

연안도서지역 소하천 유역의 홍수도달시간 산정

Estimate of Time of Concentration for Stream at Island near Coastal Region

정 연 중* / 최 계 운** / 한 만 신*** / 정 상 만****
Chung, Yeoun Jung / Choi, Gye Woon / Han, Man Shin / Jung, Sang Man

Abstract

After installing calibrated depth scale at 11 different points inside the nine streams network for estimating time of concentration of stream in Young-Heung island near coastal region of Incheon we estimated the flow against actual rainfall events. By considering time of concentration formula which here mainly used for estimating the time of concentration from practical experiments, compared were three methods of inflow time and accepted to method of used the chart. The maximum flow occurrence time was estimated by an outflow model and observed maximum flow occurrence time were determined by to a comparative analysis. Kirpich formula was selected as the proper formula for calculating the concentration time inside the island streams. Kirpich formula could be applicable for the expanded range while catchment area of 0.453km² and channel bed slope of 3~5% to catchment area of 2.0km² and channel bed slope of about 1.5%.

key words : Time of Concentration, Kirpich formula, Island stream, catchment area

요 지

인천연안도서지역 소하천의 홍수도달시간을 산정하기 위하여 영흥도의 9개 소하천을 대상으로 11개 지점에 수위표를 설치하고 실제 강우사상에 대하여 유량을 산정하였다. 실무에서 주로 사용되고 있는 홍수도달시간공식을 이용하여 유량산정 지점별 홍수도달시간을 산정하였으며, 유입시간을 고려하기 위하여 3가지 방법으로 비교하였고, 도표에 의한 방법을 채택하였다. 유출모형을 이용하여 산정된 첨두홍수량 발생시간과 관측된 첨두유량 발생시간을 비교분석하였다. 연안도서지역에 적합한 도달시간공식으로 Kirpich공식을 채택하였으며, 통상적으로 알려진 Kirpich공식의 적용범위가 유역면적 0.453km²이하로 하도경사 3~5%까지 였으나, 본 연구를 통하여 유역면적을 2.0km²까지 확대하고 유역면적 증가에 따라 하도경사도 1.5%까지 확대 사용가능하도록 적용범위를 확대하여 제안하였다.

핵심용어 : 도달시간, Kirpich공식, 도서지역 소하천, 유역면적

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 공학박사 (E-mail : chungyj@incheon.go.kr)
** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정
**** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

1. 서 론

강우가 발생하였을 때 해당유역의 최상류점에서 최하류부까지 유량이 도달하는 시간을 홍수도달시간(time of concentration)이라 하고, 유역 내 강우지속시간이 홍수도달시간에 이르면 유역의 하구부는 첨두유량이 발생하게 된다.

McCuen(1984) 등은 유역의 최원점에서부터 유역의 출구 또는 설계지점까지 물입자가 이동하는데 필요한 시간으로 유효우량의 중심에서 직접유출의 중심까지로 홍수도달시간을 정의하였다.

Pilgrim(1976)은 실제의 유역에서 SCS의 개념으로 홍수도달시간을 실측하여 도달시간이 유량에 따른 함수임을 제시하였으며, 홍수도달시간을 유역의 최원점에서 유효우량의 발생시각과 출구에서 이 유효우량에 의해 발생하는 홍수량의 유출시각 사이의 시간으로 재 정의한 바 있다.

현재 우리나라에서는 실무에서 주로 Kirpich공식, Kraven공식, Rziha공식, Kerby공식, California Culvert Practice공식, 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, 상당한 오차를 유발하는 경향이 있어 이를 평균하거나 주관에 의하여 선택하고 있다(심재현 등, 1998).

본 연구에서는 인천연안 도서지역의 소하천을 대상으로 실제 발생된 강우사상에 대하여 실측된 수위, 유속, 횡단면자료 등을 이용하여 유량을 산정한 후, HEC-HMS(2.2.2) 프로그램을 이용하여 유출모의를 실시하였다. 관측에 의한 유량과 유출모의에 의한 유량을 비교분석하여, 인천연안도서지역의 소하천에 대한 올바른 홍수도달시간을 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.

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

여기서 Tc 는 홍수도달시간(min), L 은 유로길이

(km), S 는 유로경사(H/L , m/m)이다.

Rziha공식은 유로연장과 유역의 평균경사로부터 도달시간을 산정하는 경험공식으로 지표면 흐름이 지배적이며, 하도경사가 1/200 이상인 상류유역에 주로 적용한다.

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

여기서 Tc 는 홍수도달시간(min), L 은 유로길이(km)를 S 는 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.

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

여기서 Tc 는 홍수도달시간(min), L 은 최장흐름경로(ft)를 나타내며 CN 은 SCS 유출곡선지수이다. 본 방법은 주로 농경지 유역에 적용되며 0.8km이하의 도시 유역에도 적용가능한 것으로 알려져 있으며, 도시유역의 불투수지역에서는 유역지체시간에 1.67배한 값을 적용하기도 한다.

Kerby공식은 지표면 흐름이 지배적인 작은 소유역에 적용가능하며, 피복상태에 따른 N 값을 이용하여 산정한다.

$$Tc= 36.264(LN)^{0.467}/S^{0.2335} \quad (4)$$

여기서, Tc 는 홍수도달시간(min), L 은 유로길이(km)를 S 는 유로의 평균경사(H/H , m/m)를 나타내고 N 은 유역의 조도를 나타내는 상수이다.

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

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

여기서, Tc 는 홍수도달시간(min), L 은 최장유로길이(mi)를 나타내고 H 는 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.

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

여기서, T_c 는 홍수도달시간(min), L 은 유역의 최장하천길이(km)를 나타내고 S 는 유역의 평균경사(H/L , m/m)이고, H 는 유역출구점과 본류 최원점까지의 표고차를 나타낸다.

국내 하천유역을 대상으로 홍수도달시간과 유역 및 하도의 특성인자들과의 상관관계를 분석한 결과를 보면, 장성모(2003)는 임계지속시간에 가장 큰 영향을 미치는 유역인자로는 유역면적, 유역경사, 하천연장이며, 그 외 형상계수, 유역평균고도, CN값은 그 영향이 미비한 것으로 결론을 도출하였다.

하수용(2003)은 임계지속시간과 유역특성 인자인 유역면적, 유로연장 평균 폭 간의 상관성은 높게 나왔으나, 유역의 형상계수나 유로경사는 상관성이 적은 것으로 제시하였다. 강상진(2000)은 기존에 제시된 공식들 중에서 6개의 공식을 선정하여 표준화를 위한 단위 및 입력변수를 통일시켰으며, 하도길이가 길어질수록 SCS공식이 가장 큰 변화를 나타냈고 유역표고차의 입력변수에서는 Kerby공식이 가장 큰 변화율을 보이고, 적용대상 유역에 대하여 Rziha공식과 SCS공식이 실측치와 가장 비슷한 것으로 제시하였다.

안상대(2002)는 각 공식별 도달시간을 비교분석하였으며, 유로연장과 도달시간은 선형적으로 비례하고, Kirpich공식은 다른 공식들에 비해 크게 나타나는 경향을 보이고 SCS공식은 과소한 경향을 나타내고 있다고 밝혔다. 그는 또한, 홍수도달시간은 유역면적에 비례하나, 유역평균경사는 반비례하는 것을 연구결과로 제시하였다.

류근상(2003)은 홍수도달시간에 큰 영향을 미치는 유역의 형상인자는 유역면적, 유로연장, 유역경사, 하상경사이며 유역형상계수는 영향이 적은 것으로 나타났다. 연구 결과, 산지소하천의 경우 Kerby공식, SCS공식은 과다 산정되고 Rziha공식, Kraven공식은 홍수도달시간이 과소 산정되어 비교적 안전한 식으로는 Kirpich공식으로 판단하였다.

2.2 대상유역 현황 및 유량조사

수위 및 유속측정을 위하여 인천광역시 옹진군내에 위치한 영흥도를 대상으로 실시하였으며, 연육도로가 개설되어 강우시 이동하기 편리한 도서를 선택하였다. 그림 1은 영흥도의 소하천에 수위표를 설치한 지점을 표시하고 있으며, 관측지점별 유역을 분할하였다.

수위표는 영흥도 내의 총 9개 하천 중에서 신담천과 중앙천을 제외하고 배수위 영향이 없는 7개 소하천을 대상으로 11개 지점에 대하여 설치하였으며, 유속측정을 위하여 저수위에는 1차원 유속계인 SENSE

-Z300을 사용하였고, 홍수위에는 부자측정을 실시하였다. 유량조사를 위하여 2006년 6월~7월까지의 장마철에 대한 유량 조사를 실시하였으며, 강우자료는 영흥도 면사무소 옥상에 설치된 자기유량관측기(AWS)를 이용하여 데이터를 추출하였다.

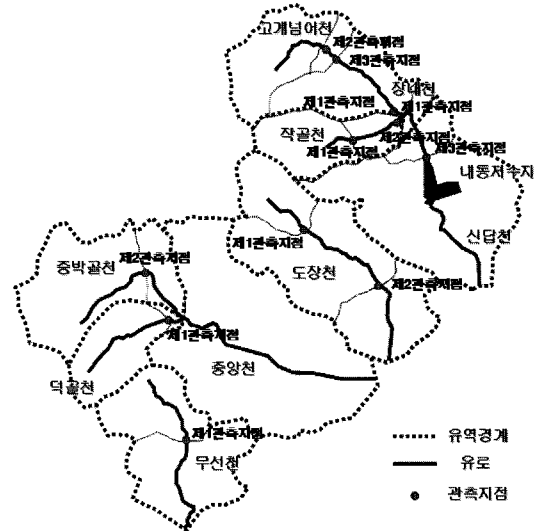


그림 1. 유량산정을 위한 소유역 분할

3. 홍수도달시간 산정

3.1 유입시간을 고려한 홍수도달시간 산정

홍수도달시간을 산정하기 위하여는 하도내 흐름인 유하시간과 유역의 최원점으로부터 하도 유입부구간의 흐름인 유입시간을 고려하여야 한다.

소하천시설기준(1999)에서는 유역면적이 2km²이내인 구간에 대하여 유입시간을 산지유역은 30분, 급경사면 유역은 20분, 하수도 정비 구역은 30분으로 구분하고 있을 뿐, 현장상태를 고려하지 않은 단순한 유입시간을 제시하고 있다.

허창환(1992)은 낙동강 유역의 소유역을 대상으로 유역과 하도를 구분하여 홍수도달시간을 산정하였으며, 유역의 지형인자를 이용하는 모델을 이용하여 지형인자와 강우특성인자를 분석하여 각 공식의 적용성을 비교분석하였다. McCuen(1984)등은 미국 전역의 48개 유역에서 실측한 결과와 각각의 공식에 대한 평가를 실시한 결과 Kinematic Wave공식 및 SCS유속도표법이 모든 유역에 가장 잘 적용될 수 있으며, 유역의 지표면 상태에 따라 이를 구분하여 홍수도달시간을 구한다면 매우 정확한 홍수도달시간을 계산할 수 있다고 결론지었다.

본 연구에서는 영흥도 소하천의 홍수도달시간을 산정하기 위하여 그림 2와 같이 유입시간과 유하시간을

구분하고자 3가지 방법을 제안하였다.

제1방법은 유역의 최원점으로부터 유역내 하천의 최하류지점까지 가상의 하도로 가정하여 하도내 홍수도달시간을 산정하는 공식을 그대로 적용하는 방법을 사용하였다.

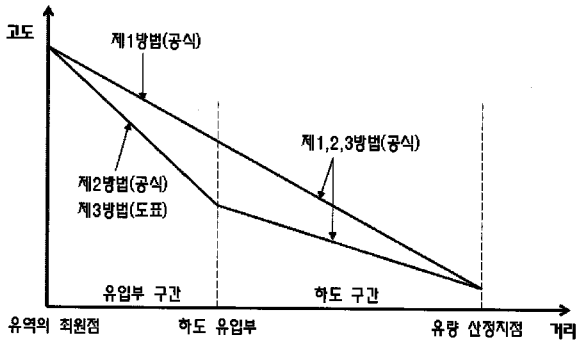


그림 2. 유입시간을 고려하기 위한 방법별 비교

제2방법은 유역의 최원점으로부터 하도의 유입부지점까지를 가상의 하도로 가정하여 홍수도달시간공식을 이용하여 유입시간을 산정하고 하도내 흐름을 유하시간으로 하여 동일하게 공식으로 산정한 후, 유입시간과 유하시간의 합으로 홍수도달시간을 산정하는 방법을 사용하였다.

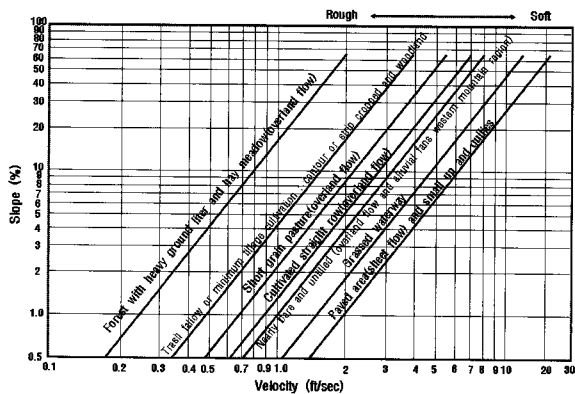


그림 3. 토지이용과 경사에 의한 평균유속(심, 1998)

제3방법은 그림 3에서 보는 바와 같이 토지이용도에 따른 지표면류와 면상류의 평균유속 도표를 이용하여 유입부구간의 지표형태에 따른 유역의 평균유속을 산정한 후 직선거리를 평균유속으로 나누어 유입시간을 결정하는 방법으로 구분하였다. 유입시간은 하도구간을 공식으로 산정한 후, 유입시간과 유하시간을 합하여 홍수도달시간으로 산정하였다.

유입시간의 경우 하도가 시작되는 지점으로부터 상류부 유역의 경계면까지 가장 먼 지점으로부터 거리로 산정하였으며, 공식과 도표를 이용하여 계산된 결과를 표 1에 나타내었다.

유역의 최원점으로부터 유량산정지점까지의 거리에 따른 홍수도달시간 공식에 대한 홍수도달시간의 변화를 보면 제1의 방법의 경우 그림 4에서 보는바와 같이 최대시간이 1.2시간 이내로 나타나 제 2,3방법에 비하여 전체적으로 홍수도달시간이 짧게 나타나는 경향을 보이고 있고, 공식에 따라 증가하는 정도가 다르게 나타나고 있다. 또한, California공식과 Kirpich공식의 값이 동일하게 산정되어 회귀식이 일치하여 나타났다.

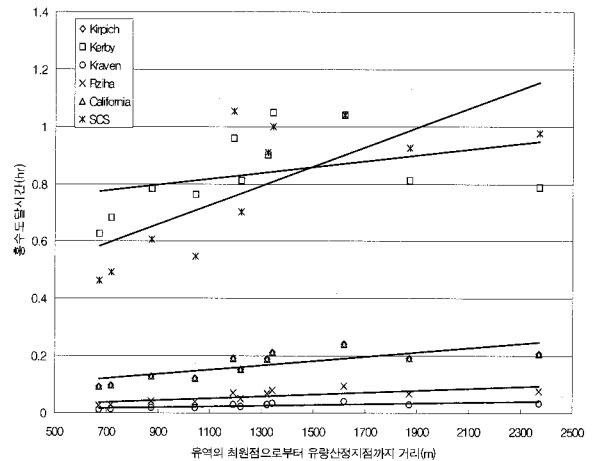


그림 4. 제1방법에 의한 홍수도달시간 비교

표 1. 공식과 도표를 이용하여 산정된 유입시간

하천명	각 공식을 이용한 유입시간 계산결과(hr)						도표를 이용한 유입시간 계산결과(hr)
	Kirpich	Kerby	Kraven	Rziha	California	SCS	
고개넘어천	0.0976	0.6640	0.0126	0.0275	0.0977	0.4323	0.3102
작골천	0.0540	0.4519	0.0058	0.0120	0.0541	0.2535	0.1462
도장천	0.0613	0.5134	0.0068	0.0143	0.0614	0.2920	0.1710
중박골천	0.0883	0.6327	0.0110	0.0241	0.0884	0.4532	0.2750
덕골천	0.0965	0.6510	0.0124	0.0271	0.0966	0.4163	0.3308
무선천	0.1036	0.6886	0.0136	0.0297	0.1037	0.4784	0.3597

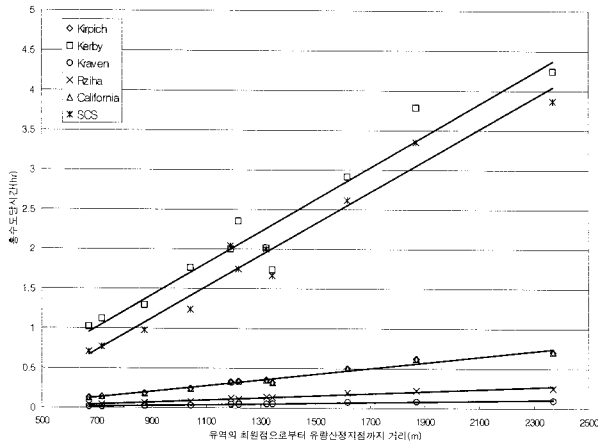


그림 5. 제2방법에 의한 홍수도달시간 비교

제2방법에 의한 홍수도달시간 산정결과 그림 5에서 보는 바와 같이 거리가 멀어질수록 공식별로 산정된 홍수도달시간의 차이가 더욱 커지는 경향을 나타내고 있으며, 그림 6에서는 제3방법에 의한 홍수도달시간 산정결과 유입시간이 도표에 의하여 적용이 되었기 때문에 공식별 홍수도달시간의 차이가 제2방법에 비하여 편차가 작아지는 것을 알 수가 있다.

따라서, 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.

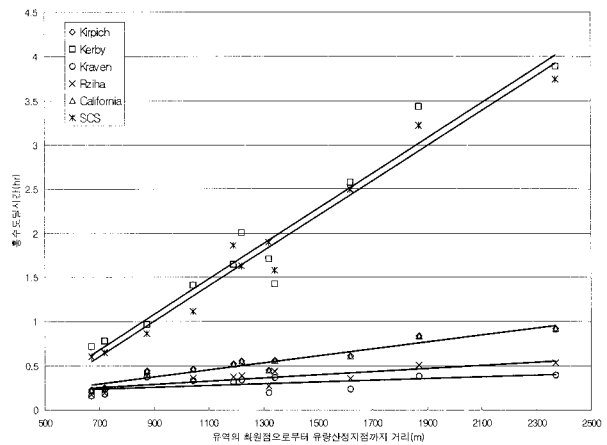


그림 6. 제3방법에 의한 홍수도달시간 비교

3.2 홍수도달시간을 이용한 침투홍수량 발생 시간 비교

측정지점별로 분할된 유역에 대하여 입력값으로 실제 강우를 이용하여 유출모의를 실시한 후, 현장에서 관측된 수위, 유량자료를 활용한 침투유량 발생시간과 비교하였다. 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 일을 기준으로 5일 선행강우량을 판단하여 제시하였다. 실제 현장의 실측치와 각 공식에 의한 침투유량 발생시간을 표 2와 같이 비교하였다. 실측치와 가장 근접하게 침투홍수량 발생시간을 갖는 홍수도달시간공식이 현장조건을 가장 잘 반영하는 것으로 판단하여 적정공식으로 결정하였다.

표 2. 공식별 산정된 침투유량 발생시간과 관측치 비교

지점	강우시작 시간 (시:분)	공식별 최대유량 발생시간(시:분)							관측치 (시:분)	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
	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 3. 홍수도달시간 공식의 제한범위에 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
고개넘어천	제2관측지점	0.53	0.0275	×	○	×	○	○	○
	제3관측지점	0.63	0.0230	×	○	×	○	○	○
장내천	제1관측지점	1.17	0.0186	×	○	×	○	○	○
	제3관측지점	1.94	0.0152	×	○	×	○	○	○
작골천	제1관측지점	0.41	0.0461	○	○	×	○	○	○
	제2관측지점	0.56	0.0258	×	○	×	○	○	○
중박골천	제2관측지점	0.83	0.0155	×	○	×	○	○	○
덕골천	제1관측지점	0.50	0.0195	×	○	×	○	○	○
도장천	제1관측지점	0.63	0.0371	×	○	×	○	○	○
	제2관측지점	1.21	0.0206	×	○	×	○	○	○
무선천	제1관측지점	0.44	0.0121	×	○	×	○	○	○

Kraven공식으로 산정된 침투유출 발생이 가장 빠르게 나타났으며, Kirpich공식과 California공식이 경우 도달시간 계산결과 홍수도달시간이 동일하게 산정되어 침투유출 발생시간도 동일하게 나타났다.

최대유출 발생시간을 비교하였을 때, 본 연구의 대상유역인 연안도서지역 하천에서는 홍수도달시간이 관측치와 매우 가깝고 산지 소유역의 특성을 잘 반영하는 것으로 판단된 Kirpich공식과 California공식이 비교적 합리적인 공식으로 나타났다.

또한, 적정공식을 산정하기 위하여 지금까지 문헌 등에 제시된 적용범위를 감안하여 본 검토에서 산정된 결과와 표 3과 같이 비교를 실시하였다.

표 3에서 음영으로 표시한 것은 침투유출 발생시간과 가장 근접한 공식을 나타내고 있고 문헌에 나타난 공식의 적용범위를 적용할 수 있는지에 대한 가능성을 O, X로 나타내었다.

적용결과 유역면적이 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 제안하였다. 그러나, Kirpich공식은 0.453km² 면적 내에서만 사용하도록 제시되어 있으므로 이의 적용범위를 확대할 필요가 있다.

그림 7에서 보는 바와 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.

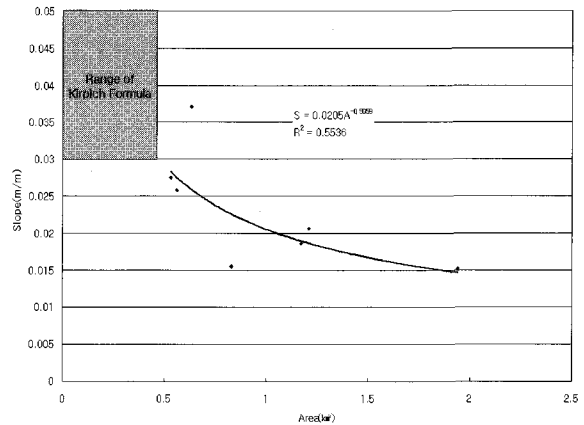


그림 7. Kirpich공식의 제한범위 검토

3.3 대상하천 내 적용공식

연안도서지역 하천의 적정공식을 제안하기 위하여 유출모의에 대한 결과와 실제 관측된 결과를 비교하였으며, 오차율을 적용하여 실측치와 가까운 홍수도달시간공식을 연안도서지역의 홍수도달시간 공식으로 제안하고자 한다. 공식의 적정성을 평가하기 위하여 오차율을 산정하였으며, 오차율의 계산은 식 (7)을 이용하였다.

$$E = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|t_i - T_i|}{T_i} \times 100 \right) \quad (7)$$

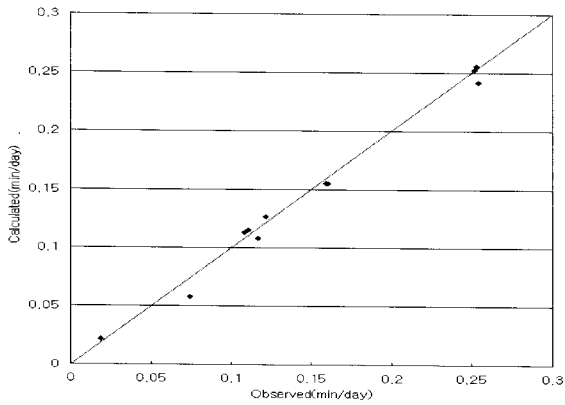
여기서, t_i 는 유출모의에 의한 강우시작부터 침투유량 발생 시간간격이며, T_i 는 현장에서 관측된 강우시작부터 침투유량이 발생된 시간간격이고, E는 오차율평균(%)을 표현하였다.

그림 8은 침투유량 발생시간에 대한 관측값과 계산값을 비교한 그림이다.

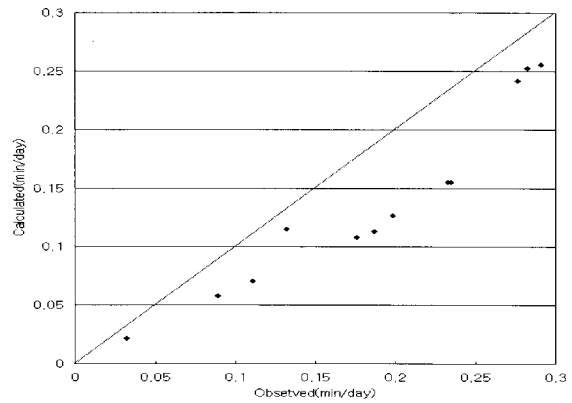
각 공식별 오차율을 적용하였을 때, 표 4에서 보는 바와 같이 Kirpich공식(California공식)이 가장 오차가 적게 산정되었으며, Rziha공식, Kraven공식, SCS lag공식, Kerby공식 순으로 나타났다.

표 4. 홍수도달시간 공식별 오차율 비교

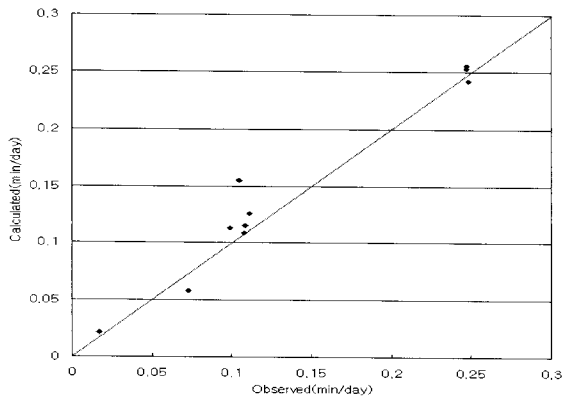
	Kirpich (California)	Kerby	Kraven	Rziha	SCS lag
오차율(%)	6.67	40.08	13.89	12.48	36.22



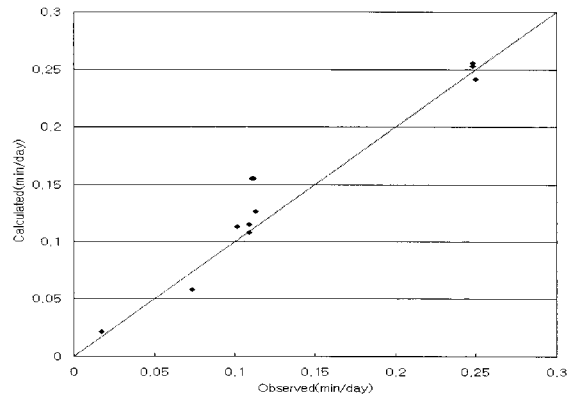
(a) Kirpich 공식



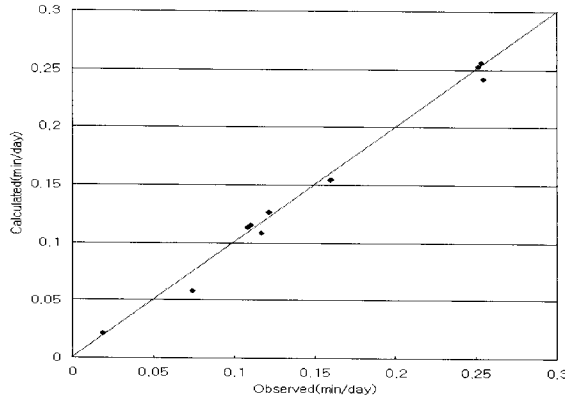
(b) Kerby 공식



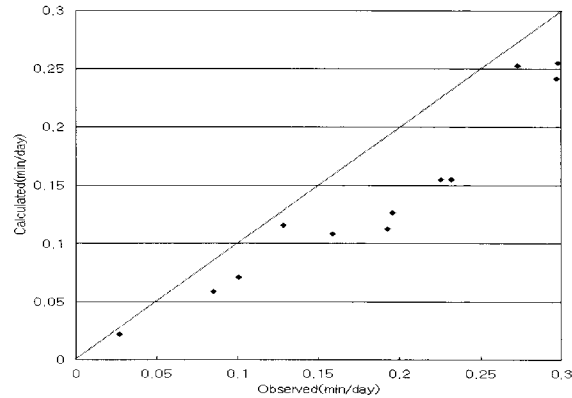
(c) Kraven 공식



(d) Rziha 공식



(e) California 공식



(f) SCS lag 공식

그림 8. 공식을 사용한 계산치와 관측치의 침투유량 발생시간 비교

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. 측정 지점별 소유역의 실제 강우에 대한 첨두홍수량 발생시간을 검토하여 현장 실측치와 계산치에 대하여 비교하면 전체적으로 Kirpich공식(California공식)이 가장 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. 공식별로 유출모의에 대한 결과와 실제 관측된 결과를 비교하여 오차율을 산정하였을 때, Kirpich공식(California공식)이 가장 오차가 적게 산정되었다.

도서지역 특성상 하도경사가 급하고 하도가 짧기 때문에 첨두유출은 빠르고 크게 발생하는 특징이 있어, 정확한 홍수량 산정은 매우 중요한 요소이며, 이를 고려한 하천관리체계가 수립되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 인천지역환경기술개발센터의 2007년도 연구개발사업비 일부지원(과제번호 07-1-70-71)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강상진 (2000) 도달시간 산정공식의 입력변수 적용 범위 및 민감도 분석, 석사학위논문, 건국대학교.

건설교통부 (2005) 하천설계기준.

심기오, 이철규 (2000) 산지 소유역의 도달시간 결정에 관한 고찰. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 239~244.

심재현, 조원철 (1998) 홍수도달시간과 임계지속시간의 개념 비교(I), 한국수자원학회지, 제31권, 제5호, pp. 115~130

안상대 (2002) 하천유역에서 홍수 도달시간 산정방법의 민감도 분석, 석사학위논문, 수원대학교.

유근상 (2003) 소하천 유역의 지형요소를 고려한 유출특성에 관한 연구-도달시간에 대하여, 석사학위논문, 진주산업대학교.

장성모 (2003) 유역인자 및 강우인자를 고려한 임계지속시간 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 경희대학교.

하수용 (2003) 임계지속시간을 고려한 소유역의 최적 홍수량 산정에 관한 연구 : 경기 북부지역을 중심으로, 석사학위논문, 인천대학교.

허창환 (1992) 하천유역의 홍수도달시간에 관한 기초적 연구, 석사학위논문, 영남대학교.

행정자치부 (1999) 소하천시설기준.

Kirpich, T.P. (1940) Time of concentration of small agricultural watersheds. *ASCE*, Vol. 10, pp. 362.

McCuen, R.H., Wong, S.L. (1984) Estimation Urban time of Concentration. *Journal of hydrology.*, ASCE, Vol. 110, No. 7, pp. 87~904.

Pilgrim, D. H. (1976) Isochrones Travel Time and Distribution Flood Storage from a Tracer Study on a Small Watershed. *Water Resources Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 587~595.

◎ 논문접수일 : 2007년 09월 07일

◎ 심사의뢰일 : 2007년 09월 07일

◎ 심사완료일 : 2007년 10월 10일