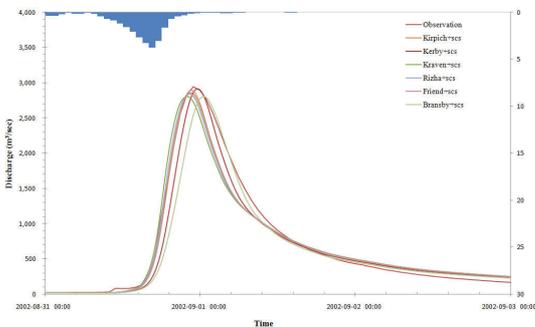


그림 1.

홍수유출모의결과(2002/08/30 ~ 2002/09/01, 금호강 유역)

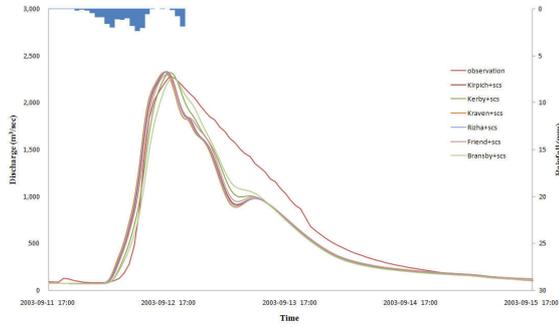


그림 2.

홍수유출모의결과(2003/09/11 ~ 2003/09/12, 금호강 유역)

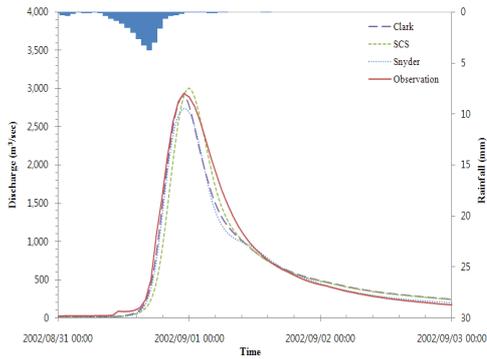


그림 3.

홍수유출모의결과(2002/08/30 ~ 2002/09/01, 금호강 유역)

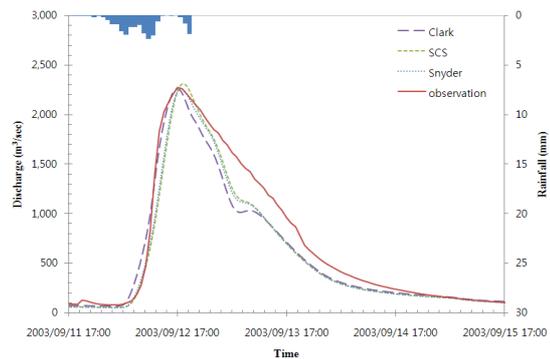


그림 4.

홍수유출모의결과(2003/09/11 ~ 2003/09/12, 금호강 유역)

<표 3> 및 <그림 5>~<그림 8>는 2002년 태풍 루사 및 2003년 태풍 매미 내습 당시의 호우에 대한 HEC-HMS를 이용한 홍수유출해석에서 각 모델의 효율성을 비교한 것으로서 첨두홍수량과 유출체적에 대한 첨두유량오차율, 첨두시간오차, 유출용적오차율 및 모델 효율성 계수를 산정하여 FRIEND 대표유역인 금호강 유역에 대해 비교하였다.

표 3. 관측치와 모의치의 통계적 검정

유역	지점	호우	모델	$Q_p(m^3/sec)$		$t_p(hr)$		$Vol(10^6m^3)$		PEP (%)	EPT (hr)	PEV (%)	CME	비고
				관측치	모의치	관측치	모의치	관측치	모의치					
금호강	동촌	2002/08/30 ~ 2002/09/01	Clark	2,940.1	2,896.5	30.17	30.00	199.49	195.32	-1.48	-0.17	-2.09	0.98	
			SCS	2,940.1	3,000.6	30.17	31.17	199.49	193.24	2.06	1.00	-3.13	0.96	
			Snyder	2,940.1	2,736.1	30.17	30.33	199.49	182.77	-6.94	0.17	-8.38	0.97	
		2003/09/11 ~ 2003/09/12	Clark	2,273.0	2,256.8	24.17	24.17	252.72	220.18	-0.71	0.00	-12.88	0.94	
			SCS	2,273.0	2,310.0	24.17	25.50	252.72	215.44	1.63	1.33	-14.75	0.95	
			Snyder	2,273.0	2,259.4	24.17	25.00	252.72	215.01	-0.60	0.83	-14.92	0.95	

먼저, <표 3> 및 <그림 5>~<그림 8>로부터 첨두유량오차율의 산정결과를 살펴보면 Clark, SCS 및 Snyder 모델 중 SCS 모델의 첨두유량오차율이 최대 7.26%, 평균 3.75%로서 다른 두 모델에 비해 다소 크게 산정된 것으로 분석되었으며, Clark 모델의 경우 첨두유량오차율이 평균 1.53%로서 세 모델 중 가장 우수한 것으로 분석되었다. 그리고 첨두시간오차의 산정결과를 살펴보면 세 모델 중 SCS 모델의 첨두시간오차가 최대 4.33hr, 평균 1.78hr로서 다른 두 모델에 비해 다소 크게 산정되었으며, Clark 모델의 경우 첨두시간오차가 평균 0.47hr로서 세 모델 중 가장 우수한 모의결과를 나타내었다. 또한 유출용적오차율의 경우 SCS 모델이 평균 6.33%로서 다른 두 모델에 비해 우수한 결과를 나타냈으며, Snyder 모델은 유출용적오차율이 최고 14.92%, 평균 10.6%로서 세 모델 중 가장 높은 오차율을 가지는 것으로 분석되었다. 한편, 모델 효율성 계수에 대한 산정결과를 비교해보면 Clark, SCS 및 Snyder 모델이 각각 0.92, 0.93 및 0.92로서 거의 비슷한 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 앞에서 분석한 통계적 검정으로부터 Clark 모델이 다른 두 모델에 비해 홍수유출모의에서 우수한 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

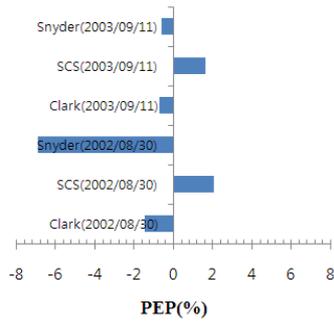


그림 5. 침투유량오차율 비교

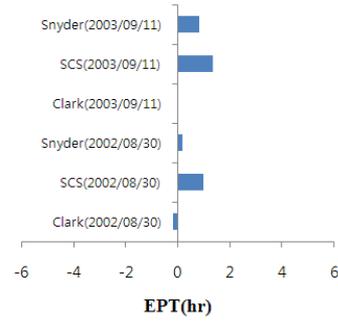


그림 6. 침투시간오차 비교

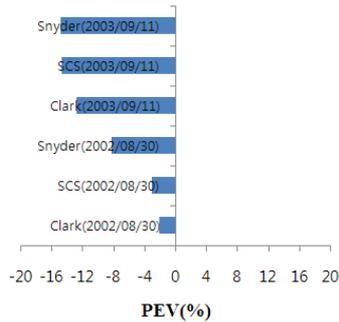


그림 7. 유출용적오차율 비교

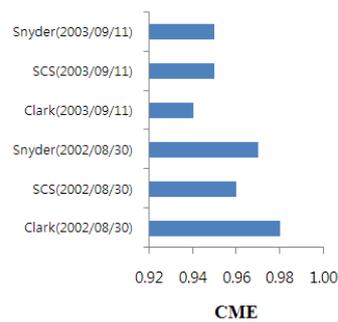


그림 8. 모델 효율성 계수 비교

4. 결 론

본 연구에서 Clark 모형을 이용한 홍수량 계산 시 도달시간 산정기법의 선정에 따른 홍수량의 변화에 대하여 살펴본 결과는 다음과 같다.

1) 홍수량의 산정에 있어서 도달시간이 크게 영향이 있음을 알 수가 있었으며 계산된 홍수량의 경우 도달시간이 길어질수록 홍수량이 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

2) 홍수량 계산시 매개변수의 산정방법에 따른 홍수량의 변화가 결국은 도달시간의 크기에 상관되므로 관측유량이 있는 경우 관측지점까지의 총 도달시간의 가이드라인을 결정함으로써 매개변수의 최적화에 적합성 검토에 도움이 될 것으로 판단된다.

3) 홍수량 산정에서 도달시간과 홍수량의 관계는 밀접하며 홍수량을 산정하는 데 있어 운영자의 판단에 따른 객관성의 부족한 부분에 대해서는 유역에서의 관측된 자료와 계산된 모형의 매개변수와 도달시간 비교를 통해 객관성을 부여하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김기홍, 2001, 소하천 유역에서의 도달시간 산정에 관한 연구.
2. 정종호, 금종호, 윤용남, 2002, 도달시간 산정방법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 35(6) : 715 ~ 727.
3. 윤태훈, 박진원, 2002, Clark 단위도의 저류상수 산정방법의 개선, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II) : 1334 ~ 1339.
4. Sabol, G.V. 1968, Clark unit hydrograph and R-parameter estimation, Journal of hydraulic engineering, 114(I) : 103 ~ 111.
5. 한국수자원학회, 2000, 하천설계기준