

인천연안 도서지역 소하천의 도달시간 산정(영흥도를 중심으로)

Estimate of Time of Concentration for Stream at Island of Incheon

최계운* · 정연중** · 한만신***

Choi, Gye Woon · Chung, Yeoun Jung · Han, Man Shin

Abstract

Kirpich formula was selected as the proper formula for calculating the concentration time at island streams. Kirpich formula can be applied for the expanded range from surface area of 0.453km² and channel bed slope of 3~5% to surface area of 2.0km² and channel bed slope of 1.5%.

Key Word : Time of Concentration, Stream of Island.

1. 서론

강우가 해당유역에 발생하였을 때 유역의 최상류점에서 최하류부까지 유량이 도달하는 시간을 홍수도달 시간(Time of concentration)이라 하고, 이 때 하구부는 첨두유량이 발생하게 된다. 현재 우리나라에서는 실무에서 주로 Kirpich 공식, Kraven공식, Rizha공식, Kerby공식, California Culvert Practive공식, SCS lag공식 등이 사용되고 있으며, 하도길이, 하도경사 및 유역특성을 고려한 인자들을 사용하여 산정되어진다. 설계자에 의하여 하도흐름이 지배적인 유역과 지표면 흐름이 지배적인 유역으로 구분하고, 각각의 공식의 적용조건에 맞는 값을 선택하여 사용하고 있다. 이러한 공식들은 외국의 유역에 적용이 가능한 공식으로 국내에 적용할 때, 과도하거나 과소하게 산정되는 경향이 있어 이를 평균하거나 주관에 의하여 선택하고 있다.(심재현 등, 1998) 본 연구에서는 인천연안 도서지역의 소하천을 대상으로 실제 발생된 강우사상을 통하여 실측된 수위, 유속, 횡단면자료 등을 통하여 유량을 산정하고 HEC-HMS(2.2.2)프로그램을 이용하여 유출모의를 실시하여 도달시간의 비교분석을 통하여 올바른 도달시간 값을 제시하고자 한다.

2. 기본이론 및 대상유역

2.1 도달시간 공식

Kraven공식은 유로길이 및 유로경사로부터 산정되는 경험공식으로 지표면 흐름이 지배적인 중하류, 하도경사가 1/200이하인 유역에 주로 적용된다.

$$T_c = 0.444LS^{-0.515} \quad (1)$$

여기서 L은 유로길이(km), S는 유로경사(H/L, m/m)이다.

Rizha공식은 유로연장과 유역의 평균경사로부터 도달시간을 산정하는 경험공식으로 지표면 흐름이 지배적인 상류로 하도경사가 1/200 이상인 유역에 주로 적용한다.

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 · 교수 · E-Mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 비회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 · 박사과정 · E-Mail : chungyj@incheon.go.kr

*** 비회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 · 박사과정 · E-Mail : 8190hansman@hanmail.net

$$T_c = 0.833LS^{-0.6} \quad (2)$$

여기서 L은 유로길이(km)를 S는 유역의 평균경사(H/L, m/m)를 나타낸다.

SCS공식은 미국토질보전국(US Soil Conservation Service)에서 SCS무차원 우량주상도의 작성시 필요한 유역의 지체시간을 산정하기 위하여 개발한 공식이다.

$$T_c = [100L^{0.8}((1000/CN)-9)^{0.7}]/[1900S^{0.5}] \quad (3)$$

여기서 L은 최장흐름경로(ft)를 나타내며 CN은 SCS 유출곡선지수이다. 본 방법은 주로 농경지 유역에 적용되며 0.8km이하의 도시유역에도 적용가능한 것으로 알려져 있으며 도시유역의 불투수지역에서는 유역지체시간에 1.67배한 값을 적용하기도 한다.

Kerby공식은 지표류 흐름이 지배적인 작은 소유역에 적용가능하며, 피복상태에 따른 N값을 이용하여 산정한다.

$$T_c = 36.264(L \cdot N)^{0.467}/S^{0.2335} \quad (4)$$

여기서, L은 유로길이(km)를 S는 유로의 평균경사(H/H, m/m)를 나타내고 N은 유역의 조도를 나타내는 상수이다.

California Culvert Practive 공식은 하천설계기준에 산지 소유역에 적용하는 공식으로 제시하고 있으며, 유로길이와 경사에 의하여 산정한다.

$$T_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385} \quad (5)$$

여기서, L은 최장유로길이(mi)를 나타내고 H는 상류분할점과 출구의 표고차(ft)를 나타내는 상수이다.

하도와 지표면 흐름이 중요한 역할을 하는 유역에 적용될 수 있는 공식에는 Kirpich공식, McCuen공식, Eagleson공식 등이 있다. 이중 널리 사용되는 Kirpich공식은 다음과 같다.

$$T_c = 3.976L^{0.77}S^{-0.385} \quad (6)$$

2.2 대상유역 현황 및 유량조사

수위 및 유속측정을 위하여 인천광역시 옹진군내에 위치한 영흥도를 대상으로 실시하였으며, 연육도로가 개설되어 강우시 이동하기 편리한 도서를 선택하였다. 영흥도 내의 총 9개 하천 중에서 신담천과 중앙천을 제외하고 배수위 영향이 없는 7개 소하천을 대상으로 11개 지점에 대하여 유량산정을 위한 수위표를 설치하였으며, 유속측정을 위하여 저수위에는 1차원 유속계인 SENSE-Z300을 사용하였고, 홍수위에는 부자측정을 실시하였다.

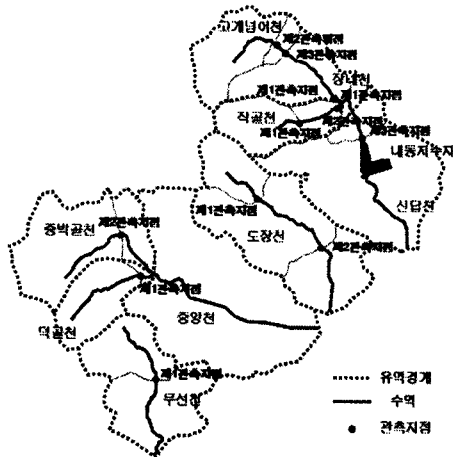


그림 1 수위표 설치지점 및 하천현황



그림 2 수위표 설치 및 유속측정현황

유량조사를 위하여 2006년 6월~7월까지의 장마철에 대한 유량 조사를 실시하였으며, 강우자료는 영홍도 면사무소 옥상에 설치된 자기우량관측기(AWS)를 이용하여 데이터를 추출하였다.

3. 홍수도달시간 산정

3.1 유입시간을 고려한 홍수도달시간 산정

영홍도 소하천의 홍수도달시간을 산정하기 위하여 유입시간과 유하시간을 구분하여 산정하였으며, 유하시간의 경우 각 공식별로 입력값을 적용하여 산정하였지만, 유입시간의 경우 하도가 없는 경우에 대하여 유역의 최원점으로부터 유역내 하천의 최하류지점까지 가상의 하도로 가정하여 하도내 홍수도달시간을 산정하는 공식을 그대로 적용하는 방법(제1방법), 유역의 최원점부터 하도의 유입부지점까지를 가상의 하도로 가정하여 유입시간으로 산정하고 하도내 흐름을 유하시간으로 하여 유입시간과 유하시간의 합으로 홍수도달시간을 산정하는 방법(제2방법), 토지이용도에 따른 지표면류와 면상류의 평균유속 도표를 이용하여 유역의 평균유속을 산정한 후 직선거리에 나누어 유입시간을 결정하는 방법(제3방법)으로 구분하였다. 표 1~3은 유입시간 산정방법에 따른 홍수도달시간 결과 값을 보여주고 있다.

표 1 제1방법에 의한 공식별 홍수도달시간

하천명	지점명	공식별 홍수도달시간 계산결과(hr)					
		Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS
고개넘어천	제2관측지점	0.1225	0.7621	0.0169	0.0374	0.1226	0.5469
	제3관측지점	0.1520	0.8120	0.0225	0.0504	0.1522	0.7032
장내천	제1관측지점	0.1902	0.8133	0.0301	0.0685	0.1904	0.9260
	제3관측지점	0.2072	0.7867	0.0337	0.0769	0.2074	0.9779
작골천	제1관측지점	0.0925	0.6263	0.0117	0.0251	0.0926	0.4616
	제2관측지점	0.1896	0.9009	0.0300	0.0676	0.1898	0.9088
중박골천	제2관측지점	0.1910	0.9594	0.0303	0.0698	0.1912	1.0541
덕골천	제1관측지점	0.2115	1.0481	0.0346	0.0799	0.2117	0.9995
도장천	제1관측지점	0.0978	0.6815	0.0126	0.0272	0.0979	0.4916
	제2관측지점	0.2404	1.0402	0.0409	0.0939	0.2406	1.0396
무선천	제1관측지점	0.1280	0.7828	0.0179	0.0398	0.1281	0.6063

표 2 제2방법에 의한 공식별 홍수도달시간

하천명	지점명	공식별 홍수도달시간 계산결과(hr)					
		Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS
고개넘어천	제2관측지점	0.2494	1.7636	0.0313	0.0758	0.2496	1.2349
	제3관측지점	0.3399	2.3563	0.0431	0.1077	0.3402	1.7436
장내천	제1관측지점	0.6212	3.7879	0.0852	0.2208	0.6218	3.3444
	제3관측지점	0.7070	4.2488	0.0964	0.2531	0.7077	3.8667
작골천	제1관측지점	0.1331	1.0215	0.0155	0.0358	0.1332	0.7080
	제2관측지점	0.3552	2.0131	0.0534	0.1361	0.3556	2.0023
증박골천	제2관측지점	0.3302	2.0031	0.0490	0.1257	0.3306	2.0393
덕골천	제1관측지점	0.3225	1.7423	0.0510	0.1285	0.3229	1.6629
도장천	제1관측지점	0.1423	1.1214	0.0169	0.0394	0.1425	0.7674
	제2관측지점	0.4986	2.9180	0.0742	0.1928	0.4991	2.6190
무선천	제1관측지점	0.1878	1.2960	0.0244	0.0592	0.1880	0.9793

표 3 제3방법에 의한 공식별 홍수도달시간

하천명	지점명	공식별 홍수도달시간 계산결과(hr)					
		Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS
고개넘어천	제2관측지점	0.4620	1.4098	0.3289	0.3585	0.4621	1.1128
	제3관측지점	0.5525	2.0025	0.3407	0.3904	0.5527	1.6214
장내천	제1관측지점	0.8338	3.4341	0.3828	0.5034	0.8343	3.2223
	제3관측지점	0.9196	3.8949	0.3940	0.5357	0.9202	3.7446
작골천	제1관측지점	0.2252	0.7157	0.1559	0.1699	0.2253	0.6007
	제2관측지점	0.4474	1.7073	0.1938	0.2702	0.4477	1.8950
증박골천	제2관측지점	0.5169	1.6453	0.3129	0.3766	0.5172	1.8610
덕골천	제1관측지점	0.5569	1.4222	0.3695	0.4322	0.5572	1.5775
도장천	제1관측지점	0.2520	0.7790	0.1811	0.1961	0.2521	0.6464
	제2관측지점	0.6083	2.5755	0.2384	0.3495	0.6087	2.4980
무선천	제1관측지점	0.4438	0.9670	0.3705	0.3892	0.4440	0.8606

유입시간을 세 가지 방법에 의한 공식별 홍수도달시간을 산정하였을 때, 유역의 최원점으로부터 하천의 최하류부 지점까지를 가상의 하도로 연결하였을 경우 하상경사가 커지게 되어 홍수도달시간이 지나치게 작게 나타났고, 유역의 최원점으로부터 하천본류 유입부까지를 가상의 하도로 연결하여 공식에 의하여 유입시간을 계산하였을 때, 공식의 특성에 의한 영향이 크게 나타나 지표면에 대한 흐름을 현실성 있게 나타내기 곤란하여 본 연구에서 홍수도달시간은 도표에 의한 평균유속을 산정하여 유입시간을 계산하는 방법으로 결정하였다.

3.2 홍수도달시간을 이용한 침투홍수량 발생시간 비교

측정지점별로 분할된 유역에 대하여 입력값으로 실제 강우를 이용하여 유출모의를 실시한 후, 현장에서 관측된 수위, 유량자료를 활용한 침투유량 발생시간과 비교하였다. 총 강우량 중에서 유출모의는 HEC-HMS (Version 2.2.2)를 이용하였으며, SCS 곡선지수를 이용하여 유효유량을 산정하였고, Clark의 유역추적법을 이용하였다. 기저유출은 없는 것으로 간주하였으며, 각 하도에 대하여는 하도를 통한 지하침투량은 없는 것으로 가정하였다. 유출곡선지수인 CN값을 AMC I, AMC II, AMC III 조건에 따라 계산하여 강우가 발생한 일

을 기준으로 5일 선행강우량을 판단하여 제시하였다. 실제 현장의 실측치와 각 공식에 의한 침투유량 발생시간을 표 3과 같이 비교하였다. 실측치와 가장 근접하게 침투홍수량 발생시간을 갖는 홍수도달시간공식이 현장조건을 가장 잘 반영하는 것으로 판단하여 적정공식으로 결정하였다. Kraven공식으로 산정된 침투유출 발생이 가장 빠르게 나타났으며, Kirpich공식과 California공식이 경우 도달시간 계산결과 홍수도달시간이 동일하게 산정이 되어 침투유량 발생시간도 동일하게 나타났다.

표 4 공식에 의한 최대유량 발생시간과 관측치 비교

지점	강우시작 시간	공식별 최대유량 발생시간							관측치	결정공식	선행강우 조건
		Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS				
고개 넘어천	제2관측지점	14:22	20:24	21:09	20:17	20:19	20:24	20:55	20:26	Kirpich, California	AMC II
	제2관측지점	04:25	06:18	07:05	06:12	06:13	06:18	06:50	06:07	Kraven, Rziha	AMC I
	제3관측지점	01:09	03:57	05:22	03:44	03:46	03:57	04:58	03:45	Kraven, Rziha	AMC I
장내천	제1관측지점	08:17	12:06	13:52	10:47	10:56	12:07	13:42	12:00	Kirpich, California	AMC I
	제3관측지점	08:17	12:08	13:55	10:48	10:58	12:08	13:51	12:00	Kirpich, California	AMC I
작골천	제1관측지점	21:46	23:33	23:54	23:31	23:32	23:33	23:49	23:10	Kraven, Rziha	AMC I
	제2관측지점	08:17	10:53	12:46	10:39	10:43	10:53	12:54	11:00	Kirpich, California	AMC I
중박골천	제2관측지점	14:22	20:26	21:21	20:17	20:19	20:26	21:31	20:30	Kirpich, California	AMC II
덕골천	제1관측지점	14:22	20:28	21:00	20:19	20:22	20:28	21:30	20:10	Kraven, Rziha	AMC II
도장천	제1관측지점	11:19	11:46	12:05	11:43	11:44	11:46	11:58	11:50	Kirpich, California	AMC I
	제2관측지점	04:21	07:16	09:06	07:01	07:04	07:16	09:03	07:23	Kirpich, California	AMC III
무선천	제1관측지점	01:09	03:48	04:19	03:45	03:46	03:48	04:14	03:55	Kirpich, California	AMC I

표 5 공식의 적용범위에 대한 적정성 검토

지점명	유역면적 (km ²)	하상경사	공식별 제한범위에 대한 적정성 검토						
			Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS	
			하도경사 : 3~5% 유역면적 : 0.453km ² 이하	-	지표면흐름 : 중하류 하도경사 : 0.005이하	지표면흐름 : 상류 하도경사 : 0.005이상	산지 소유역	농경지 유역	
고개 넘어천	제2관측지점	0.53	0.0275	x	o	x	o	o	o
	제3관측지점	0.63	0.0230	x	o	x	o	o	o
장내천	제1관측지점	1.17	0.0186	x	o	x	o	o	o
	제3관측지점	1.94	0.0152	x	o	x	o	o	o
작골천	제1관측지점	0.41	0.0461	o	o	x	o	o	o
	제2관측지점	0.56	0.0258	x	o	x	o	o	o
중박골천	제2관측지점	0.83	0.0155	x	o	x	o	o	o
덕골천	제1관측지점	0.50	0.0195	x	o	x	o	o	o
도장천	제1관측지점	0.63	0.0371	x	o	x	o	o	o
	제2관측지점	1.21	0.0206	x	o	x	o	o	o
무선천	제1관측지점	0.44	0.0121	x	o	x	o	o	o

본 연구의 대상유역인 연안도서지역 하천에서는 홍수도달시간이 관측치와 매우 가깝고 산지 소유역의 특성을 잘 반영하는 것으로 판단된 Kirpich공식과 California공식이 비교적 합리적인 공식으로 나타났다. 적정공식을 산정하기 위하여 지금까지 문헌 등에 제시된 적용범위를 감안하여 본 검토에서 산정된 결과와 표 4와 같이 비교를 실시하였다. 표 4에서 음영으로 표시한 것은 침투유량 발생시간과 가장 근접한 공식을 나타내고 있고 문헌에 나타난 공식의 적용범위를 적용할 수 있는지에 대한 가능성을 O, X로 나타내었다. 유역면

적이 작은 작골천과 덕골천에는 Rziha공식이 적합하며, 두 지점을 제외한 하천에 대하여는 California공식이 적정하다고 제안하였다. 하지만, California공식과 Kirpich공식이 동일한 값을 갖는 공식으로 계산되었고, 실무적으로는 California공식이 그다지 많이 사용되지 않는 점을 감안하여 미터단위계를 갖고 있는 Kirpich공식을 사용하도록 하였다. 그러나, Kirpich공식은 0.453km²면적 내에서만 사용하도록 제시되어 있으므로 이의 적용범위를 확대할 필요가 있다. 그림 3에서 보는바와 같이 하천설계기준에서 Kirpich공식의 제한범위를 유역면적 0.453km²이하와 하상경사 3~5%로 제한하고 있으나, 영흥도 하천유역에 대하여 적용하였을 때, 유역면적 2km²이내의 범위에서 하상경사 1.5%이상인 경우에 적용이 가능한 것으로 검토되었다.

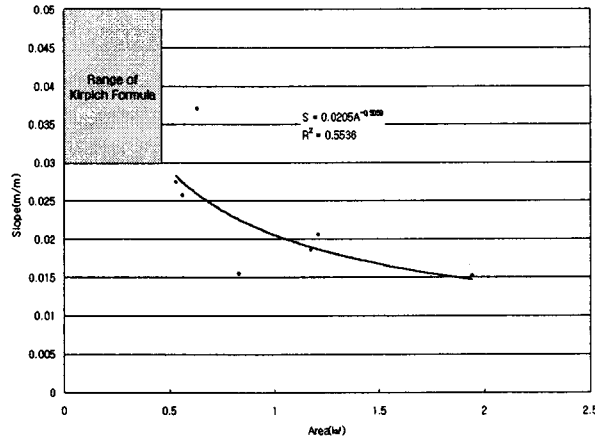


그림 3 본 연구에서 제안된 Kirpich공식의 제한범위

4. 결 론

본 연구에서는 홍수도달시간 산정에 있어서 유입시간을 고려할 때, 도표를 이용하여 평균유속을 산정한 후 유입시간을 결정하는 방법이 다른 방법에 비하여 유역의 조건을 잘 반영하여 홍수도달시간 산정시 사용하였다. 홍수도달시간 산정공식에 의한 홍수도달시간은 Kraven공식<Rziha공식<Kirpich공식(California공식)<Kerby공식<SCS lag공식으로 나타났다. 측정지점별 소유역의 실제 강우에 대한 침투홍수량 발생시간을 검토하여 현장 실측치와 계산치에 대하여 비교하면 전체적으로 Kirpich공식(California공식)이 적합하였다.

Kirpich공식과 California공식은 단위의 변환에 의한 동일한 공식으로 판단되며, 영흥도 하천유역에 적용하기 위해서는 Kirpich공식의 제한범위를 유역면적 2km²이내와 하도경사 1.5%이상으로 확대 적용하는 것이 바람직하다. 도서지역 특성상 하도경사가 급하고 하도가 짧기 때문에 침투유출은 빠르고 크게 발생하는 특징이 있어, 정확한 홍수량 산정은 매우 중요한 요소이며, 이를 고려한 하천관리체계가 수립되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 심기오, 이철규(2000), "산지 소유역의 도달시간 결정에 관한 고찰", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.239~244
2. 심재현, 조원철(1998), "홍수도달시간과 임계지속시간의 개념 비교(I)", 한국수자원학회지, 제31권5호, pp.115~130
3. Kirpich, T.P.(1940), "Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds." Civil Engineering, Am. Soc, Vol.10, pp.362.