

홍수도달시간과 임계지속시간의 개념 비교(I)

심재현 (국립방재연구소 방재연구관)

조원철 (연세대학교 토목공학과 교수)

알리
기
말
씀

본고는 최근 행정자치부에서 시행하고 있는 재해영향평가제 뿐만 아니라 각종 치수 목적용 수공구조물의 설계에 필수적인 선행요건인 설계강우의 지속시간 산정에 사용되고 있는 홍수도달시간의 개념과 공식 및 문제점 등을 살펴 보고, 합리적인 지속시간 산정을 위해 사용할 수 있는 임계지속시간의 개념과 적용에 대해 살펴보고자 하는 데 목적이 있습니다.

특히 홍수도달시간 산정공식의 문제점과 임계지속시간 산정을 위한 전제조건과 산정방식 등을 검토함으로써 실무자들의 업무에 도움을 드리고자 본 원고를 생각하게 되었는데, 다루고자 하는 분량이 1회분의 원고로는 너무 많고 개념정립부터 적용에 이르기까지 여러 단계에 대한 검토가 있어야 하기 때문에 부득이 3회 분량으로 내용을 정리하고자 합니다.

· 차 례 ·

- 1. 머리말
- 2. 홍수도달시간에 대한 고찰
 - 2.1 유역반응시간의 개념
 - 2.2 유역반응시간의 개념확립
 - 2.3 홍수도달시간 공식 검토
 - 2.4 홍수도달시간 공식의 표준화
 - 2.5 비교고찰
- 3. 임계지속시간에 대한 고찰
 - 3.1 임계지속시간의 개념
 - 3.2 임계지속시간의 기준별 특성분석
 - 3.3 임계지속시간의 개념 표준화
 - 3.4 비교고찰
- 4. 실제 유역에의 적용
 - 4.1 적용 유역특성
 - 4.2 홍수도달시간 적용결과
 - 4.3 임계지속시간 적용결과
 - 4.4 비교고찰
- 5. 결 론

1. 머리말

수공구조물의 설계를 위해서는 해당 수공구조물의 중요도에 따른 설계빈도 및 설계유형(유량, 수위 등)의 설정이라는 선행작업이 우선되어야 한다.

설계빈도는 하천시설기준 등에 제시되어 있는 바와 같이 시설물의 입지조건과 중요도에 따라 설정될 수 있는 기준이 제시되어 있다. 그러나 설계유형은 확률강우량을 기초로 한 설계강우를 확립하고, 확립된 설계우량에 의한 유출량의 산정작업이 필요하다. 그러나 이와 같은 설계유출량의 산정에 있어서 설계강우의 지속시간 설정은 매우 중요한 선행작업이며, 설정된 지속시간에 따라 동일한 설계빈도의 유출량도 차이가 크게 나타나는 것이 일반적이다. 따라서 설계강우의 지속시간 설정은 매우 중요한 설계인자가 되므로 본고에서는 설계강우의 지속시간 설정을 위한 개념인 홍수도달시간과 임계지속시간에 대해 살펴보고자 한다.

종래의 설계강우에 대한 지속시간은 홍수도달시간이라는 개념을 도입하여 설정하여왔다. 즉, 동일한 강

도의 강우가 계속적으로 유역내에 발생한다는 가정하에 유역의 최원점에서 발생한 강우가 유출량으로 변화하여 유역의 최하구부에 도달하는 시간이면 첨두유출량이 발생한다는 물리적인 개념이 홍수도달시간의 개념이기 때문에 치수를 목적으로 하는 수공구조물의 설계인자로서 사용되어 왔던 것이다.

그러나 국내에서 사용되고 있는 홍수도달시간에 대한 공식은 대부분이 외국의 유역에 대한 실험공식이며, 동일한 유역인자에 대해서도 각 공식이 가진 특성에 의해 많은 차이가 나타나는 것이 현재의 실정이다. 따라서 기존의 관련 보고서들을 살펴보면 각종 공식들을 함께 검토하고, 이중 엔지니어의 주관적인 판단하에 하나의 공식을 사용하던가, 평균값을 사용하는 등의 방법으로 홍수도달시간을 정해 왔다. 그러나 이러한 방법은 각종 심의시 과소설계 또는 과다설계의 원인이 되고 있다는 지적이 많았으며, 실무자들로부터 정부기관 및 연구소 등의 검토에 의한 적정 공식의 제시가 필요하다는 요구가 있어 왔다.

따라서 이러한 여러 가지 문제점과 지적사항을 바탕으로 하여 본 고에서는 홍수도달시간의 개념과 최근 논의되고 있는 임계지속시간(critical storm duration)의 개념을 함께 검토하고자 하며, 특히 홍수도달시간의 경우 국내외 각종 서적을 참고로 하여 동일 공식에 있어서도 상이한 공식으로 나타나고 있는 각 공식에 대해 표준공식을 제안하고자 한다. 또한 치수를 위한 수공구조물의 설계인자인 첨두유출을 가장 적절하게 구현할 수 있다는 임계지속시간의 기존 연구를 통해 그 개념과 적용성에 대해 검토하고, 임계지속시간을 적용한 기존 재해영향평가서의 결과 등과 각종 홍수도달시간 공식을 계산하여 임계지속시간과 유사한 특성을 가지고 있는 홍수도달시간 산정공식 등을 살펴봄으로써 홍수도달시간과 임계지속시간의 개념을 재정립하는데 필요한 근거자료를 제시하고자 한다.

2. 홍수도달시간에 대한 고찰

2.1 유역반응시간의 개념

1) 하천시설기준의 정의

1993년 건설부에서 발간된 「하천시설기준」의 603~604쪽을 보면 강우에 의한 유출특성 중 유역의 반응시간은 “유역에 내리는 강우에 따라 첨두유출이 발생하는 시간적 특성과 수리학적으로 유역이 어떠한 반응을 일으키는지를 시간으로 나타낸 것을 유역반응시간이라 하며, 이 유역 반응시간을 나타내는 인자는 주로 집중시간, 지체시간, 기저시간 및 유달시간 등이 있다”고 밝히고 있다.

여기서 홍수도달시간 또는 집중시간(Time of Concentration)의 정의는 다음과 같이 두 가지로 기술되고 있다.

① 유역의 물리적 특성을 가지고 첨두유출을 산정하기 위해 유역에서 수리학적으로 최원점에 내린 물입자가 유역 출구점(또는 설계지점)까지 도달하는데 소요되는 시간

② 어떤 유역에서 관측된 강우와 유출수문곡선을 바탕으로 유효우량이 끝나는 점에서 직접 유출수문곡선 하강부 곡선의 변곡점까지 취한 시간

또한 지체시간(Lag Time)은 다음과 같이 정의하고 있다. ① 유효우량주상도의 중심과 첨두유출 발생시간의 시간차 또는 유효우량과 첨두유출이 발생하는 시간간격

2) Singh의 정의

Singh은 유출수문곡선의 유역특성에 따른 시간적 특성을 첨두시간, 지체시간, 홍수도달시간 등으로 나누어 정의하였으며, 이들의 정의는 다음과 같다.

① 첨두시간(Time to Peak) : 유출수문곡선이 상승되는 시점에서 첨두가 발생할 때까지의 시간

② 홍수도달시간(Time of Concentration) : 유역의 최원점에 내린 비가 유역 출구에 도달하는데 소요되는 시간

③ 지체시간(Lag Time) : 유효우량 주상도의 중심에서 직접 유출수문곡선의 중심까지의 시간

3) Bedient의 정의

Bedient와 Huber는 유역특성에 따른 유출수문곡선의 시간적 개념을 다음과 같이 각각 정의하고 있다.

① 지체시간(Lag Time) : 유효강우량 주상도의 중심에서 수문곡선의 첨두발생까지의 시간간격

② 상승시간(Time of Rise) : 유효강우량의 시작부터 수문곡선의 첨두발생까지의 시간간격

③ 홍수도달시간(Time of Concentration) : 유역의 평형이 이루어지는 시간, 즉, 유입량과 유출량이 같은 시점

④ 기저시간(Time of Base) : 직접유출수문곡선의 시작부터 끝까지의 시간간격

특히 홍수도달시간은 다음과 같은 두 가지 정의를 하였다.

① 유역내의 수리학적 최원점으로부터 출구지점까지 홍수파가 도달하는데 걸리는 시간

② 초과강우 상태에서 유역이 평형을 이루는데 걸리는 시간(즉, 유역의 유출량이 초과강우량과 같아지는데 걸리는 시간)

여기서 주의할 점은 홍수도달시간 t_c 는 유역의 하류로 물입자가 이동하는 시간이 아니라 홍수파가 이동하는 데 소요되는 시간이라는 사실을 주목해야 한다. 유역은 도달시간이 되어야 전유역에서의 유출이 출구에 도달하기 때문에 이때 평형상태가 된다. 홍수파는 물입자보다 빠르게 이동하기 때문에 도달시간은 지표흐름(또는 수로) 유속으로 계산하는 경우보다 빨리 발생하게 된다는 의미이다.

4) McCuen의 정의

McCuen에 의하면 홍수도달시간을 다음의 두 가지로 정의하고 있다.

① 유역의 최원점으로부터 출구 또는 설계지점까지 물입자가 이동하는데 필요한 시간

② 우량주상도와 유출수문곡선으로부터 초과강우와 직접유출이 계산되기 때문에 홍수도달시간은 초과강우주상도의 중심과 변곡점 사이의 시간이며, 초과강우의 종점과 변곡점사이의 시간으로 계산될 수도 있음

2.2 유역반응시간의 확립

이와 같이 제시되어 있는 유역특성에 의한 유출수

문곡선의 시간적 특성을 나타내는 유역반응시간은 Singh이 제시한 정의와 개념과 대부분 일치하는데, 그 내용을 상세하게 설명하면 다음과 같다.

1) 첨두시간(Time to Peak)

첨두시간이란 유출수문곡선이 상승되는 시점에서 첨두가 발생할 때까지의 시간으로 정의할 수 있다. 따라서 유하시간(travel time), 유역밀도(drainage density), 하도경사(channel slope), 하도의 조도(roughness), 토양의 침투능 등과 같은 배수유역의 특성에 따라 변화된다.

첨두시간은 유역에 걸쳐 내리는 강우의 분포에 따라 변화하며, 일반적으로 상류에 내린 강우의 첨두시간이 하류의 첨두시간에 비해 길며, 일정한 유출량에 대해 첨두시간이 길어질수록 첨두유량이 작고 첨두시간이 짧아질수록 첨두유량이 커진다. 따라서 첨두시간은 강우의 지속시간에 따라 변화된다.

첨두시간과 지체시간의 정의를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

2) 홍수도달시간(Time of Concentration)

홍수도달시간은 유역의 최원점에 내린 비가 유역 출구에 도달하는 데 소요되는 시간으로, 유역 모든 지점에서 유출에 영향을 주는 시간이므로 주어진 강우 강도에 의해 발생하는 유출량은 최대가 발생하는 시간이 된다.

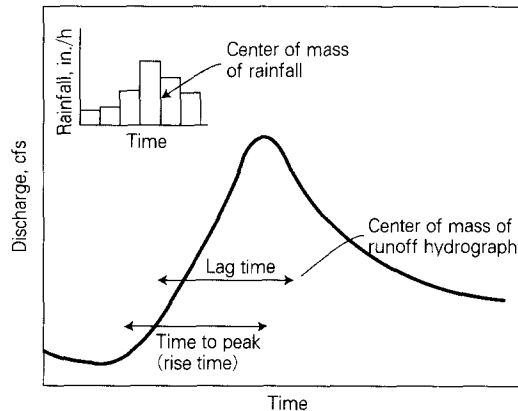


그림 1. 첨두시간과 지체시간과의 개념도

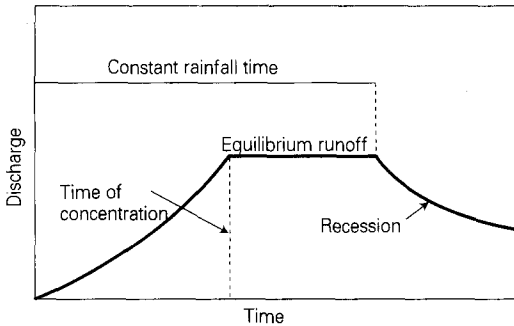


그림 2. 홍수도달시간의 개념도

이러한 정의는 초기손실(initial loss)을 모두 만족 하면서 동일 강도의 호우가 전유역에 걸쳐 최소한 홍수도달시간 이상 발생하여야 한다는 전제가 내포되어 있다. 또한 이러한 전제가 만족된다면 Bedient와 Huber가 정의하고 있는 유역내 평형도달시간(유입과 유출량이 동일해지는 시간)의 개념과 일치하게 된다.

홍수도달시간의 개념을 그림으로 나타내면 그림 2.와 같다.

이러한 의미를 유출수문곡선상에서 홍수도달시간과 첨두유량 발생의 관계로 살펴보면 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, 아래의 그림에서 B점을 유역의 출구점으로 생각하면 등도달유하시간을 가진 면적으로 4개의 소유역이 분할되며, 각 소유역의 평균유하시간은 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 시간이 된다.

이러한 유역자료를 바탕으로 유출수문곡선을 작성하려면 이때 발생한 강우강도 I와 각 소유역 면적 A_1 ,

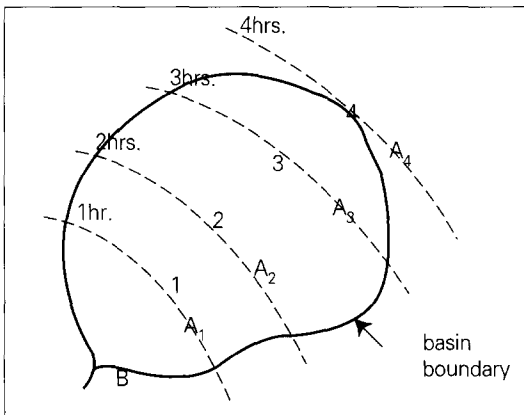


그림 3. 유역의 개념적 형상

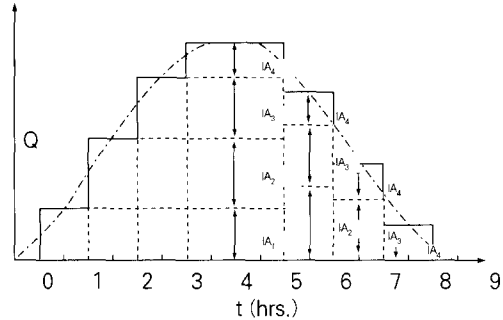


그림 4. 홍수도달시간과 첨두유량과의 관계

A_2, A_3, A_4 를 곱하면 되며, 이를 각 시간단위별로 B점의 유출량을 계산하면 위의 그림과 같은 유출수문곡선을 구할 수 있다.

이와같이 구한 수문곡선에서 첨두유량이 발생하는 시점은 그림에서 알 수 있는 바와 같이 A_1 지점 뿐만 아니라 유역의 최상류부인 A_4 지점에서 유하한 유량이 B지점에 유하될 때가 된다.

따라서 홍수도달시간(Time of Concentration)은 유역의 최원점에 발생한 강우가 유역출구에 이르는데 소요되는 시간으로 정의할 수 있으며, 이는 유역 전체가 유역출구의 유출현상에 영향을 미치는데 소요되는 시간으로도 정의할 수 있다.

다시 말하자면 강우의 지속시간이 홍수도달시간과 동일할 때 해당유역에서는 최대 첨두유량이 발생하게 된다는 의미이다.

3) 지체시간(Lag Time)

지체시간은 유효강우중상도의 중심에서 직접유출수문곡선의 중심까지의 시간으로 정의할 수 있는데, 직접유출수문곡선의 중심을 구하기가 어렵기 때문에 종종 직접유출수문곡선의 첨두까지의 시간으로 정의되기도 한다. 이러한 개념은 전체 유역에서 유효강우량이 일정하게 발생한다는 가정이 전제되어 있다.

지체시간은 유역면적, 유로연장, 주하천 하도경사 등에 의해 영향을 받는다.

2.3 홍수도달시간 공식 검토

1) SCS의 지체시간 공식(1972)

① Singh의 저서(1992)

미국의 토양보전국(Soil Conservation Service)에서는 홍수도달시간 t_c 를 지체시간 t_L 로부터 구하는 공식을 다음과 같이 제안하였다.

$$t_L = c A^b$$

여기서 t_L 은 시간, A는 mi^2 , b는 0.23~0.94사이의 지수이며, 0.3~0.4의 값이 가장 많이 사용된다. 또한 c는 유역특성에 따라 변화하는 계수이다.

SCS에서는 유출곡선지수(CN)을 사용하여 지체시간(유효우량주상도의 중심에서 첨두발생까지의 시각)을 산정하는 공식을 아래와 같은 식으로 제안하였다.

$$t_L = \frac{L^{0.8}(S_p + 1)^{0.7}}{1900 S^{0.7}}$$

여기서 t_L 은 지체시간(hr), L은 유역의 하도길이(ft), S는 유역의 평균경사(%), S_p 는 유역의 지류가능수량($in. = 1000/CN - 10$)이다. 이 식은 유역면적이 810ha미만인 유역을 대상으로 하고 있다.

SCS(1975)에서는 지체시간과 홍수도달시간과의 관계를 다음 식으로 제안하였다.

$$t_c = 1.67 t_L$$

이 식은 직접유출의 첨두유량 발생시각과의 관계이며, 이를 직접유출 수문곡선의 중심과의 관계로 나타내면 다음과 같다.

$$t_c = 1.42 t_L$$

McCuen 등(1984)의 연구결과에 의하면 위 식을 미국의 39개 도시유역에 대해 적용한 결과 홍수도달시간에 이른 경우 첨두유량에 대한 적용의 경우 잘 일치하는 것으로 알려진 바 있다.

② 하천시설기준에 의한 공식(1993)

SCS에서 1975년 제안한 지체시간과의 관계식을

중심으로 서술하고 있는데, 본 공식은 주로 농경지 유역에 적용하며, $0.8km^2$ 이하의 도시유역도 적용이 가능하다.

도시 불투수지역에서는 홍수도달시간은 t_c 는 유역 지체시간 t_L 의 1.67배이다. 홍수도달시간 t_c 는 다음의 식과 같다.

$$t_c = \frac{100L^{0.8}\{(1000/CN)-9\}^{0.7}}{1900 S^{0.5}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L은 최장 흐름경로(ft), CN은 SCS 유출곡선지수, S는 유역평균경사(%)이다.

③ Viessman의 저서(1996)

농촌유역의 자료로부터 개발되었으며, 2,000acre 이하의 소규모 도시유역에서도 적용될 수 있다. 완전 포장된 지역에서 잘 맞으며, 일부 포장된 지역에서는 과대산정되는 경향이 있다. 또한 하천개수나 불투수성 지역에 대해서 홍수도달시간은 유역지체시간 t_L 의 1.67배로 보정해야 한다.

$$t_c = \frac{1.67L^{0.8}\{(1000/CN)-9\}^{0.7}}{1900 S^{0.5}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L은 최장 흐름경로(ft), CN은 SCS 유출곡선지수, S는 유역평균경사(%)이다.

④ McCuen의 저서(1989)

유역의 지체시간을 초과강우의 중심으로부터 첨두 유출량까지의 시간으로 정의하며, 홍수도달시간은 지체시간의 1.67배이다.

지표면 흐름이 지배적인 비도시유역에 적용하는 것이 적절하며, 지체시간 산정공식은 2,000acre 이하인 균일유역에 사용할 것을 권장한다.

$$t_c = \frac{0.000877L^{0.8}(1000/CN)-9\}^{0.7}}{S^{0.5}}$$

여기서 t_c 는 시간(hr)단위이며, L은 최장흐름경로

(mi), CN은 유출곡선지수, S는 유역의 평균경사(%)를 나타낸다.

⑤ Wanielista의 저서(1997)

홍수도달시간은 지체시간의 1.67배이며, 지체시간은 시간단위이며 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$t_L = L^{0.8} \frac{(S' + 1)^{0.7}}{1900W_s^{0.5}}$$

여기서 t_c 는 시간(hr)단위이며, L은 하도길이(ft), S는 유역의 가능저류량(in), w_s 는 평균경사(%)이다.

⑥ Chow의 저서(1988)

홍수도달시간은 다음의 공식에 의해 계산된다.

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

여기서 홍수도달시간의 단위는 분(min), L은 유역의 수리학적 길이(ft), CN은 유출곡선지수, S는 평균 유역경사(%)이다.

농경지 유역에 대하여 SCS에서 개발한 식이며, 2,000acre 이하의 소규모 도시유역에도 적용가능하다. 유역이 완전히 포장된 지역에 잘 맞으며, 토지이용도가 복합적인 지역에서는 과다 산정되는 경향이 있다. 개수된 수로와 불투수성 지역에 대하여는 보정할 필요가 있다.

2) SCS의 평균유속 공식(1975)

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

지표면 상태에 따라 평균유속을 산정하여 도달시간 계산하는 방법으로 자연유역에서는 5km² 이하의 유역에 적용가능하다.

$$t_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L_i}{V}$$

여기서 홍수도달시간의 단위는 분(min)이며, L은 지표면 흐름길이(ft), V는 표면상태에 따른 평균유속(ft/sec)이다.

② McCuen의 저서(1989)

상류로부터 하류로 흐르는 흐름의 유하시간(T_t)이 흐름길이(L)와 속도(V)의 함수라는 개념으로 다음 식이 성립된다.

$$T_t = \frac{L}{V}$$

유하시간은 주요 흐름경로에 대하여 계산하며, 경사와 토양피복이 다른 부분들로 나누어져 각각에 대하여 계산하게 되고, 홍수도달시간은 유하시간의 합이 된다.

$$t_c = \sum_{i=1}^k T_{ti} = \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{V_i}$$

이때 유속은 Manning의 평균유속공식을 사용하여 산정한다.

따라서 홍수도달시간을 시간단위로 환산하면 아래의 식이 성립된다.

$$t_c = 0.0002778 \sum (L_i k S^{-0.5})$$

여기서, L_i 는 하도길이(ft), S는 경사, k는 토지이용 및 흐름의 형태에 의해 결정되는 계수로서 다음과 같은 표에 의해 구할 수 있다.

③ Akan의 저서(1993)

유출흐름의 형태를 면상류(面狀流 : sheet flow),

표 1. 토지이용과 흐름의 형태에 따른 k값

토지이용도와 흐름의 형태에 따른 분류	k 값
낙엽이나 수풀이 우거진 삼림이나 목초지에서 표면류	0.25
미개간지역 또는 경작지역 및 삼림지역에서의 표면류	0.50
풀의 길이가 짧은 목초지에서 표면류	0.70
잘 정돈된 가로수 등에서의 표면류	0.90
나지 또는 미경작지의 표면류, 미국 서부지역의 퇴적 선상지역	1.00
초목이 있는 수로	1.50
포장지역의 면상류, 고지대 소형 수로	2.00

지표천수류(地表淺水流 : shallow concentrated flow), 하도류(河道流 : channel flow) 등의 3가지로 구분하여 각 흐름의 유하시간에 대한 공식을 제안하였다. 즉 상류부에서 강우는 초기손실된 이후 면상류의 흐름으로 흐르다가 300ft이상의 흐름에서 지표천수류로 변환되고 이러한 흐름이 유로를 만나게 되면 하도류가 된다.

가. 지표천수류와 하도류에 대한 공식

대부분의 유역에서는 두 가지 흐름이 모두 존재하며, 상류에서 하류로 유하하면서 각 흐름이 공존하게 되므로 각 소구간으로 세분하여 소구간별 유하시간(travel time)을 산정하게 되며, 각 유하시간을 합산하면 홍수도달시간이 산정된다.

$$t_f = \frac{L}{3600V}$$

여기서 t_f 는 유하시간(hr), L은 유로길이(ft), V는 평균유속(ft/sec)이다.

여기서 평균유속은 지표천수류인 경우 토지이용도와 유역경사에 따른 실험결과에 의한 그림을 사용하며, 하도류인 경우에는 Manning의 평균유속공식을 사용한다.

나. 면상류에 대한 공식

면상류인 경우 유하시간은 Overton and Meadows (1976)가 제안한 다음의 공식을 사용하는데, 이때 주의할 것은 유로길이는 300ft미만이어야 한다는 것이다.

$$t_f = \frac{0.007(nL)^{0.8}}{P_2^{0.5}S_0^{0.4}}$$

여기서 t_f 는 시간(hr)단위이며, L은 유로길이(ft), n은 Manning의 조도계수, S_0 는 유역경사(ft/ft), P_2 는 2년빈도의 24시간 지속시간의 강우량(in)를 의미한다.

3) Kirpich공식

① 하천시설기준에 의한 공식

지표면 흐름이 지배적인 농경지 유역에 적합하며,

하도경사가 3~5%, 유역면적 0.453km²이하의 소유역에 적용하는 것이 적절하다.

$$t_c = 0.0013 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서, t_c 는 홍수도달시간(min), L은 하도길이(ft), S는 평균경사(H/L, ft/ft), H는 유역출구점과 본류 최원점까지의 표고차(ft)이다.

② 율용남의 저서(1994)

$$t_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서, t_c 는 홍수도달시간(min), L은 주하천의 유로연장(km), S는 평균경사(m/m)이다.

③ Viessman의 저서(1996)

미국 Tennessee주의 7개 농촌유역(rural basin)에 대한 SCS의 자료로부터 개발된 공식으로, 하천의 구분이 명확하고 급경사 산지(3~10%)에 대한 공식이다.

콘크리트나 아스팔트를 흐르는 지표면에 대해 적용할 경우 0.4, 콘크리트로 개수된 하천에 대해 적용할 경우 0.2를 보정계수로 곱하는 것이 적절하며, 나지상태의 지표면류나 도로측구에 대해 적용할 경우에는 보정계수가 필요없다.

$$t_c = 0.0078 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L은 하도길이(ft), S는 유역의 평균경사(ft/ft)이다.

④ McCuen의 저서(1989)

Pennsylvania(PA)와 Tennessee(TN)의 소유역에 대한 실험결과로서, 수로의 길이와 경사를 인자로 설정하였다. Tennessee 유역의 면적은 1~112acre, 경사는 3~10%로 한정하고 있다. 지표면 흐름의 경로가 콘크리트 또는 아스팔트인 경우와 수로가 콘크

리트 복공이 되어있는 경우에는 계산된 도달시간에 각각 0.4와 0.2의 보정계수를 곱해야 한다.

입력값을 기준으로 볼 때 수로흐름의 방법이지만, 검정용으로 사용된 소유역은 지표류 도달시간을 반영한다.

$$\text{Kirpich(PA)} : t_c = 0.00002167 \frac{L_f^{0.77}}{S_f^{0.5}}$$

$$\text{Kirpich(TN)} : t_c = 0.00013 \frac{L_f^{0.77}}{S_f^{0.385}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(hr), L_f 는 하도길이(ft), S_f 는 평균경사(ft/ft)이다.

⑤ Singh의 저서(1992)

가장 보편적으로 사용되는 공식으로 Kirpich가 1940년에 제안한 공식이다.

$$t_c = 0.0078 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(hr), L 은 하도를 따라 유역의 최원점에서 출구까지의 측정된 거리(ft), S 는 최원점에서의 표고와 유역출구에서의 표고를 L 로 나눈 값을 의미한다.

또한 SCS(1972)에서는 윗 식을 변환하여 다음 식을 제안하였다.

$$t_c = \frac{L^{1.15}}{7700H^{0.38}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(hr), H 는 최원점에서의 표고와 유역출구에서의 표고차(ft)가 된다.

이 식을 분단위의 홍수도달시간과 하도길이를 고려하여 변환하면 다음 식이 성립된다.

$$t_c = \frac{60L^{0.77}}{7700(H/L)^{0.38}}$$

⑥ Wanielista의 저서(1997)

$$t_c = 0.0078 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 하도길이(ft), S 는 경사(ft/ft)이다.

⑦ Debo의 저서(1995)

$$t_c = 0.0078 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.077}$$

여기서, t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 하도길이(ft), S 는 평균경사(ft/ft)이다.

이 공식은 구분이 확연한 하천, 나지의 형태에서 잘 맞기 때문에 수풀이 조성되어 있는 하천에서는 2, 콘크리트나 아스팔트 표면에서는 0.4, 콘크리트로 개수된 하천에서는 0.2의 보정계수를 곱하여야 한다.

⑧ Chow의 저서(1989)

$$t_c = 0.0078 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서 홍수도달시간의 단위는 분(min)이며, L 은 상류로부터 방류구까지의 수로의 길이(ft), S 는 평균 유역경사(ft/ft)이다.

Tennessee 7개 농촌유역에서 수로와 가파른 경사지(3~10%)에 대한 SCS자료로부터 개발된 식으로, 콘크리트 또는 아스팔트 표면의 지표흐름의 경우에는 t_c 에 0.4를 곱하고, 콘크리트 수로에는 0.2를 곱한다. 나지 또는 도로의 측구에는 보정을 하지 않는다.

⑨ Shaw의 저서(1996)

1940년 개발된 공식으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 공식이다.

$$t_c = 0.00025 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.80}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(hr), L 은 주 하천유로를 따라 측정된 연장(m), S 는 전체적인 유역경사(m/m)이다.

4) Kraven 공식

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

지표면 흐름이 지배적인 중하류 유역 중 하도 경사가 1/200 이하인 유역에 적합하다.

$$t_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$$

여기서 t_c 는 분단위이며, L은 하도 길이(km), S는 하도 경사(H/L, m/m)이다.

② 윤용남의 저서(1994)

자연하천의 중하류 유역(하도 경사가 1/200) 이하인 유역에 적합하다.

$$t_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$$

여기서 t_c 는 분단위이며, L은 하도 길이(km), S는 하도 경사(H/L, m/m)이다.

5) Kerby 공식

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

Kerby가 1959년 하도길이가 0.4km 이하인 도시 유역 중 유역면적 0.04km²이하, 하도경사는 1%이하인 유역에 대한 적용공식으로 제안한 공식이다.

$$t_c = 181.8 \left(\frac{rL^{1.5}}{H} \right)^{0.467}$$

여기서 t_c 는 분단위이며, L은 흐름경로 길이(km), H는 표고차(m), r은 보정계수로 포장지역에서는 0.02, 평탄한 나대지 0.10, 거칠고 풀이 없는 지역 0.30, 잔디 0.40, 나무나 풀이 뺏직한 지역 0.80을 곱하여야 한다.

② 윤용남의 저서(1994)

도달시간이 유로연장 및 평균경사 뿐만 아니라 피복상태에 따른 조도에도 관계가 있는 식으로 다음과 같이 표시된다.

$$t_c = 36.255 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.2533}}$$

여기서 t_c 는 분단위이며, L은 유로연장(km), n은 피복의 조도계수로 포장지역 0.02, 나지는 0.30, 삼림은 0.80을 각각 사용한다.

③ Wanielista의 저서(1997)

지표류 흐름에 대한 공식으로 다음과 같이 나타내어 진다.

$$t_c = c(Lns^{-0.5})^{0.467}$$

여기서 t_c 는 도달시간(min), L은 유로연장(ft), s는 경사(ft/ft), c는 ft단위에서 0.83, m 단위에서 1.44를 사용하는 환산계수, n은 조도계수이다.

이때 주의할 점은 유로연장은 1000ft 이하이어야 한다는 것이다.

표 2. 토지이용도에 따른 조도계수

토지 이용도	조도 계수
smooth pavements	0.02
poor grass, bare sod	0.30
average grass	0.40
dense grass	0.80

④ McCuen의 저서(1989)

Kerby-Hathaway Formula라고도 하며, 지표면 흐름이 지배적인 극소유역에 적용하는 공식으로, 하도길이는 유역의 최원점으로부터 잘 정리된 수로까지 경사에 평행한 직선상의 거리를 사용한다.

10acre이하의 유역에서 공식의 적용성을 검증한 바 있는데, 경사는 1%이하, Manning의 조도계수는 0.8이하를 사용하는 것이 일반적이다.

$$t_c = 0.01377 \frac{L_r^{0.47} n^{0.47}}{S_f^{0.235}}$$

여기서 t_c 는 시간(hr)단위이며, L_r 는 하도길이, n은

Manning의 조도계수, S_f 는 경사를 의미한다.

6) Rziha공식

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

지표면 흐름이 지배적인 상류지역으로 하도 경사가 1/200 이상인 유역에 적합하다.

$$t_c = 0.833LS^{0.6}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L은 하도 길이(km), S는 하도 경사(H/L, m/m)이다.

② 윤용남의 저서(1994)

자연하천의 상류부($S \geq 1/200$)에 적용하는 공식이다.

$$t_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L은 하도 길이(km), S는 하도 경사(H/L, m/m)이다.

7) Izzard공식

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

도시하천유역에 적용하는 공식으로 1946년 개발되었다.

$$t_c = 41.025 \frac{(0.07i+c)L^{0.33}}{S^{0.333;0.667}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, i는 강우강도(in./hr), c는 지체계수(편평한 포장지역=0.007, 콘크리트 포장지역=0.012, 자갈 포장지역=0.017, 잘려진 잔디밭=0.046, 조밀한 잔디밭=0.060), L은 흐름경로 길이(ft), S는 흐름경로 경사(ft/ft)이다.

② Viessman의 저서(1996)

1945년 개발된 공식으로 도로나 잔디표면을 흐르는 지표면류에 대한 Bureau of Public Road의 실험 자료로부터 제안한 공식이다.

$$t_c = \frac{41.025(0.0007i+c)L^{0.33}}{S^{0.333;0.667}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, i는 강우강도(in/hr), c는 지체계수, L은 흐름경로의 길이(ft), S는 흐름경로의 경사(ft/ft)이다.

지표면이 매끈한 포장인 흐름에서 지체계수는 0.007, 콘크리트 포장인 경우 0.012, 조밀한 잔디인 경우 0.06을 사용하며, i와 L의 곱은 500이하 이어야 한다.

③ Wanielista의 저서(1997)

포장지역과 잔디유역에서 실험한 결과에 의한 공식이다.

$$t_c = \frac{41KL^{1/3}}{i^{2/3}}$$

여기서 t_c 는 도달시간(min), L은 유로연장(ft), i는 강우강도(in/hr)이며 K는 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$K = \frac{0.0007i+c_r}{S^{1/3}}$$

여기서 주의할 점은 반드시 $i \times L < 500 \text{ in-ft/hr}$ 이어야 하며, c_r 은 지체계수로서 다음과 같은 값을 가진다.

④ Chow의 저서(1988)

$$t_c = \frac{41.025(0.0007i+c)L^{0.33}}{S^{0.333;0.667}}$$

표 3. 피복상태에 따른 Izzard의 지체계수

피복 상태	지체계수
very smooth asphalt	0.007
tar and sand pavement	0.0075
crushed-slate roof	0.0082
concrete	0.012
tar and gravel pavement	0.017
closely clipped sod	0.046
dense bluegrass	0.060

여기서 i 는 강우강도(in/hr), c 는 지체계수, L 은 유로연장(ft), S 는 유로경사(ft/ft)이다. 이 식은 Bureau of Public Roads에서 도로와 잔디표면의 지표흐름에 대하여 실험한 결과에 의해 개발한 식이다. 지체계수는 매우 완만한 포장의 0.0070으로부터 콘크리트 포장의 0.012, 조밀한 잔디의 0.06의 범위를 갖는다. 반복법으로 해를 구하며 $i \times L$ 이 500이하이어야 한다.

8) Kinematic Wave 공식(1965, 1973)

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

개발지역의 지표면 유출해석에 이용할 수 있는 공식이다.

$$t_c = 0.94 L^{0.6} n^{0.6} / [i^{0.4} S^{0.3}]$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 지표면 흐름길이(ft), n 은 Manning 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S 는 지표면 흐름경사(ft/ft)이다.

② Viessman의 저서(1996)

Morgali, Linsley에 의해 1965년 개발되었으며, Aron, Erborge에 의해 1973년 개선된 공식으로, 지표면 흐름의 kinematic wave 분석으로부터 산정되었다.

개발지역의 지표면에 대한 적용시 이용되는데, 강우강도 i 와 t_c 가 미지수이므로 반복계산이 필요하다. IDF curve를 이용하면 도해법을 통해 t_c 를 구할 수도 있다.

$$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 지표면 흐름의 길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S 는 지표면 평균경사(ft/ft)이다.

③ McCuen의 저서(1989)

kinematic wave 이론을 이용한 지표흐름의 도달

시간 산정방식으로, 지표흐름이 지배적인 극소규모 도시소유역에 적용할 수 있다. 이 공식은 일정한 강우강도와 난류흐름을 가정하고 있으며, 지표흐름의 길이는 50~100ft의 범위에 한정한다.

$$t_c = 0.01567 \frac{L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S_f^{0.33}}$$

여기서 t_c 는 시간(hr)단위이며, L 은 하도길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S_f 는 경사(ft/ft)이다.

④ Wanielista의 저서(1997)

$$t_c = \frac{0.93[L^{0.6}n^{0.6}]}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 유로연장(ft), n 은 Manning의 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S 는 평균경사(ft/ft)이다.

⑤ Akan의 저서(1993)

1965년 Morgali와 Linsley가 개발한 공식으로 불투수성 유역과 투수성 유역으로 구분하여 나타내면 다음과 같다.

가. 불투수성 유역

불투수성 정방형 유역의 표면류에 대한 kinematic 이론을 적용한 공식이다.

$$t_c = \frac{(Ln)^{0.6}}{k^{0.6}S^{0.3}i^{0.4}}$$

여기서 i 는 강우강도(in/hr), S 는 유로를 따라 측정된 평균경사, n 은 Manning의 조도계수, k 는 상수로 $1.0 \text{ m}^{1/3}/\text{sec} (=1.49 \text{ ft}^{1/3}/\text{sec})$ 이다.

위의 식은 단위가 모두 일치할 때 사용되기 때문에 이 식을 현장에서 사용하기 편리하게 재정리하면 다음의 식이 성립된다.

$$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

여기서 각 계수의 단위를 살펴보면 홍수도달시간은 분(min)단위이며, i 는 in/hr, L 은 ft단위가 된다.

나. 투수성 유역

투수성 정방형 유역에서는 아래의 식이 성립된다.

$$t_c = \frac{(Ln)^{0.6}}{k^{0.6}S^{0.3}(i-K)^{0.4}} + \frac{3.10K^{1.33}P_f \phi (1-S_i)}{i^{2.33}}$$

여기서 K 는 토양의 수리전도율(hydraulic conductivity), ϕ 는 토양의 유효공극(effective soil porosity), P_f 는 토양의 흡입수두(soil suction head), S_i 는 토양의 선행포화도(antecedent degree of saturation of the soil)가 된다.

위의 식은 kinematic overland flow 이론과 Green-Ampt 침투능 공식을 이용하여 $K < 0.4i$ 인 범위에 대해 구성되었는데, 불투수성 표면에서는 $K=0$ 이 되므로 불투수성에 대한 공식으로 전환될 수 있다.

이 식을 불투수성 표면에 대한 적용의 경우와 같이 현장에서 사용될 수 있도록 변환하면 다음의 식이 성립된다.

$$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{S^{0.3}(i-K)^{0.4}} + \frac{186K^{1.33}P_f \phi (1-S_i)}{i^{2.33}}$$

여기서 홍수도달시간은 분(min)단위이며, i 와 K 는 in/hr, L 은 ft, P_f 는 in, S , S_i , ϕ 는 무차원이 된다.

⑥ Chow의 저서(1988)

$$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{(i^{0.4}S^{0.3})}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 지표흐름이 길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S 는 평균지표경사(ft/ft)이다.

개발지역에서 지표유출의 kinematic wave 분석으로부터 개발된 지표흐름 방정식으로, 강우강도 i 와 t_c 가 미지수이기 때문에 해법에 반복법이 필요하다. IDF곡선을 이용하여 도해법으로 직접 t_c 를 구할 수도 있다.

9) 미개척국(USBR) 공식(1942, 1973)

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

California Culvert Practice라고도 하며, 1942년 California 산지 소유역에 대한 실험에 의해 제안되었다.

$$t_c = 60 \{11.9L^3 / H\}^{0.385}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 최장 수로길이(mi), H 는 상류 분류점과 출구의 표고차(ft)이다.

② Viessman의 저서(1996)

1973년 미개척국(U.S. Bureau of Reclamation)에서 Kirpich공식을 근거로 개발한 공식으로, California의 산지 소유역에 대한 자료를 사용하였다.

$$t_c = 60(11.9L^3 / H)^{0.385}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 하도길이(mi), H 는 본류 최원점과 유역출구점의 표고차(ft)이다.

③ Chow의 저서(1988)

1942년 개발된 California Culverts Practice공식이라고도 하며, California의 소규모 산지유역에 적용한 결과를 근거로 미개척국에 의해 1973년 개선되었다.

$$t_c = 60(11.9L^3 / H)^{0.385}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 수로의 최장거리(mi), H 는 분수계와 방류구 사이의 수위차(ft)이다.

10) 미연방항공청 공식(1970)

① 하천시설기준에 의한 공식(1993)

미 연방 항공청(Federal Aviation Agency)에서 주로 공항지역에 이용할 수 있도록 개발한 식이며, 미공병단에서는 개발도시지역에도 이용하고 있다.

지표면 흐름영역에 주로 적용하는 공식이다.

$$t_c = 1.8(1.1 - C) L^{0.5} / S^{0.333}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L은 지표면 흐름길이(ft), C는 합리식 유출계수, S는 지표면 흐름경사(%)이다.

② Viessman의 저서(1996)

미공병단에서 수집한 활주로 자료로부터 구한 공식으로 도시유역의 지표면 흐름(overland flow)에 대한 해석시 유용하다.

$$t_c = 1.81(1.1-C) L^{0.50} / S^{0.333}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, C는 합리식에서의 유출계수, L은 지표면흐름의 길이(ft), S는 지표면경사(%)이다.

③ McCuen의 저서(1989)

활주로 자료로부터 개발된 공식으로 지표흐름이 지배적인 소유역에 적용 가능하다. 길이, 경사, 저항이 지배적인 변수이다.

$$t_c = 0.03 (1.1-C) L^{0.5} S^{-0.333}$$

여기서 t_c 는 시간(hr)단위이며, L은 하도길이(mi), S는 경사(%), C는 합리식의 유출계수이다.

④ Wanielista의 저서(1997)

$$t_c = \frac{1.8(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.33}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, C는 합리식 유출계수, L은 지표면흐름길이(ft), S는 경사(%)이다.

⑤ Chow의 저서(1988)

$$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50} / S^{0.333}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, C는 합리식의 유출계수, L은 지표흐름의 길이(ft), S는 표면경사(%)이다.

미공병단에 의해 활주로에서 개발되었으며, 활주로 배수문제에 적용하기 위해 개발하였으나 도시유역에 적용가능하다.

11) 기타공식

위에 제시한 공식이외에도 Johnstone and Cross, McCuen Wong and Rawls, Carter Lag Equation for Partially Sewered Watersheds, Eagleson Lag Model, Espey-Winslow Equation, Van Sickle Equation, Bransby Williams Equation 등이 있는데 이에 대한 내용은 생략하기로 한다.

2.4 홍수도달시간 공식의 표준화

위에서 제시한 각 홍수도달시간 산정공식을 살펴보면 각 저서별로도 공식의 형태가 상이한 경우도 나타나고 있어 본 절에서는 각 공식별로 적절하다고 판단되는 표준공식을 제시하고, 확연하게 오류가 있는 공식을 확인하고자 한다.

1) SCS의 지체공식

총 6개의 참고서적에 의해 검토한 결과, 다음과 같은 공식이 적정하다고 판단된다.

$$t_c = \frac{1.67L^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}}$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간으로 시간(hr)단위이며, L은 최원점에서의 유로연장(ft), CN은 유출곡선지수로 산정되는 유역가능저류량은 inch 단위, S는 평균경사(%)이다.

이러한 기준에 의해 참고서적에서의 오류를 살펴보면 Singh(1992)의 저서에서는 평균경사의 지수가 $S^{0.7}$ 로 오기되어 있으며, Viessman (1996)의 저서에서는 단위가 시간단위이어야 하나 분단위로 오기되어 있었다. 또한 McCuen(1989)의 저서에서는 L의 단위가 feet이어야 하나 mile로 잘못 기재되어 있는 것

으로 나타냈다.

2) SCS의 평균유속공식
가. 지표천수류와 하도류
에 대한 공식

유역을 소구간으로 세분하여 구간별 유하시간(travel time)을 아래의 식으로 산정하게 되며, 각 유하시간을 합산하여 홍수도달시간을 산정한다.

$$t_f = \frac{L}{3600V}$$

여기서 t_f 는 유하시간 (hr), L은 유로길이(ft), V는 평균유속(ft/sec)이다.

여기서 평균유속은 토지이용도와 유역경사에 따른 실험결과에 의한 아래의 그림을 사용하며, 하도류인 경우에는 Manning의 평균유속공식을 사용한다.

나. 면상류에 대한 공식

유하시간은 아래의 공식을 사용하며, 유로길이는 300ft미만에 적용하여야 한다.

$$t_f = \frac{0.007(nL)^{0.8}}{P_2^{0.5}S_0^{0.4}}$$

여기서 t_f 는 시간(hr)단위이며, L은 유로길이(ft), n은 Manning의 조도계수, S_0 는 유역경사(ft/ft), P_2 는 2년빈도의 24시간 지속시간의 강우량(in)를 의미한다.

3) Kirpich공식

총 8개 참고서적의 공식들을 검토한 결과 Kirpich 공식은 미국의 펜실베니아와 테네시 유역의 측정결과에 의한 공식이 있으며, 대부분의 공식이 이중 테네시 유역에 대한 결과를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

특이한 사항은 외국서적의 모두 오류가 있었음에 반해 유일하게 윤용남 교수의 저서에서 제시된 공식

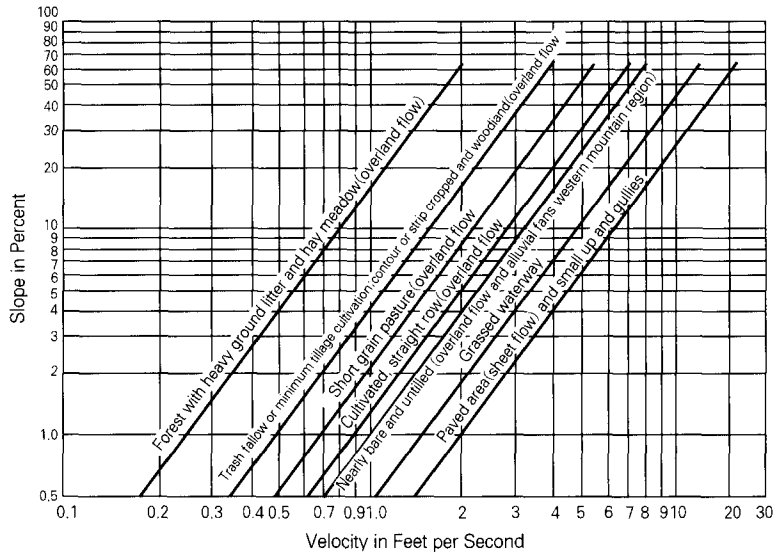


그림 5. 유역경사와 토지이용도에 따른 지표면류와 면상류의 평균유속

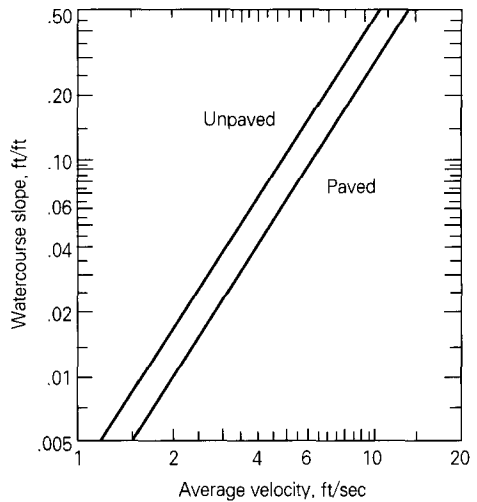


그림 6. 토지이용 및 유로경사에 따른 지표천수류 평균유속

이 타당한 것으로 나타났다.

$$t_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

여기서, t_c 는 홍수도달시간(min), L은 주하천의 유로연장(km), S는 평균경사(m/m)이다.

이 공식을 기준으로 살펴보면 하천시설기준(1993)의

공식은 계수에 6을 곱하여야 하며, Viessman (1996), McCuen(1989), Singh(1992), Wanielista (1997), Chow(1988), Shaw(1994)의 공식은 단위가 분(min)이 아니라 시간(hr)으로 수정되어야 하며, Debo(1995)의 저서에서는 펜실베니아의 실험결과로서 역시 분(min)이 아닌 시간(hr)으로 수정되어야 함을 알 수 있다.

4) Kerby의 공식

총 네 권의 참고서적에 대한 공식을 타 공식의 설정 기준과 비교하여 검토한 결과, 타 공식과 같은 대표적인 공식을 확인하기가 곤란하였다. 특히 Kerby의 원전을 확보하지 못한 상태여서 불가능하다고 판단되었다.

단, Kerby공식의 적용범위를 넘지만 타 공식에서의 산정치와 비교하여 보면 4개의 참고문헌 중 하천시 설기준(1993)의 공식이 가장 근접한 결과를 보였으며, 윤용남(1994) 및 Wanileista(1997)의 공식은 과다하지만 비슷한 결과를 보였고, McCuen (1989)의 공식에서는 L이 mile단위가 아닌 feet 단위에어야 함을 알 수 있었다.

또한 윤용남(1994)의 저서에서 지수의 계수는 타 공식과 비교할 때 0.2533이 아니라 0.2335가 타당하다는 판단을 할 수 있었다.

5) Izzard의 공식

총 네 권의 참고서적에 수록된 공식에서 대표적인 공식을 제시하면 다음과 같다.

$$t_c = \frac{41.025(0.0007i+c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, i 는 강우강도(in/hr), c 는 지체계수, L 은 흐름경로의 길이(ft), S 는 흐름경로의 경사(ft/ft)이다.

이 식을 기준으로 참고서적의 오류를 살펴보면 하천시설기준(1993)에서 계수 0.007이 0.0007로 수정되어야 함을 알 수 있다.

6) Kinematic Wave 공식

총 여섯 권의 참고서적에 수록된 공식을 살펴본 결과 하도 및 포화된 유로에서의 홍수도달시간은 다음과 같이 나타내어진다.

$$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, L 은 지표면 흐름의 길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, i 는 강우강도(in/hr), S 는 지표면 평균경사(ft/ft)이다.

이 식을 기준으로 참고서적의 오류를 살펴보면 Wanielista(1997)의 저서에서 계수가 0.93이 0.94로 수정되어야 함을 알 수 있다.

7) 미연방항공청 공식

총 다섯 권의 참고서적에 수록된 공식을 살펴본 결과 대표적인 홍수도달시간 산정공식은 다음과 같다.

$$t_c = \frac{1.8(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

여기서 t_c 는 분(min)단위이며, C 는 합리식 유출계수, L 은 지표면 흐름길이(ft), S 는 경사(%)이다.

이 식을 기준으로 참고서적의 오류를 살펴보면 McCuen(1989)의 저서에서는 L 의 단위는 mile이 아닌 feet로 수정되어야 하며, Viessman(1996)의 저서는 계수가 1.81에서 1.8로, Wanielista(1997)의 저서에서는 경사항의 지수가 0.33에서 0.333으로 미소한 수정이 필요한 것으로 파악되었다.

2.5 비교고찰

본 연구는 최근 많은 논란이 되고 있는 홍수도달시간의 개념과 산정공식에 대한 정립을 위해 이루어졌으며, 특히 각 서적에 수록되어 있는 동일공식들의 차이점으로 인해 빚어지고 있는 혼선을 합리적으로 해결하고자 하는 목적이 있다.

본문에서 제시한 바와 같이 홍수도달시간 산정공식 중 일반적으로 사용되고 있는 열개의 공식에 대해 열네 권의 국내의 서적을 참고로하여 살펴본 결과

Kraven, Rziha, USBR공식을 제외한 일곱개 공식이 각 서적마다 상이한 식으로 제시되어 있었다.

이러한 결과는 재해영향평가 대상유역자료를 사용하여 각 공식마다 홍수도달시간을 정량화한 수치를

통해 비교한 것이며, 유역의 특성과 흐름별 유속을 합리적으로 표현해주는 공식을 표준공식으로 제시하였다. ●

〈참 고 문 헌〉

- 건설부 (1993). 하천시설기준, pp.603~604.
- 윤용남 (1994). 공업수문학. 청문각, pp.282~284.
- Akan, A.O. (1993). Urban Stormwater Hydrology -A Guide to Engineering Calculations-. Technomic Publishing Co. Inc., pp.77~82.
- Bedient, P.B. and Huber, W.C. (1988). Hydrology and Floodplain Analysis. Addison Wesley Publishing, pp.345~348.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, pp.500~501.
- Debo, T.N. and Reese, A.J. (1995). Municipal Storm Water Management. CRC Press, Inc., p.212.
- Kibler, D.F. (1982). "Desk-top methods for urban stormwater calculation". Chap.4 in Urban Stormwater Hydrology. Water Resources Monograph No.7. American Geophysical Union, pp.114~117.
- McCuen, R.H. (1989). Hydrologic Analysis and Design. Prentice Hall, pp.115~124.
- Overton, D.E. and Meadows, M.E. (1976). Stormwater Modeling. Academic Press.
- Shaw, E.M. (1994). Hydrology in Practice. 3rd Edition, Chapman & Hall, p.318.
- Singh, V.P. (1992). Elementary Hydrology. Prentice-Hall, pp.450~455.
- U.S. Soil Conservation Service (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. pp.3-1~3-5.
- Viessman, W. Jr. and Lewis, G.L. (1996). Introduction to Hydrology. Harper Collins, 4th Edition, pp.181~185.
- Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. (1997). Hydrology -Water Quantity and Quality Control-. John Wiley & Sons, Inc., 2nd Edition, pp. 140~148.