

소규모 유역 설계홍수량 산정시 홍수도달시간 산정에 대한 고찰

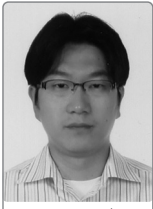
Study on the determining the Flood time of concentration in the Design Flood Estimation of Small Watershed



서상원¹⁾



정소영²⁾



이진수³⁾



이광제⁴⁾

1. 서론
2. 홍수도달시간의 기본이론
3. 홍수도달시간 산정방법
4. 개정 중인 소하천설계기준상 유역반응 시간 매개변수 적용 방법의 적용성
5. 소규모 유역 도달시간 결정 연구
6. 대표적인 경험식을 통한 도달시간 산정
7. 결론

It is very important to precisely estimate the design flood for ensuring a successful implementation of water resource projects. In Korea, however, the reliability of the design flood estimate results is low due to the lack of standards available and systematic analysis process.

For the relatively large-and mid-sized watersheds, subjective interpretation was trying to be reduced by adopting proper calculation guidelines for the design flood discharge, ensuring uniformity through the analysis. However, when these guidelines are applied to small-scale watersheds, very important problems are being raised at the same time: Under the guidelines being applied in the small watershed, the time of concentration, an important factor for determining the runoff hydrograph of the design flood, is underestimated and consequently the peak value of the design flood is overestimated. In other words, this is larger than the average value in terms of specific floods. Accordingly, it is corrected by adjusting artificially the watershed response time for most of the domestic cases.

Recently, it has been investigated that there is a methodological improvement to solve the above problems while the design standards of the comprehensive streamlining maintenance plan are being changed. This study will evaluate the applicability of the design standard and examine some alternatives.

In addition to the methodology for calculating the flood reach time, which is mainly used in the current practice, domestic studies on the flood reaching time and the project data were reviewed and additional methods were investigated. The flood reaching time of the small watershed is compared with the existing method.

According to the study result, considering the domestic conditions, which are mostly out of measurement, and applying the conceptual definition of small watersheds, the current calculation methods applied for the small watershed are found out to have many problems.

This study is aimed at suggesting the necessity of the application of new criteria that is supported by additional research, experimental results and providing the development direction of the reaching time estimate suitable for the domestic situation in the future.

1) 수자원부 상무, 수자원개발기술사(swSeo@yooshin.co.kr)
2) 수자원부 부장(mkby@yooshin.co.kr)

3) 수자원부 차장(JinSuLee@yooshin.co.kr)
4) 수자원부 대리(hydromkk@yooshin.com)

1. 서론

최근 기후변화에 따른 국지성 집중호우와 하천에 인접한 제내지의 도시화 등에 따라 홍수피해로 인한 자연재해가 날로 증가하고 있다. 이러한 상황에서 설계홍수량은 하천계획 수립시 유역 내 구조물에 대한 통수능력을 검토하거나 수공구조물의 적정규모를 결정하고, 사전재해영향성 검토에서는 개발과정의 홍수량 증가를 평가하여 방재시설의 용량을 결정하는데 있어 기준이 되므로 매우 정확한 설계홍수량의 산정이 필요하다. 그러나 국내의 경우 현재까지 기준상의 미흡한 부분이 많아 설계홍수량 산정 결과의 신뢰도가 매우 낮은 실정이며, 거의 모든 분석이 미계측 유역내에서 이루어지고 있어 보다 체계화된 분석과정이 절실하다고 판단된다.

한편, 현재 수자원사업 중 규모가 큰 국가하천, 지방하천의 경우 중앙부처, 연구기관 등에서 지속적인 연구를 통하여 어느 정도의 설계홍수량 산정 가이드라인이 제시된 상황이다. 대표적인 예로 [설계홍수량 산정요령(2012, 국토해양부)]을 들 수 있으며, 현재 진행되는 하천사업은 대부분 이를 토대로 설계홍수량 산정을 진행하고 있는 추세이다. 이를 통하여 사업을 진행하는 기술자마다 다른 주관적 해석 등 불확실성을 저감하고 일정수준 이상의 통일성을 확보하고 있다.

그러나 유역면적이 5km^2 내외이거나 하도의 저류효과를 기대할 수 없는 소하천과 같은 소규모 유역의 경우는 이를 그대로 적용시 문제점이 발생하는 경우가 있다. 그 중 유역추적 매개변수의 적용에 대하여 홍수도달시간이 매우 짧게 산정되어 홍수 집중도가 높아짐에 따라 설계홍수량이 과대 산정되는 것

을 예로 들 수 있다. 이를 보완하기 위하여 실무에서는 홍수도달시간의 하나의 요소인 유입시간을 조정하여 비홍수량을 조절하는 방안을 주로 적용하였으나, 이는 일괄적인 유입시간 적용 등으로 인한 실제 현상 반영의 미비라는 문제점을 내포하였고 최근 개정 중인 [소하천설계기준(수립 중, 국민안전처)]에서는 이러한 문제점 개선을 위하여 유입시간 적용이 아닌 저류상수 보정을 통한 방안을 제시하고 있다.

이에 금회 기술회보에서는 홍수도달시간의 산정에 대한 보다 긍정적 방안을 모색하기 위하여 현재 실무에서 보편적으로 사용되고 있는 경험식들과 이외의 경험식의 산정결과를 비교분석하여 기존 방법의 대한 재조명 및 국내외 신규 개발 경험식의 적용성을 검토하여 향후 홍수도달시간 산정에 도움이 되고자 한다.

2. 홍수도달시간의 기본이론

일반적으로 하천사업에 이용되는 설계홍수수문곡선 결정방법은 Clark 단위도법으로 도달시간(T)과 유역저류상수(k) 등 2가지 요소를 매개변수로 한다. [설계홍수량 산정요령(2012, 국토해양부)]에서는 '도달시간(travel time) 혹은 집중시간(time of concentration)은 유역의 최원점에서 하도의 시점까지 표면류 흐름(overland flow)의 유하시간과 하도시점에서 하도중점까지의 하도흐름의 유하시간의 합으로 정의되며, 표면류 흐름의 유하시간과 하도흐름(channel flow)의 유하시간은 산정 방법을 달리 적용하는 것이 원칙'으로 정의하고 있으며 다음과 같이 표현된다.

유신기술회보 제24호

$$T_c = T_{ov} + T_{ch}$$

여기서, T_c 는 도달시간, T_{ov} 는 표면류흐름의 유하 시간, T_{ch} 는 하도흐름의 유하시간

중규모 이상 하천유역의 경우 전체 도달시간에서 표면류 흐름의 유하시간이 차지하는 비중이 작고 하 도시점이 지도 축척에 따라 달라지는 문제점 등을 감안하여 하도흐름의 유하시간을 도달시간으로 산정하나 소규모 유역의 경우 표면류 흐름의 유하시간이 차지하는 비중이 무시할 수 없을 정도로 크기 때문에 별도의 방식으로 산정해야 한다.

유출특성에 따른 유역규모의 분류를 살펴보면 중 규모 유역은 ‘표면류흐름과 하도흐름으로 구성되는 유역’, 소규모 유역은 ‘표면류흐름이 지배적인 유역’으로 정의 된다.

따라서 소하천 유역과 같은 소규모 유역에서는 [설계홍수량 산정요령(2012, 국토해양부)]에서 제시하는 도달시간 산정방법과는 달리 표면류 흐름의 유하시간, 즉, 유입시간(inlet time)을 별도로 산정 적용하여야 한다.

3. 홍수도달시간 산정방법

3.1 하도흐름 유하시간 산정방법

[하천설계기준(2009, 한국수자원학회)]에서 제시된 많은 경험식 중 [설계홍수량 산정요령(2012, 국토해양부)]에서 제시하는 경험식은 다음과 같으며, 이중 연속형 Kraven 공식을 권장하고 있다.

▶ Kirpich 공식 :

농경지 소유역을 대상으로 유도된 공식

$$T_{ch} = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.6}}$$

▶ Rziha 공식 :

자연하천의 상류부($S \geq 1/200$)에 적용되는 공식

$$T_{ch} = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}}$$

▶ Kraven 공식(I) :

자연하천의 하류부($S < 1/200$)에 적용되는 공식

$$T_{ch} = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$$

▶ Kraven 공식(II) :

자연하천의 경사별 유속을 적용하는 공식

$$T_{ch} = 16.667 \frac{L}{V}$$

($S < 1/200$: $V = 2.1$ m/s, $1/200 \leq S \leq 1/100$: $V = 3.0$ m/s, $S > 1/100$: $V = 3.5$ m/s)

▶ 연속형 Kraven 공식 :

Kraven 공식(II)을 보완한 공식

- 급경사부($S > 3/400$) :

$$V = 4.592 \frac{0.01194}{S}, V_{\max} = 4.5 \text{ m/s}$$

- 완경사부($S \leq 3/400$) :

$$V = 35,151.515S - 79.393939 + 1.6181818, V_{\min} = 1.6 \text{ m/s}$$

여기서 L 은 유로연장(km), S 는 평균경사(무차원), V 는 평균유속(m/s)

3.2 표면류 흐름 유하시간 산정방법

3.2.1 일정 유입시간 적용 방법

유역특성에 따라 일정 유입시간을 적용하는 방법으로 [하천시설기준(1993, 건설부)]에는 산지유역은 30분, 급경사유역은 20분을 표준으로 설정한 바 있다. 하지만 개정판인 [하천설계기준·해설(2005, 한국수자원학회)]에는 이러한 내용은 삭제되었지만 대안은 제시되지 않고 있다.

반면 이와 같은 내용의 인용 근거인 일본 [건설성하천사방기준·해설(계획편, 일본하천협회)] 최신판에는 아직까지 유역면적 2km^2 에 대하여 산지유역은 30분, 급경사 유역은 20분, 하수도정비구역은 30분 등의 기준을 유지하고 있다.

한편, 국내 실무에서는 소하천 유역 등 소규모 유역의 유입시간 적용치는 10분, 20분을 주로 적용하고 있으며 특정한 기준보다는 산정되는 설계홍수량의 비홍수량 검토를 통하여 유입시간 적용의 적정성을 판단하는 것이 일반적이다.

일정 유입시간 적용 방법은 사용이 간편하고 설계 수문량의 조정에 유리하나 유역의 특성 등 실제 현상 반영이 어려워 선택에 신중해야 한다.

3.2.2 경험식에 의한 산정 방법

일반적으로 국내 실무에서 사용되는 SCS 공식, Kerby 공식(자연유역, 도시유역) 등을 포함하여 국외 연구자료를 살펴보면 표면류흐름 유하시간에 대한 다양한 경험식의 개발 및 검증이 이루어졌다. 국

내에서도 일부 학자들의 연구가 이루어지는 것으로 나타났으나, 일부지역에 국한되어 타당성을 논하기에 곤란한 것이 대부분이다.

한편, 국내외 연구자료에서 주로 사용되는 표면류 흐름 유하시간의 경험식은 다음과 같다.

▶ SCS 공식

$$T_{ov} = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{0.56149 CN^{0.7} S^{0.5}}$$

여기서 L 은 지표거리(km) S 는 무차원 유역경사, CN 은 유출곡선지수

▶ Kerby 공식(자연유역)

$$T_{ov} = 36.264 \frac{(L \cdot N)^{0.467}}{S^{0.2335}}$$

▶ Kerby 공식(도시유역)

$$T_{ov} = 36.264 \left(\frac{N \cdot L^{1.5}}{H^{0.5}} \right)^{0.467}$$

여기서 L 은 지표거리(km), S 는 무차원 유역경사, N 은 피복 조도계수

▶ Bransby Williams 공식: 유역면적 129.5km^2 이하

$$T_{ov} = 0.605 \frac{L}{A^{0.1} S^{0.2}}$$

여기서 L 은 표면류흐름 길이(km), A 는 유역면적(km), S 는 유역경사(%)

▶ Izzard 공식

$$T_{ov} = 41.025 \frac{(0.0007i+c)L^{0.33}}{S^{1/3} i^{2/3}}$$

유신기술회보 제24호

여기서 i 는 강우강도(in/hr), c 는 지체상수, L 은 흐름 길이(ft), S 는 흐름경사(ft/ft)

$$t_c = \frac{0.994(1.1-C)L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

여기서 L 은 표면류 흐름 길이(m), C 는 유출계수, S 는 흐름경사(%)

▶ Johnstone and Cross 공식 :

25~1,624 mi²의 소유역

$$T_{ov} = 300 \frac{L^{0.5}}{S^{0.5}}$$

여기서 L 은 유역 길이(mi), S 는 유역경사(ft/mi)

▶ Papadakis and Kazan 공식 :

22개주 88개 소규모 농촌지역 대상 경험식

$$T_{ov} = 0.66 \frac{L^{0.5} n^{0.52}}{S^{0.31} i^{0.38}}$$

여기서 L 은 표면류 흐름 길이(ft), n 은 조도계수, S 는 흐름경사(ft/ft), i 는 강우강도(in/hr)

▶ California Culvert Practice 공식 :

산지 소유역

$$T_{ov} = 60 \left(\frac{11.9 L^3}{H} \right)^{0.385}$$

여기서 L 은 최장 유로길이(mi), H 는 상류분할점 과 출구의 표고차(ft)

▶ Chen and Wong 공식 :

실험조를 통한 경험식(경사 2% ~5%)

$$T_{ov} = 0.595 \frac{(3.15)^{0.33k} C^{0.33} L^{0.33(2-k)}}{S^{-0.33} i^{-0.33(1+k)}}$$

여기서 L 은 표면 길이(m), S 는 무차원 유역경사, i 는 강우강도(mm/hr)

▶ Henderson and Wooding 공식

$$T_{ov} = 0.94 \frac{(Ln)^{0.6}}{S^{0.3} i^{0.4}}$$

여기서 i 는 강우강도(in/hr), n 은 조도계수, L 은 흐름길이(ft), S 는 무차원 유역경사

▶ TxDOT 공식 : FAA를 수정 · 보완

$$T_{ov} = 0.702(1.1-C)L^{0.5}S^{-0.333}$$

여기서 C 은 유출계수, L 은 표면류 흐름 길이(m), S 는 무차원 유역경사

▶ kinematic wave 공식 :

개발지역의 지표면 유출해석

$$T_{ov} = 6.94 \frac{L^{0.6} n^{0.6}}{S^{0.3} i^{0.4}}$$

여기서 L 은 표면류 흐름 길이(m), n 은 조도계수, S 는 무차원 유역경사, i 는 강우강도(mm/hr)

▶ Welle and Woodward(NRCS)

$$T_{ov} = \frac{0.007(nl)^{0.8}}{[(P_2)^{0.5} S^{0.4}]}$$

여기서 n 은 조도계수, L 은 흐름 길이(ft), P 는 2년-24시간 강우강도(in), S 는 무차원 유역경사

▶ FAA 공식 : 주로 공항지역

▶ NRCS 공식

$$T_{ov} = 0.0526 \frac{[(1000/CN)-9]L^{0.8}}{S^{0.5}}$$

여기서 L은 흐름 길이(ft), S는 유역경사(%)

▶ Friend 공식: 표면류 흐름 시간적 변수에 추천

$$T_{ov} = \frac{107nL^{0.333}}{S^{0.2}}$$

여기서 S는 유역경사(m/m), L은 표면류 흐름 길이(m), n은 조도계수

4. 개정 중인 소하천설계기준상 유역반응 시간 매개변수 적용 방법의 적용성

기존 소하천설계기준상 유역반응시간 산정방법은 상기 방법과 같이 하도흐름의 유하시간(유입시간)과 표면류흐름의 유하시간(유입시간)을 별도로 산정하여 이들의 합으로 도달시간을 결정하고 저류상수 산정 경험식을 통하여 저류상수를 결정하여 설계홍수량 산정에 적용해왔다. 그러나 현재 개정 중인 소하천설계기준에서는 설계홍수량 과대산정을 방지하기 위하여 유입시간을 인위적으로 조절하는 것은 물리적으로 부적합하다고 지적하였고 도달시간 조정의 대안으로 저류상수 산정시 소유역 매개변수 보정량이라는 개념을 도입하여 설계홍수량을 조정하는 방안을 제시하고 있다.

이는 원론적으로는 타당한 방안이고 기존 방법과 결과의 편차가 거의 없어 비홍수량 측면의 일관성 유지 등의 측면에서 분명 긍정적이다. 그러나 기존에 확립되어 있는 일부 논리들을 벗어나는 부분이

다소 있고 실제적인 현상 고려시 이 기준에 대한 이론적 타당성을 근거하기에는 몇몇 의문점이 발생하는 것은 사실이다. 예를 들어 집중호우 발생시 산지 및 인근 나지 등을 관찰해 보면 강우량에 비하여 표면류의 거동이 생각보다 미미하고 많은 요면으로 인하여 저류되는 부분들이 있다. 만약 산지나 나지의 우수가 표면에서 침투, 요면, 피복의 거칠기 등의 다양한 이유로 실제 시간량이 현재 실무에서 평가하고 있는 유입시간이라는 개념의 시간량보다 클 수 있지 않을까라는 의문점은 지속적으로 남게 된다.

현재 실무에서 평가하고 있는 유입시간이라는 개념의 크기가 실제로 더 크다면 오히려 현재 개정중인 설계기준에서의 방안이 실제적인 물리량을 무시하게 되는 상황이 도래할 수 있다고 판단된다. 이러한 상황에서 실제적인 우수의 거동을 파악하고자 한다면 많은 실험적 연구가 필요할 것으로 판단되며, 그 이전에 현재 이용되고 있는 경험식에 대한 재조명도 필요하다고 판단된다.

5. 소규모 유역 도달시간 결정 연구사례

5.1 국내 도달시간 연구사례

현재 실무에서 설계홍수량 산정시 사용되는 모든 과정은 외국에서 개발된 경험식을 통하여 이루어지고 있다. 소수 연구자들에 의하여 국내 실측자료를 이용한 경험식 개발이 이루어진 바가 있으나 대상지구 부족 등의 사유로 이론적 근거를 확보하지 못하여 기술자들에게 외면받아 왔다.

중·소규모 유역의 도달시간 결정에 대한 국내 연

구사례를 살펴보면,

이정식(2004)은 중규모 유역에 대한 기존 도달시간 경험식과 실측수문곡선에서 도출한 도달시간을 비교·검토하였으며, 경험식에 의하여 산정된 도달시간은 실측자료에 의한 도달시간에 비하여 과소한 값을 나타내어 국내 중규모유역에서의 적용성이 미확보 된다고 판단하였다.

표영평(1998)은 현재 국내 실무에서 사용되고 있는 도달시간 산정 경험식은 외국의 실제현상을 토대로 개발된 것으로 제반여건이 상이한 국내에서 그대로 사용되는 현재 실정을 지적하고 우리나라 실정에 맞는 도달시간 산정식들의 개발이 필요하다고 하였다.

김기홍(2003), 정상만(2007) 등은 내륙, 연안도 서지역 산지소하천 유역에 대한 기존 도달시간 경험식과 실측수문곡선에서 도출한 도달시간을 비교 검토하였으며, Kerby 공식, SCS Lag 공식 등은 관측치에 비하여 도달시간의 과다산정되고, Rziha 공식, Kraven 공식은 도달시간이 과소 평가되는 반면 Kirpich 공식이 비교적 안정된 결과를 도출하므로 산지소하천 유역의 도달시간 산정시 Kirpich 공식을 이용하는 것이 타당하다고 제시하였다.

심기오(2000)는 산지 소유역의 홍수도달시간을 파악하기 위하여 기존 공식들의 문제점을 지적하고 재해영향평가서 자료를 통하여 10개 대상유역을 선정하고 이에 대한 개발식을 제시하였다.

이외에도 국내 기술자 및 연구기관의 도달시간 산정에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으나, 여러 가지 여건의 제약으로 인하여 실무적용에는 비관적인 것이 실정이다.

5.2 국외 도달시간 연구사례

국외에서는 최근에도 도달시간에 대한 지속적인 연구 및 다양한 방법 적용을 통하여 보다 실제적인 유역반응시간에 대한 적용법을 모색하고 있는 것으로 나타났다.

USDA(1986)에서 제시된 도달시간 산정방법을 살펴보면, 표면류흐름을 면상류와 수로흐름으로 구분하여 산정할 수 있도록 하였으며, 보다 실제적인 도달시간 산정을 유도할 수 있도록 하였다. 이는 현재 미국 내 교육자료 등에서도 가이드라인의 성격을 띠고 최근에도 많은 수자원사업에서 사용되고 있는 것으로 조사되었다.

Touraj Sabzevari(2013)는 표면류흐름의 경사, 형태 등에 따른 도달시간의 변화를 실험적 방법을 통하여 검증하였다.

Fugro Scott Wilson Joint Venture(2013)가 홍콩에서 시행한 사업을 살펴보면 하도흐름에 대한 유역과 지표면흐름에 대한 유역을 별도로 고려하여 시간적 개념을 적용하였다.

Lima(2015)는 표면류 흐름에 대한 물리량을 실험적 연구로 접근하였으며, 열화상 카메라 등 실험 기구를 통해 실내실험, 포장지역, 비포장지역에 대한 현장실험을 실시하여 제반사항별 표면류의 유속을 알고자 하였다.

O.J Gericke(2016)는 남아공 내 12개의 규모별-지역별 대상유역을 선정하여 도달시간을 산정하였고 도달시간 산정시 하도흐름과 표면류흐름을 구분하여 산정한 후 합산하여 결정하였다.

6. 대표적인 경험식을 통한 도달시간 산정

소규모 유역에서 설계홍수량 산정시 매우 중요한 비중을 차지하는 도달시간에 대한 유입시간의 적용성을 판단하기 위하여 국내에서 이루어진 연구 결과를 토대로 필요시 추가적인 경험식을 이용하여 비교·검토하고자 하였다. 국내 각급 하천의 시점은 산지로 구성되어 있으며, 특히 소하천의 경우 산지 하천이 많은 점을 고려하여 김기홍(2003)이 산청군 소하천 15개소에 대하여 별도의 유입시간의 고려없이 하도흐름을 전제로 도달시간을 산정한 연구 결과와 김재훈(2015)이 전국 각지 소규모 산지소유역 6

개소에 대한 도달시간을 산정한 연구 결과를 인용하였다. 금회 기술회보에서는 상기 2가지 연구결과를 서로 다른 의미로 반영하고자 한다. 전자는 유입시간 고려 없이 도달시간을 산정한 결과를 검토하는 것이고 후자는 기존 소하천 설계시 적용되는 유입시간의 타당성을 검토하기 위함이다.

6.1 소하천 도달시간 산정방법별 결과비교

김기홍(2001, 2003)은 소하천 유역의 지형요소를 고려한 유출특성을 도달시간을 중심으로 검토하였다. 이 과정에서 실측수문곡선에서 도출한 도달시

[표 1] 기존 소하천 도달시간 산정결과(2003, 김기홍)

지역명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	하상경사 (m/m)	유역경사 (%)	도달시간(min)						
					관측치	a	b	c	d	e	f
범학천	2.25	3.50	0.0824	12.89	-	27.27	68.45	13.04	62.38	62.06	16.67
묵곡골안천	0.73	1.65	0.0546	6.85	25.00	17.91	55.84	7.87	46.88	40.46	7.86
내정천	0.80	1.32	0.0933	6.82	35.00	12.27	50.37	4.56	39.31	41.89	6.29
부리천	1.60	1.95	0.0770	9.63	25.00	17.84	55.76	7.56	45.20	54.52	9.29
운곡큰골천	0.65	1.10	0.1127	12.89	25.00	9.92	39.87	3.40	24.71	38.71	5.24
차탄산골천	1.20	1.75	0.0361	3.53	35.00	21.98	67.01	10.69	68.46	48.87	8.33
장실천	1.85	1.80	0.0377	5.34	41.00	22.09	61.64	10.72	56.93	57.61	8.57
신기동천	1.20	1.65	0.0649	9.75	35.00	16.76	51.42	7.09	39.30	48.87	7.86
창평하천	0.69	1.90	0.0274	3.53	35.00	26.03	69.63	13.70	73.11	39.60	9.05
창평앞천	0.58	0.74	0.1154	5.12	35.00	7.24	41.10	2.25	28.55	37.07	3.52
국사천	0.70	1.96	0.0804	10.25	-	17.62	55.08	7.41	43.99	39.82	9.33
수청천	1.95	2.75	0.0396	5.40	45.00	30.03	74.93	15.90	79.46	58.77	13.10
모레아랫천	0.81	1.85	0.1034	1.07	25.00	15.30	90.87	6.01	130.0	42.09	8.81
법서천	0.66	1.36	0.0504	6.60	35.00	15.92	51.47	6.80	40.92	38.94	6.48
이교천	2.17	2.55	0.0500	4.55	55.00	25.90	75.29	12.82	81.49	61.21	12.14

주) a-Kirpich공식, b-Kerby공식, c-Rziha공식, d-SCS공식, e-Kict공식, f-Kraven(II)공식

유신기술회보 제24호

간과 경험식으로 유도한 도달시간의 비교가 있었다. 여기서 검토된 경험식은 국내 기준에서 제시하고 실무에서 주로 사용하고 있는 공식을 채택하였다. 금회 기술회보에서는 이를 포함한 추가적인 도달시간 및 표면류흐름 유하시간 경험식을 사용하여 현재 도달시간 경험식 적용의 적정성을 판단하고자 하였다. 기존 연구의 결론들을 살펴보면 전반적으로 Kirpich공식이 소하천 유역에 적절한 것으로 보고 있으며(김기흥, 2003, 정상만, 2007), 다음 표의 결과를 보더라도 그러한 의견은 어느정도 타당하다고 보인다. 그러나 Kirpich공식도 소하천별로 편차가

존재하며 한정된 대상지구내에서 얻어진 결과이므로 이론적인 확인은 곤란할 것으로 판단된다. 그러므로 앞서 언급한 하도흐름 및 표면류흐름의 유하시간 산정 경험식을 기존 연구의 제원들을 이용하여 산정하여 종합적으로 검토한 결과, 국내 실무에서 사용되고 있는 경험식들과 관측치간에 상당한 편차가 나타났다. 반면 다수 농촌지역을 대상으로 개발된 Papadakis and Kazan공식과 호주, 스코틀랜드 등 국외에서 표면류흐름의 시간적 해석에 권장하고 있는 Friend공식은 관측치와 비슷한 경향을 보였다.

[표 2] 금회 소하천 추가 도달시간 산정결과

소하천명	관측치	도달시간(min)													
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
범학천	-	13.1	70.3	75.8	21.2	27.3	100.0	99.3	14.6	34.5	78.9	47.7	44.8	248.7	40.7
목곡골안천	25.0	6.3	42.1	67.8	17.9	17.9	72.1	71.5	11.5	26.9	55.0	37.5	29.0	167.4	35.9
내정천	35.0	4.9	33.4	52.7	12.2	12.3	53.7	53.3	8.6	20.4	39.8	28.1	19.6	107.1	33.4
부리천	25.0	7.3	42.9	63.9	16.4	17.9	71.9	71.3	11.1	26.3	54.8	36.4	28.9	161.1	35.5
운곡골천	25.0	4.1	25.0	46.6	10.2	9.9	45.5	45.1	7.4	17.6	33.1	24.1	15.7	84.2	27.7
차탄산골천	35.0	6.8	48.5	79.4	22.7	22.0	84.5	83.9	13.6	31.5	65.6	44.4	35.8	215.8	41.8
장실천	41.0	7.0	43.9	79.0	22.5	22.1	84.9	84.2	13.6	31.6	65.8	44.4	34.3	216.0	38.9
신기동천	35.0	6.2	37.3	64.0	16.4	16.8	68.4	67.9	10.8	25.5	52.0	35.4	24.7	153.5	33.5
창평하천	35.0	7.6	55.6	89.4	27.1	26.1	96.5	95.8	15.5	35.8	75.8	50.7	37.5	264.6	43.0
창평앞천	35.0	2.7	20.5	40.6	8.2	7.2	35.6	35.3	6.0	14.3	25.3	19.6	9.6	60.6	29.2
국사천	-	7.4	46.3	63.1	16.1	17.6	71.2	70.6	11.0	26.0	54.2	36.0	23.3	158.3	35.1
수청천	45.0	10.7	66.6	89.3	27.1	30.1	107.8	107.0	16.5	38.4	85.7	53.9	39.2	295.8	44.7
모래이랫천	25.0	6.9	67.7	56.9	13.8	15.3	63.7	63.3	9.8	23.4	48.1	32.1	18.9	133.3	54.1
법서천	35.0	5.2	35.3	65.3	16.9	15.9	65.8	65.3	10.7	25.1	49.7	35.0	19.1	149.3	33.9
이교천	55.0	9.8	63.3	80.6	23.2	25.9	96.1	95.4	14.7	34.4	75.5	48.1	30.8	247.8	45.1

주) a-연속형 Kraven공식, b-Bransby Williams공식, c-Izzard공식, d-Johnstone and Cross공식, e-California Culvert Practice공식, f-Henderson and Wooding공식, g-kinematic wave공식, h-FAA공식, i-Papadakis and Kazan공식, j-Chen and Wong공식, k-TxDOT공식, l-Welle and Woodward공식, m-NRCS공식, n-Friend공식

6.2 산지 소유역 도달시간 산정 방법별 결과 비교

김재훈(2015)은 강우-유출 시계열 자료의 상관관계로부터 얻어진 도달시간과 기존 경험식으로부터 계산된 도달시간을 상호 비교하여 우리나라 산지 소유역에서 도달시간 산정을 위한 기존 경험식의 적용성을 평가하고 선정하는 방안을 모색하였다.

해당 연구결과 SCS Lag공식을 제외한 기존 경험식은 실측치를 기반으로 도출한 도달시간에 비하여 매우 과소하게 산정이 되었으며, SCS Lag공식

에 의한 시간과 실측치에 의한 시간이 편차가 크지 않고 근접하기 때문에 SCS Lag공식의 적용성을 높이 평가하였다. 이와 같은 한정된 대상지에 한하여 진행된 연구로 확인할 수 없지만 분명 기존 경험식의 소규모 유역 적용에 있어서 재조명이 필요할 것으로 판단된다.

앞 절과 마찬가지로 하도흐름 및 표면류 흐름의 유하시간 산정 경험식을 기존 연구의 제원들을 이용하여 산정하여 종합적으로 검토한 결과, 국내 실무에서 사용되고 있는 경험식들과 관측치 간에 상당한 편차가 나타났다. 반면 표면류 흐름의 시간적 해석

[표 3] 기존 산지 소유역 도달시간 산정결과(2015, 김재훈)

지역명	유역면적 (ha)	유로연장 (km)	하상경사 (%)	유역경사 (%)	산림형태	산림연대 등급	도달시간(min)					
							관측치	a	b	c	d	e
광릉1	13.6	0.54	23.2	42.2	침엽수	Ⅳ	12.9	4.3	1.1	0.5	2.6	13.4
광릉2	22.0	0.71	19.9	36.9	활엽수	Ⅸ	16.7	5.7	1.6	0.7	3.4	17.8
공 주	22.6	0.88	29.6	44.0	활엽수	Ⅳ	27.8	5.8	1.5	0.7	4.2	19.4
경 산	19.8	0.86	26.9	46.6	활엽수	Ⅳ	20.0	5.9	1.6	0.8	4.1	18.5
진 안	39.1	0.76	18.9	32.0	침엽수	Ⅳ	28.8	6.1	1.7	0.8	3.6	20.2
화 순	37.8	1.29	36.0	59.4	활엽수	Ⅳ	20.5	7.2	2.0	1.0	6.1	22.6

주) a-Kirpich공식, b-Rziha공식, c-Kraven(I)공식, d-Kraven(II)공식, e-SCS Lag공식

[표 4] 금회 산지 소유역 추가 도달시간 산정결과

지역명	도달시간(min)															
	관측치	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
광릉1	12.9	2.0	30.1	11.3	29.0	5.0	4.3	30.5	30.2	4.1	12.1	16.3	13.3	6.6	33.2	17.2
광릉2	16.7	2.6	35.5	14.6	33.4	6.1	5.7	37.6	37.3	4.9	14.6	20.6	16.0	8.8	44.7	19.4
공주	27.8	3.3	35.8	17.4	31.4	5.6	5.8	38.0	37.7	4.8	14.4	20.8	15.6	8.9	43.5	20.1
경산	20.0	3.2	36.2	17.0	32.1	5.8	5.9	38.5	38.3	4.9	14.6	21.1	15.9	9.1	44.8	19.7
진안	28.8	2.8	37.1	15.2	34.7	6.5	6.1	39.8	39.5	5.1	15.4	21.9	16.9	9.5	48.4	20.4
화순	20.5	4.8	40.8	22.8	33.3	6.2	7.2	45.0	44.7	5.4	16.4	25.1	17.7	11.2	53.5	21.5

주) a-연속형 Kraven공식, b-Kerby(자연유역)공식, c-Bransby Williams공식, d-Izzard공식, e-Johnstone and Cross공식, f-California Culvert Practice공식, g-Henderson and Wooding공식, h-kinematic wave공식, i-FAA공식, j-Papadakis and Kazan공식, k-Chen and Wong공식, l-TxDOT공식, m-Welle and Woodward공식, n-NRCS공식, o-Friend공식

을 위한 경험식을 통한 도달시간 산정시 대체적으로 비슷한 수치를 보였다.

7. 결론

금회 기술회보에서는 최근 개정 중인 [소하천설계 기준(수립 중, 국민안전처)]상에서 설계홍수량 산정에 중요한 요소인 유역반응시간 매개변수(도달시간, 지류상수)의 적용 방법 변경을 계기로 도달시간 산정을 위한 기존 경험식과 국외에서 개발되고 있는 주요 경험식을 추가 적용하여 이들의 적용성을 판단해보고자 하였다.

- 1) 유출특성에 따른 유역규모의 정의를 살펴보면 소규모 유역의 경우 '표면류흐름이 지배적인 유역'으로 정의된다. 그러나 현행 설계기준 및 가이드라인은 하도흐름에 대한 시간적 개념 적용이 대부분이다.
- 2) 최근까지 국내에서는 도달시간이라는 개념에 대하여 몇몇 기술자 및 연구기관에서 연구가 이루어졌으나, 자료부족, 대상지구 부족 등의 사유로 이론적 근거를 확보하지 못하여 기술자들에게 외면 받아왔다. 반면, 국외에서는 꾸준한 유역반응시간 매개변수에 대한 실험적 연구가 이루어지고 있다. 특히 소규모 유역에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 이는 경험식으로서 제시되고 있다.
- 3) 기존 연구들의 선행 자료를 인용하여 실무에서

주로 이용되는 경험식과 추가적인 경험식을 적용하여 현행 산정방법의 적용성을 평가해본 결과, 기존 경험식으로 산정된 도달시간은 실측치에 비해 매우 과소하게 평가되는 경향을 보이며, 이는 기존 경험식이 유로연장과 하상경사만의 하도흐름의 개념으로 평가되는 것이 큰 이유라고 예상된다. 반면에 유출특성인자, 지질인자 등의 실제적 유역특성인자가 포함된 경험식의 경우 다소 양호한 결과를 도출하는 것으로 나타났다.

이러한 실무적 정의와 산정결과들을 놓고 보았을 때, 소하천정비종합계획 등과 같은 소규모 유역의 설계홍수량 산정시 도달시간 적용에 대하여 방법론적인 재조명이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 현재 단기집중화되고 있는 강우패턴으로 인하여 수해피해가 발생하는 지역이 주로 소하천 등의 소규모 유역이므로 이러한 지역에 대한 정확한 설계홍수량 산정은 반드시 필요하다. 따라서 이에 대한 지속적이고 확실한 연구를 통하여 국내 실정에 맞는 산정방법의 개발이 필요하다.

참고문헌

1. 한국수자원학회(2009), 하천설계기준
2. 소방방재청(2012), 소하천설계기준
3. 국토해양부(2012), 설계홍수량 산정요령
4. 표영평(1998), 홍수유출 예측을 위한 유달시간 산정, 동신대학교 논문집
5. 심기오(2000), 산지 소유역의 도달시간 결정에 관

기술정보

- 한 고찰, 한국수자원학회지
6. 김기흥(2001), 소하천 유역의 도달시간 관측에 관한 연구, 경남과학기술대학교 산업과학기술연구소보
7. 이정식(2004), 중규모유역에서의 유역응답시간 특성 분석, 한국수자원학회지
8. 김재훈(2015), 산림 소유역 실측수문사상을 이용한 홍수도달시간 산정법의 적용성 평가, 한국방재학회지
9. 정상만(2007), 연안도서지역 소하천 유역의 홍수도달시간 산정, 한국방재학회지
10. Touraj Sabzevari(2013), Time of concentration of surface flow in complex hillslopes, Journal of Hydrology and Hydromechanics
11. Fugro Scott Wilson Joint Venture(2013), Review of Methods in Estimating Surface Runoff from Natural Terrain, GEO Report No. 292
12. USDA(1986), Urban Hydrology for Small Watersheds, Soil Conservation Service 1986 Technical Release 55
13. Rui L.P. de Lima(2015), Using thermal tracers to estimate flow velocities of shallow flows: laboratory and field experiments, Journal of Hydrology and Hydromechanics
14. O.J Gericke(2016) Are estimates of catchment response time inconsistent as used in current flood hydrology practice in South Africa, Journal of the South African Institution of Civil Engineering