

유달시간 산정공식의 표준화 및 민감도 분석

Analysis of sensitivity and Standardization for Time of Concentration

김 선 주 · 강 상 진* (건국대)
Kim, Sun Joo · Kang, Sang Jin

Abstract

The time parameters most frequently used in hydrology are the time of concentration, lag time, time base, time to equilibrium, time to peak, time of travel, and residence time. Especially the time of concentration constitute an important part of operating rainfall-runoff modeling and determining critical rainfall intensity.

In the result of simulation, we discovered that SCS formula has the highest value with length, Kerby with height and SCS with slope respectively, while only Kraven formula has the lowest value in them. With concerning to relative sensitivity, the time of concentration was marked the constant effect according to increase of length and slope level, and the length has much more effect than the slope relatively in parameters.

I. 서 론

현재 우리나라에서 사용되고 있는 유달시간 산정식은 그 종류가 매우 다양할 뿐아니라, 우리나라 실정에 맞는 산정방법이 체계적으로 이루어진 바 없이 대부분 외국의 유역에 대한 실험 공식이 사용되고 있는 실정이다. 무엇보다도 국·내외에서 사용되고 있는 유달시간 산정공식은 동일한 공식일지라도 단위환산과정에서 오류와 표기의 잘못으로 인해 각종 참고서적마다 상이한 공식이 수록되어 있다. 이는 유달시간의 과대설계 또는 과소설계에 원인이 되고, 유달시간 산정공식의 입력변수 단위를 표준화시키지 않아 설계자로부터의 혼란을 야기시키는 경향이 있다.

본 연구에서는 건설교통부의 하천시설기준⁷⁾, 농림부의 배수개선홍수분석시스템 개발⁸⁾, Hydorgic system(Vijay P. Singh)³⁾ 등 국내외 참고서적에 제시되어 있는 유달시간 산정식에 대해 단위환산과정에서 오류와 표기의 잘못된 부분을 비교 분석하고, 분석된 자료를 이용하여 산정식에 사용되는 입력변수의 단위 표준화 및 입력변수 및 출력값을 통일시켜 각각에 대해 표준화 된 공식으로 재정립하고자 한다. 또한 표준화시킨 공식을 이용하여 각각의 입력변수의 조건을 달리하여 산정된 여러가지 유달시간을 비교분석 및 상대민감도 분석을 실시하였다.

II. 연구방법

1. 공식의 표준화 방법

유달시간 산정식에 대해서는 국·내외 많은 참고서적에 제시되어 있지만 각 참고서적마다 상이한 경우가 많고, 특히 공식의 오자와 단위환산과정에서의 오류로 인한 유달시간의 과대 또는 과소설계의 원인이 되고 있으며, 설계자의 혼선을 야기시키고 있다. 본 장에서는 하천시설 기준(건설부), 배수개선홍수분석시스템 개발(농림부), Hydrologic system(Vijay P. Singh) 등 국·내외 참고서적을 수집하여 총 6가지 유달시간 산정식에 대해 표준화를 시켰다.

제시된 유달시간 산정식은 실무에서 많은 적용되고 있는 경험식 공식으로 Kerby, Rziha, California 도로국, Kraven, SCS, Kripich공식을 선정하였으며, 표준화 방법은 먼저 국·내외 참고서적에 제시된 공식의 오자와 단위환산과정에서의 오류를 지적하고, 입력변수 조건을 유로연장(L)와 유역경사(S)로 지정하였고, 입력변수 및 출력값의 단위를 통일시켰다.

2. 입력변수의 비교분석

상기에서 언급한 여러 산정식 자체를 비교해 보면 유달시간을 결정짓는 중요한 변수는 하도길이(L), 유역의 고저차(H), 유역경사(S)등을 알 수 있으며, 계중에는 지체계수(N), 유역유출수문곡선지수(CN) 등을 포함하고 있는 것으로 보아 유역의 표면상태와 토양분포도 유달시간에 산정에 중요한 변수로 작용하는 것으로 추측할 수 있다.

본 장에서는 표준화시킨 유달시간 산정공식을 가지고 각 산정식을 비교 분석하기 위해 같은 조건하에서 유로연장(L), 유역높이(H), 유역경사(S)를 달리하여 각 산정식간의 유달시간을 비교분석하였다.

3. 민감도 분석

민감도는 다른 요인의 변화에 대한 한 요인의 변화율을 말한다. 민감도의 일반적 정의는 양해함수 0을 Taylor시리즈로 전개를 하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며,⁹⁾ 선형 민감도 방정식은 한 매개변수가 동시에 변화되는 경우도 전개할 수 있으므로 민감도의 일반적 정의는 식 (2)와 같이 유도된다.

$$0 = f(F_1, F_2, \dots, F_n) \dots\dots\dots (1)$$

$$S = \frac{\Delta 0_0}{\Delta F_i} = \frac{f(F_i + \Delta F_i, F_j | j \neq i) - f(F_1, F_2, \dots, F_n)}{\Delta F_i} \dots\dots\dots (2)$$

민감도 분석 방법을 분류하면 크게 상분 민감도, 절대 민감도 그리고 상대 민감도로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 여러가지 입력변수에 대한 상대적 중요성을 정량적으로 제시할 수 있는 상대민감도에 대해서만 언급하기로 하였다. 상대 민감도 계산방법은 식(2)의 정의에 의하여 계산된 절대민감도에 식(3)과 같이 분자를 0₀, 분모를 F_i으로 각각 나누면 F_i의 상대적 변화에 대한 0의 상대적 변화를 추정할 수 있다.

$$R_s = \frac{\partial 0/0_0}{\partial F_i/F_i} = \frac{\partial 0}{\partial F_i} \frac{F_i}{0_0} \dots\dots\dots (3)$$

III. 결과 및 고찰

1. 유달시간 산정식의 표준화

지금까지 알려져 있는 유달시간을 계산하는 많은 방법들은 모두 흐름에 영향을 요소중 일반적으로 유역경사, 유로길이 및 토지이용 등과 같은 유역에 따른 매개변수들 사용하녀, 그 형태는 식(4)와 같은 형태로 일반화하여 나타낼 수 있다.⁸⁾

$$T_c = C_p L_p^a S_p^b \dots\dots\dots (4)$$

여기서, C_p : 상수, L_p^a : 길이의 함수,
 L_p^b : 경사의 함수이며, a, b : 유역조건 지수

국·내외 참고서적에 제시되어 있는 유달시간 산정식에 대해 단위환산과정에서 오류와 표기의 잘못된 부분을 비교 분석하였고, 분석된 자료를 이용하여 산정식에 사용되는 입력변수의 단위 표준화 및 입력변수 및 출력값을 통일시켰으며, 각각의 유달시간 산정식의 적용대상지역의 특성 및 적용범위를 종합하여 <Table. 1>과 같이 제시하였다.

<Table .1> Standard Formula

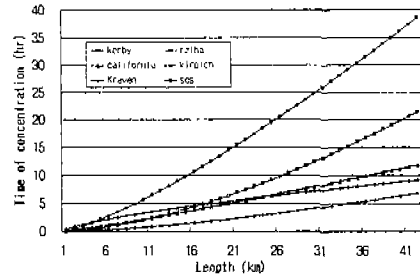
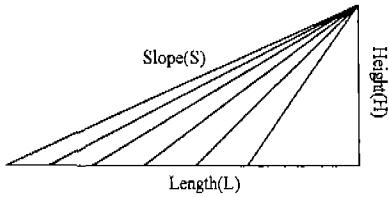
Author	Standard Formula
Kerby	$T_c = 36.255 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.2335}}$
Rziha	$T_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.5}}$
California	$T_c = 60 \left(\frac{0.869 L^2}{1000S} \right)^{0.385}$
Kraven	$T_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$
SCS(lag)	$T_c = 3.56 \frac{L^{0.8} (25400/CN - 254 + 25.4)^{0.7}}{10S^{0.5}}$
Kripich	$T_c = 3.98 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$

2. 입력변수조건에 따른 유달시간 비교분석

가. 길이의 조건

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이 유역의 높이는 일정하다는 가정하에 유로연장의 조건을 달리했을 경우이다. 이때 유로연장의 범위는 1~42km이며, 유역의 표고는 100m로 고정하여 적용시켰다. 이와같이 길이와 높이의 비인 경사는 높이가 일정함에 따라 유로연장이 길어질수록 경사가 완만해지는 것을 알 수 있다. 지체계수(N), 유역유출수분곡선지수(CN)가 고려되는 각각 Kerby와 SCS 산정식에서 지체계수는 표면상태가 목초지 및 보통의 초지로 가정하여 N값을

0.4로 가정하였으며, CN값은 경우시 일반적으로 수문모델링에서 적용되는 90으로 가정하였다.

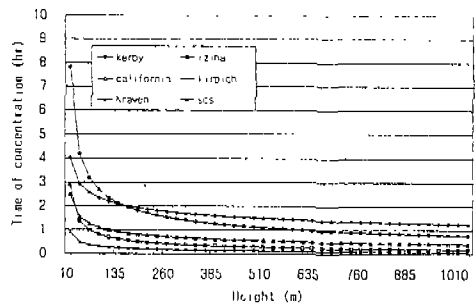
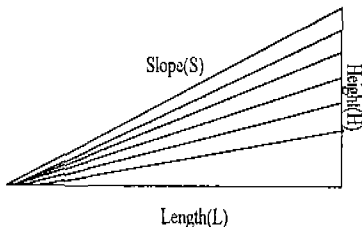


<Fig. 1> The concept of various length <Fig. 2> Time of concentration calculated according to various length

<Fig. 1>의 조건으로 계산된 유달시간은 <Fig. 2>에서 보는바와 같이 길이의 함수로 계산된 유달시간을 보여주고 있다. 유로연장이 증가할수록 6가지 공식에 대해 유달시간의 차이는 크게 나타나는 경향을 볼 수 있으며, 이중 SCS 산정공식이 가장 큰 값을 보인 반면, Kraven 산정공식이 같은 조건하에 가장 작은 값을 나타내고 있다. 또한 하도길이 15Km내외에서는 SCS와 Kraven 산정공식을 제외한 4가지 산정공식이 비슷한 값을 보이고 있다.

나. 높이의 조건

<Fig. 3> 개략도에서 보는바와 같이 유역의 유로연장 즉 하도길이가 일정하다는 가정하에 높이의 조건을 달리했을 경우이다. 이때 유로연장은 5km로 고정시켰으며, 높이는 10~1000m의 범위에 대해 적용시켰다. Kerby와 SCS(lag) 산정식에서 고려되는 각각의 인자 지체계수(N), 유역유출수문곡선지수(CN) 조건은 앞의 것과 동일하다.



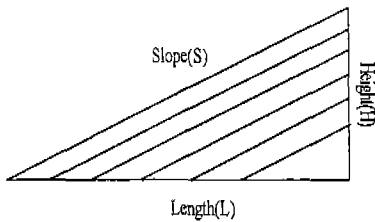
<Fig. 3> The concept of various height <Fig. 4> Time of concentration calculated according to various height

유역표고 즉 높이변화에 따른 유달시간은 <Fig. 4>에서 보는바와 같다. 유역표고가 높을수록 유달시간의 차이는 일정한 추세를 보여주고 있으며 특히, 높이 150m이하인 범위에서는 SCS(lag) 산정공식이 가장 큰 값을 보인 반면 150m이상일 경우에는 Kerby 산정공식이 가장 큰 값을 나타내었다. 반면에 높이 별로 가장 작은 값을 나타낸 산정공식은 유로연장 조건에서

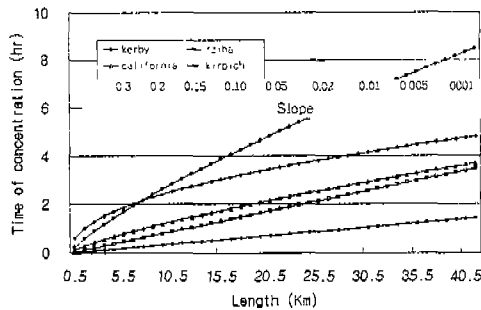
와 같이 Kraven 산정공식이 가장 작은 값을 나타내었다. 모든 유달시간 공식에 대해 유역표고가 200m이내에서는 유달시간이 급격한 감소추세를 보이는 반면 200m이상부터는 감소추세가 완만한 곡선을 이루고 있고 유달시간의 차이도 거의 등간격을 이루고 있다. 따라서 유달시간 산정공식을 선택하는데 있어서 유역의 산지보다는 평야지역에서 보다 신중한 고려가 필요하다고 사료된다.

다. 경사의 조건

<Fig. 5>에서 보는바와 같이 경사를 5%로 고정시키고, 길이와 높이를 변화시켰으며, 이때 입력범위는 유로연장이 0.5km~41.5km이고, 높이는 25m~2075m 범위내에서 유달시간을 산정하였다. 이러한 접근방법은 유역면적별로 각각의 유달시간을 비교분석하기 위해서이다.



<Fig. 5> The concept of slope corresponded to length and height



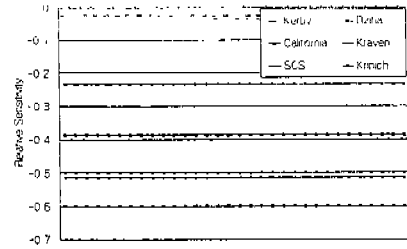
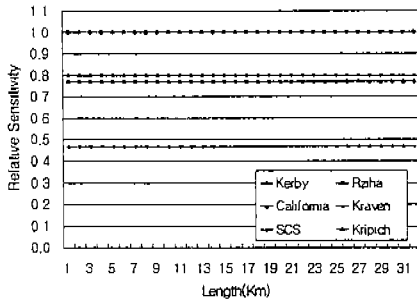
<Fig. 6> Time of concentration calculated according to various length and height

앞에서와 마찬가지로 Kerby와 SCS(lag) 산정식에서 고려되는 각각의 인자 지체계수(N), 유역유출수문곡선지수(CN)에 대해 동일조건을 사용하였으며, 유달시간 산정 비교치는 <Fig. 6>와 같다. 일반적으로 유달시간 증가 추세는 길이조건 일때와 비슷한 양상을 보이고 있으나, 길이와 높이가 함께 증가 할수록 유달시간의 곡선은 완만한 성향을 띄고 있다. 길이가 7km이하 일 경우에는 Kerby 공식이 급격한 증가를 보이면서 가장 큰 값을 나타낸 반면, 7km 이상일 때는 SCS(lag) 공식이 가장 큰 값을 가졌다. 또한 길이의 조건 및 높이의 조건에서와 마찬가지로 Kraven 공식이 가장 작은 값을 나타내었다. Kerby와 SCS(lag)를 제외한 나머지 4개의 공식의 유달시간 변화율은 일정한 추세를 보여주고 있다.

3. 민감도분석 결과

가. 길이조건의 상대민감도

<Fig. 7>은 총 6개의 유달시간 산정식에 대해 하도길이에 대한 상대민감도를 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 길이에 대한 상대민감도는 하도길이가 증가함에 따라 유달시간의 상대적 민감도의 변화율은 일정한 경향을 보여주고 있다. 각각의 공식에 대해서는 Rziha 공식과 Kraven 공식의 상대민감도가 가장 큰 1의 값을 나타낸 반면 Kerby 공식은 가장 작은 값인 0.467를 기록하였다. 이는 6개의 공식들 중 Rziha와 Kraven 산정공식이 하도길이에 대해 가장 민감한 반면, Kerby 공식은 상대적으로 낮은 민감성을 나타내고 있다. 총 6가지 공식에 대해



상대민감도의 범위는 0.467~1의 범위를 이루고 있으며, 상대민감도에서도 California와 Kriprich 공식은 같은 민감도를 보여주고 있다.

<Fig. 7> Relative sensitivity according to length

<Fig.8> Relative sensitivity according to slope

나. 경사조건에 대한 상대민감도

<Fig. 8>는 경사에 대한 상대민감도를 보여주고 있다. 경사에 대한 상대민감도 또한 길이에 대한 상대민감도와 같이 경사의 변화에 따른 상대민감도의 변화율은 일정함을 나타내고 있다. 각각의 공식을 비교해보면, Kerby공식은 -0.2로 6개의 공식들중 가장 큰 값을 나타내었고, 반면 Rziha 공식은 -0.6로 가장 작은 값을 나타내었다. 이는 6개의 공식에 대한 상대민감도에 Kerby공식이 경사에 대해 가장 큰 민감함을 알 수 있고, Rziha 공식이 상대적으로 작은 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 경사의 상대민감도에서도 California 도로국 공식과 Kriprich 공식은 같은 값을 보이고 있다. 이처럼 이론적 분석결과에서도 경사의 상대민감도는 (-)값을 가지고 있고, 이는 경사와 유달시간의 관계는 반비례한다는 것을 보여주고 있다. 또한 길이와 경사조건에 대한 상대민감도를 종합해 본 결과 유달시간 공식은 일반적으로 경사보다는 유로연장에 대해 더 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 국·내외 참고서적에 제시되어 있는 유달시간 산정식에 대해 단위환산과정에서 오류와 표기의 잘못된 부분을 검토하였고, 산정식에 사용되는 입력변수의 단위 표준화 및 입력변수 및 출력값을 통일시켜 각각에 대해 표준화 된 공식으로 재정립 하였다. 표준화시킨 공식을 이용하여 각각의 입력변수의 조건에 따라 산정된 6가지 유달시간에 대해 비교분석을 실시 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실무에서 적용하고 있는 6개 유달시간 산정식의 표준화를 위해 국·내외 참고서적을 고찰하여 단위 및 입력변수를 통일시켰다.
2. 길이 및 경사조건에서의 유달시간은 3Km까지는 완만한 증가율을 보인다가 하도의 길이가 길어질수록 SCS 산정식이 가장 큰 변화를 나타낸 반면, Kraven 산정식이 가장 작은 변화를 보였다.

3. 유역높이의 조건에서는 Kerby 산정식의 유달시간이 가장 크게 변화율을 나타냈으며, Kraven 산정식이 가장 적은 변화를 나타내었다. 또한 유달시간 산정에 있어서 산간지역보다는 평야지역에서 보다 신중한 고려가 필요하다고 판단된다.
4. 길이와 높이의 변화에 따른 유달시간은 민감한 반응을 나타냈으며, 각 경험식은 유로장과 표고별 적용 한계가 있음을 확인하였다. 또한 합리적인 유달시간 산정을 위해서는 한계치를 고려한 적용이 필수적이라 판단된다.
5. 상대민감도 분석결과 길이와 경사 조건에 따른 상대민감도는 일정하며, 경사보다는 유로연장에 대해 높은 민감성을 나타내어 유달시간 산정시 경사와 유로장의 계산구간을 짧게 나누는 것이 타당한것으로 분석되었다.

이와같이 입력변수 비교분석 및 상대민감도를 종합해 본 결과 유달시간은 길이 및 경사함수 외에 지형학적 인자에 상당한 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 현재와 같이 외국의 경험적 공식을 무분별하게 사용하고 있는 상황에서는 우리나라의 지형적 특성에 맞는 보정계수 및 적용범위의 개발이 시급하다고 본다. 본 연구에서는 유달시간 산정인자의 조건을 달리하였을 경우 각 산정식의 적용한계치가 있음을 알 수 있으며, 이러한 한계치에 대한 적용성 도출이 가능할 것으로 판단된다. 앞으로 적용범위에 대해 실측치와 비교 분석을 실시하여 우리나라의 실정에 맞는 적용범위를 재정립하고자 한다.

참 고 문 헌

1. Philip B. Bedient, 1988, Hydrology and Floodplain Analysis. Addison-Wesley Publishing Company
2. Singh, V.P., 1976, Derivation of time of concentration, Journal of Hydrology., 30: 147~165
3. Singh, V.P., 1976, Hydrologic systems(Rainfall-runoff modeling volume 1), Prentice-Hall. Inc
4. Victor Miguel ponce, 1989, Engineering Hydrology. Prentice-Hall. Inc
5. 유동훈, 전우용, 엄호석, 1998, 도달시간 산정식. 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 44~49
6. 윤여진, 최진구, 김재한, 1995, 도달시간 산정식에 대한 비교 연구. 1995년도 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp. 57~60
7. 건설부, 1993, 하천시설기준. pp. 602~606
8. 농림부, 1993, 배수개선홍수시스템 개발. pp. 71~132
9. 박성우, 1984, 응용수문학, 향문사
10. 윤용남, 1994, 공업수문학, 청문각
11. 한국건설기술연구원, 1992, 수문모형 평가에 관한 연구