

중규모유역에서의 유역응답시간 특성 분석

A Study on the Analysis of Characteristics of the Catchment Response Time in Midsize Catchment

박종영*, 이정식**

Jong Young Park, Jung Sik Lee

요 지

본 연구는 국내 실무에서 사용되고 있는 유역응답시간 산정식의 적용성을 검토하기 위하여 기존의 8개의 도달시간 산정식과 6개의 지체시간 산정식을 유역면적이 50~500km²인 중규모유역에 적용하였으며, 실측수문자료로부터 두가지 정의에 의해 산정한 도달시간과 지체시간을 비교, 검토하였다. 기존의 도달시간 산정식에 의한 도달시간은 실측 도달시간에 비해 모든 대상유역에서 과소한 값을 나타내었으며, 지체시간 산정식의 경우 Clark 공식과 SCS 공식은 모든 대상유역에서 과소한 값을 나타내었고 Snyder 공식, Linsley 공식, Eagleson 공식, Rao와 Delleur 공식은 대상유역에 따라 과다 또는 과소한 경향을 나타내었다. 따라서 실측수문자료에서 산정된 유역응답시간과 기존의 산정식에서 결정된 값들이 상이하게 나타나 중규모유역에서 기존의 유역응답시간 산정식의 적용성이 떨어진다고 판단되었다. 대상유역에서 적합한 유역응답시간 공식을 유도하기 위하여 유역응답시간과 유역특성인자간의 회귀분석을 실시하였으며, 국내 중규모유역에서 적용할 수 있는 도달시간과 지체시간 산정식을 제안하였다.

핵심용어: 유역응답시간, 도달시간, 지체시간, 회귀분석

1. 서 론

해당유역으로부터 수공구조물의 적정 규모를 파악하기 위해서는 적합한 설계홍수량 결정이 선행되어야 하며, 일반적인 설계홍수량 결정에는 합리식과 같이 단순 모형을 통하여 침투유량만을 결정하거나 혹은 복잡한 물리적 과정을 단순화한 유출모형을 이용하여 침투유량, 침투시간 그리고 유출용적 등을 결정하는 방법들이 있다. 설계홍수량 추정은 시간에 따른 유출량의 변동성 즉, 시간의 함수로 표현되는 유출수문곡선을 통하여 결정되므로 유출수문곡선에 큰 영향을 미치는 유역응답시간 특성을 적절하게 산정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 유역응답시간 중에서 도달시간과 지체시간은 기존의 홍수유출 모형에 중요한 매개변수로 이용되어 왔다. 최근 국내에서는 임계지속기간(심재현 등, 1998 ; 이정식 등, 2001)의 개념을 설계홍수량 결정에 도입하고는 있으나 현재까지 유역응답시간과 임계지속기간과의 관계가 명확히 규명된 바 없어 아직도 유역응답시간인 도달시간을 이용한 설계홍수량 결정이 이용되고 있는 실정이다. 이와 같이 수문모형화와 설계에 유역응답시간의 결정은 중요한 선행 작업이며, 설정된 유역의 응답시간에 따라 설계홍수량도 크게 차이가 나는 것이 일반적이다.

현재 국내에 소개되어 실무에 이용되고 있는 유역응답시간 산정식은 국립방재연구소(1999)의 연구보고서를 통하여 표준공식이 제시되었으나 우리나라 실정에 대한 적합성 검증도 없이 대부분 외국의 유역으로부터 유도된 경험공식이 현재까지 사용되고 있어 제한적 조건의 공식임에도 불구하고 광범위하게 이용되어 설계홍수량 결정에 있어 과대 또는 과소 설계의 원인이 되고 있다.

* 정회원 · 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : hydro@kumoh.ac.kr

** 정회원 · 금오공과대학교 토목환경공학부 교수 · E-mail : jungsik@kumoh.ac.kr

따라서 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 기존의 도달시간과 지체시간 산정식을 이용하여 유역응답 시간 산정식의 적용성을 검토하고자 한다. 이를 위하여 8개의 도달시간 산정식과 6개의 지체시간 산정식을 유역면적이 50~500km²인 중규모유역에 적용하며, 실측수문자료로부터 두가지 정의에 의해 산정한 도달시간과 지체시간과의 비교를 통하여 적용성을 검토한다. 또한 대상유역에서 적합한 유역응답시간 공식을 유도하기 위하여 유역응답시간과 유역특성인자간의 회귀분석을 실시한다.

2. 대상유역 및 기본자료

본 연구에서는 국제수문개발계획 대표시험유역인 위천, 보청천, 평창강 유역의 17개 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 대상유역의 유역특성은 표 1과 같다. 실측수문곡선으로부터 유역응답시간을 산정하기 위하여 20년간(건설교통부, 1983~2002)의 실측자료를 분석하였으며, 유역별로 39~65개의 호우사상으로부터 도달시간과 지체시간을 산정하였다.

표 1. 대상유역의 특성

하천	지점명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유로경사 (m/m)	유역경사 (%)
위천	무성	472.53	42.83	0.01078	1.36
	병천	302.13	40.65	0.01099	1.42
	미성	171.25	30.90	0.01398	1.80
	고노	109.73	18.90	0.02084	2.70
	동곡	33.63	8.00	0.04057	5.45
	효령	151.03	21.80	0.03109	4.88
보청천	산계	475.68	49.00	0.00582	0.81
	기대	346.54	30.32	0.00832	1.20
	탄부	72.53	19.20	0.01234	4.44
	이평	79.52	16.81	0.01369	2.00
평창강	산성	53.72	13.01	0.01615	2.49
	방림	519.69	51.85	0.00745	2.32
	하반정	83.98	19.30	0.01315	3.75
	상안미	396.25	44.20	0.00810	2.64
	백옥포	142.26	22.95	0.01159	3.49
	장평	103.55	25.95	0.01248	3.93
	이목정	55.93	16.55	0.02037	5.70

3. 유역응답시간 분석

3.1 실측 유역응답시간 산정

실측수문곡선으로부터 각 호우사상별 도달시간과 지체시간을 결정하기 위하여 도달시간은 유효우량 중심에서 직접유출수문곡선의 변곡점(정의 1)과 유효우량 종점에서 직접유출수문곡선의 변곡점(정의 2), 지체시간은 유효우량 중심에서 직접유출수문곡선 중심(정의 1)과 유효우량 종점에서 직접유출수문곡선 중심(정의 2)으로 정의하는 두 가지 방법(Singh, 1988)을 채택하였다. 상기의 정의를 바탕으로 하여 유역별로 도달시간과 지체시간을 산정하였으며, 산정결과는 각각 표 2와 3과 같다.

3.2 기존 유역응답시간 산정식의 적용

기존의 유역응답시간 산정식은 국립방재연구소(1999)의 연구보고서를 통하여 표준공식이 제시되었지만 국내에서 적합성 검증도 없이 현재까지 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국립방재연구소에서 제시한 유역응답시간 산정식들의 적용성을 검토하기 위하여 대상유역에서 도달시간과 지체시간을 산정하였다. 본 연구

에서 검토한 8개의 도달시간 산정식은 SCS 지체공식, SCS 평균유속공식, Kirpich 공식, Kraven 공식, Kerby 공식, Rziha 공식, Kinematic Wave 공식, FAA 공식이고, 6개의 지체시간 산정식은 Snyder 공식, Clark 공식, Linsley 공식, Eagleson 공식, Rao와 Delleur 공식, SCS 공식이며, 이들 표준공식들로부터 산정된 도달시간과 지체시간은 각각 표 2와 3에 나타내었다. 또한, 실측 유역응답시간과의 비교를 위하여 유역응답시간에 대한 다양한 정의들 가운데 가장 일반적인 정의로 판단되는 정의 1을 기준으로 기존의 유역응답시간 산정식의 결과와의 변화율을 검토하여 표 2와 3에 나타내었다.

표 2. 대상유역에서의 도달시간

(단위 : min)

하 천	지점명	SCS Lag.	SCS Mean V	Kirpich	Kraven	Kerby	Rziha	Kine-matic Wave	FAA	실측치	
										정의 1	정의 2
위 천	무 성	269.0 (-59.8)	571.1 (-14.6)	169.2 (-74.7)	59.9 (-91.0)	78.4 (-88.3)	135.8 (-79.7)	171.3 (-74.4)	168.1 (-74.9)	668.7	473.3
	병 천	266.2 (-50.5)	338.8 (-37.0)	391.4 (-27.2)	184.2 (-65.8)	334.3 (-37.9)	507.3 (-5.7)	329.3 (-38.8)	382.2 (-28.9)	537.9	334.3
	미 성	188.9 (-62.5)	412.0 (-18.2)	288.9 (-42.6)	123.7 (-75.4)	278.1 (-44.8)	333.8 (-33.7)	259.8 (-48.4)	323.0 (-35.8)	503.5	309.0
	고 노	110.2 (-72.9)	252.0 (-38.0)	169.6 (-58.3)	61.6 (-84.8)	201.3 (-50.5)	160.7 (-60.5)	171.6 (-57.8)	228.2 (-43.9)	406.6	290.5
	동 곡	49.1 (-83.9)	106.7 (-65.0)	67.7 (-77.8)	18.5 (-93.9)	115.4 (-62.1)	45.6 (-85.0)	83.9 (-72.4)	113.4 (-62.8)	304.5	214.3
	효 령	154.4 (-60.1)	290.7 (-24.9)	162.3 (-58.1)	57.8 (-85.1)	196.0 (-49.4)	145.8 (-62.4)	165.8 (-57.2)	221.1 (-42.9)	387.3	262.1
보청천	산 계	316.7 (-66.0)	653.3 (-29.9)	577.3 (-38.0)	308.1 (-66.9)	423.2 (-54.6)	895.5 (-3.8)	445.7 (-52.1)	700.1 (-24.8)	931.3	780.0
	기 대	250.4 (-54.7)	404.3 (-26.9)	347.6 (-37.1)	158.6 (-71.3)	311.1 (-43.7)	447.2 (-19.1)	300.2 (-45.7)	325.9 (-41.0)	552.7	333.3
	탄 부	118.6 (-76.7)	256.0 (-49.6)	210.1 (-58.7)	82.0 (-83.9)	229.2 (-54.9)	223.5 (-56.0)	202.8 (-60.1)	290.6 (-42.8)	508.2	336.0
	이 평	139.5 (-74.5)	224.1 (-59.1)	182.2 (-66.8)	68.0 (-87.6)	210.3 (-61.6)	183.9 (-66.4)	181.5 (-66.9)	232.3 (-57.6)	548.0	386.7
	산 성	105.0 (-75.1)	173.5 (-58.9)	140.4 (-66.7)	48.4 (-88.5)	179.5 (-57.5)	128.9 (-69.5)	148.1 (-64.9)	174.4 (-58.7)	422.1	285.0
평창강	방 립	315.2 (-54.9)	691.3 (-1.1)	548.3 (-21.6)	287.1 (-58.9)	410.1 (-41.3)	817.1 (16.9)	428.1 (-38.8)	384.9 (-44.9)	699.1	492.5
	하반정	146.9 (-71.9)	257.3 (-50.8)	205.8 (-60.7)	79.7 (-84.8)	226.4 (-56.7)	216.3 (-58.6)	199.5 (-61.9)	252.2 (-51.8)	523.0	372.9
	상안미	271.4 (-60.5)	589.3 (-14.2)	469.5 (-31.6)	234.4 (-65.9)	373.3 (-45.6)	662.4 (-3.6)	379.4 (-44.8)	323.5 (-52.9)	686.8	519.3
	백옥포	150.5 (-72.4)	306.0 (-43.9)	246.9 (-54.7)	101.2 (-81.4)	252.8 (-53.6)	277.4 (-49.1)	230.0 (-57.8)	192.8 (-64.6)	545.2	708.0
	장 평	163.8 (-66.7)	306.0 (-37.7)	240.0 (-51.2)	97.4 (-80.2)	248.5 (-49.4)	265.4 (-46.0)	224.9 (-54.2)	215.6 (-56.1)	491.4	600.0
	이목정	116.4 (-75.9)	220.7 (-54.4)	154.5 (-68.1)	54.6 (-88.7)	190.3 (-60.7)	142.6 (-70.5)	159.6 (-67.0)	112.5 (-76.7)	483.7	566.4

주) 괄호안의 값은 실측 도달시간(정의 1)과 각 방법별 산정결과와의 변화율(%)을 나타냄.

표 2를 살펴보면, 도달시간 산정식에서 대체적으로 SCS 평균유속산정식이 가장 큰 값(-1.1~65.0%)을 보이며, Kraven 산정식이 가장 작은 값(-58.9~-91.0%)을 나타내었다. 또한, 기존의 도달시간 산정식의 결과가 실측 도달시간보다 작게 나타나 모든 대상유역에서 도달시간이 과소한 값을 나타내는 경향을 보였다. 표 3을 살펴보면, Clark 공식과 SCS 공식은 모든 대상유역에서 과소한 값을 나타내었고 Snyder 공식, Linsley 공식, Eagleson 공식, Rao와 Delleur 공식은 대상유역에 따라 과다 또는 과소한 경향을 나타내었다. 지체시간 산정식

에서 Snyder 산정식이 가장 큰 값(-57.7~93.8%)을 보이며, Linsley 산정식의 결과가 가장 작은 값(-99.3~5.6%)을 나타냈다. 이러한 결과는 기존의 유역응답시간 산정식들이 제한된 유역을 대상으로 결정된 공식으로 이들 산정식을 국내유역에서 검증은 거치지 않고 적용한 결과라 생각되며, 중규모유역에서 유역응답시간 산정식의 적용성이 떨어진다고 판단된다.

표 3. 대상유역에서의 지체시간

(단위 : min)

하 천	지점명	Snyder	Clark	Linsley	Eagleson	Rao와 Delleur	SCS	실측치	
								정의 1	정의 2
위 천	무 성	255.1 (-57.7)	30.6 (-94.9)	4.4 (-99.3)	13.1 (-97.8)	125.5 (-79.2)	41.9 (-93.0)	602.4	407.4
	병 천	438.1 (-6.0)	95.2 (-79.6)	29.1 (-93.8)	33.3 (-92.9)	290.2 (-37.8)	144.9 (-68.9)	466.2	262.2
	미 성	737.9 (68.7)	494.5 (13.1)	268.1 (-38.7)	194.9 (-55.4)	616.6 (41.0)	276.2 (-36.9)	437.4	243.0
	고 노	515.4 (53.9)	255.9 (-23.6)	118.4 (-64.6)	79.6 (-76.2)	495.4 (48.0)	234.4 (-30.0)	334.8	218.4
	동 곡	439.5 (93.8)	133.1 (-41.3)	28.2 (-87.6)	60.7 (-73.2)	214.2 (-5.6)	106.6 (-53.0)	226.8	136.2
	효 령	325.2 (2.3)	78.8 (-75.2)	14.4 (-95.5)	28.7 (-91.0)	175.8 (-44.7)	95.7 (-69.9)	318.0	193.2
보청천	산 계	378.5 (-55.9)	89.3 (-89.6)	16.6 (-98.1)	33.3 (-96.1)	179.4 (-79.1)	103.8 (-87.9)	858.0	706.8
	기 대	690.1 (40.1)	317.6 (-35.5)	171.6 (-65.2)	131.0 (-73.4)	581.1 (18.0)	251.2 (-49.0)	492.6	273.6
	탄 부	642.5 (49.3)	298.5 (-30.6)	129.0 (-70.0)	107.7 (-75.0)	463.1 (7.6)	242.1 (-43.7)	430.2	258.0
	이 평	609.8 (26.9)	201.2 (-58.1)	65.6 (-86.4)	105.6 (-78.0)	337.3 (-29.8)	172.0 (-64.2)	480.6	319.2
	산 성	430.7 (22.9)	100.8 (-71.2)	26.2 (-92.5)	44.4 (-87.3)	252.5 (-27.9)	95.9 (-72.6)	350.4	213.0
평창강	방 립	803.1 (28.7)	462.5 (-25.9)	262.1 (-58.0)	215.8 (-65.4)	635.1 (1.8)	281.7 (-54.9)	624.0	417.6
	하반정	397.2 (-12.0)	129.6 (-71.3)	29.5 (-93.5)	41.8 (-90.7)	115.7 (-74.4)	135.5 (-70.0)	451.2	300.6
	상안미	751.4 (24.6)	378.1 (-37.3)	187.1 (-69.0)	194.5 (-67.7)	545.3 (-9.6)	247.1 (-59.0)	603.0	435.0
	백옥포	477.3 (-0.4)	164.1 (-65.8)	48.7 (-89.8)	69.0 (-85.6)	304.5 (-36.5)	134.6 (-71.9)	479.4	642.0
	장 평	546.3 (27.5)	178.8 (-58.3)	452.4 (5.6)	92.2 (-78.5)	261.0 (-39.1)	169.0 (-60.6)	428.4	537.0
	이목정	378.5 (-10.4)	89.3 (-78.9)	27.7 (-93.4)	33.3 (-92.1)	90.5 (-78.6)	103.8 (-75.4)	422.4	505.2

주) 괄호안의 값은 실측 지체시간(정의 1)과 각 방법별 산정결과와의 변화율(%)을 나타냄.

4. 유역응답시간 회귀식 유도

유역응답시간과 유역특성인자간의 회귀분석을 실시하기 위하여 선행되어야 할 작업은 유역응답시간에 영향을 미치는 변수를 선택하는 것이다. 본 연구에서는 유역응답시간 회귀식을 결정하는데 있어 도달시간 회귀식은 변수 L , S , CN , C 를 채택하였으며, 지체시간 회귀식은 변수 L , S , L/S , AL/S , LLc/\sqrt{S} 를 채택하여 회귀식을 유도하였다. 표 4는 도달시간 정의 1, 2에 따라 변수들과 실측 도달시간간의 회귀분석을 실시하여 유도된 도달시간 회귀식을 나타내고 있으며, 표 5는 정의 1, 2에 따라 변수들과 지체시간간의 회귀분석을 실시하여 유도된 지체시간 회귀식을 나타내고 있다. 표 4~5를 살펴보면 도달시간은 정의 1에 바탕을 두고 변수 L , S 를 적용한 경우가 가장 상관성이 높은 회귀식으로 나타났으며, 지체시간 또한 정의 1에 바탕을 두고

변수 L , S 를 적용한 경우가 가장 상관성이 높은 회귀식으로 나타났다.

표 4. 도달시간에 대한 회귀분석

변 수	정의 1		정의 2	
	유도된 회귀식	상관계수	유도된 회귀식	상관계수
L	$t_{c1} = 2.24 L^{0.424}$	0.84	$t_{c2} = 1.19 L^{0.391}$	0.54
L,S	$t_{c1} = 1.166 L^{0.131} S^{-0.369}$	0.94	$t_{c2} = 0.82 L^{0.013} S^{-0.476}$	0.66
L,S,CN	$t_{c1} = 0.283 L^{0.376} S^{-0.259} CN^{0.459}$	0.89	$t_{c2} = 0.151 L^{0.357} S^{-0.178} CN^{0.58}$	0.56
L,S,CN,C	$t_{c1} = 0.333 L^{0.351} S^{-0.257} CN^{0.415} C^{-0}$	0.89	$t_{c2} = 0.151 L^{0.351} S^{-0.236} CN^{1.777} C^{0.7}$	0.64

표 5. 지체시간에 대한 회귀분석

변 수	정의 1		정의 2	
	유도된 회귀식	상관계수	유도된 회귀식	상관계수
L, S	$t_{L1} = 1.425 L^{0.155} S^{-0.434}$	0.94	$t_{L2} = 0.379 L^{0.030} S^{-0.593}$	0.68
L/S	$t_{L1} = 0.833 (L/S)^{0.233}$	0.93	$t_{L2} = 1.870 (L/S)^{0.307}$	0.65
(AL)/S	$t_{L1} = 4.264 (A L/S)^{0.088}$	0.69	$t_{L2} = 4.738 (A L/S)^{0.095}$	0.78
(LL _C)/√S	$t_{L1} = 4.609 (LL_C/\sqrt{S})^{0.120}$	0.74	$t_{L2} = 5.321 (LL_C/\sqrt{S})^{0.124}$	0.80

5. 결론

본 연구는 국내 실무에서 사용되고 있는 유역응답시간 산정식의 적용성을 검토하고자 국내 중규모유역에서 실측수문곡선으로부터 도달시간과 지체시간을 산정하고 기존의 유역응답시간 산정식과 비교, 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 도달시간 산정식에 의한 결과는 실측수문곡선으로부터 산정된 도달시간에 비해 모든 대상유역에서 과소한 값을 나타내고 있다.
- (2) 지체시간 산정식의 경우 Clark 공식과 SCS 공식은 모든 대상유역에서 과소한 값을 나타내고 Snyder 공식, Linsley 공식, Eagleson 공식, Rao와 Delleur 공식은 대상유역에 따라 과다 또는 과소한 경향을 나타내고 있다.
- (3) 실측수문자료에서 산정된 유역응답시간과 기존의 산정식에서 결정된 값들이 상이하게 나타나 중규모유역에서 기존의 유역응답시간 산정식의 적용성이 떨어진다고 판단된다.
- (4) 대상유역에서 결정된 유역응답시간과 유역특성인자간의 회귀분석을 실시하여 국내 중규모유역에서 적용할 수 있는 도달시간과 지체시간 산정식을 제안하였다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (1983~2002). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
2. 국립방재연구소 (1999). 방재조절지의 설계지침 개발(II).
3. 이정식, 이재준, 박종영 (2001). 수공구조물 설계를 위한 설계강우의 수문학적 특성분석, 한국수자원학회 논문집, 제34권, 제1호, pp.49~57.
4. 심재현, 조원철(1998), 홍수도달시간과 임계지속기간의 개념 비교(II), 한국수자원학회지, 제31권, 제6호, pp.60~67.
5. Singh, V. P. (1988). *Hydrologic Systems Rainfall-Runoff Modeling*, Vol.1, Prentice Hall.