

# 도달시간 산정 방법의 개발

## Development of an Estimation Method for Travel Time

○정종호<sup>1)</sup> / 금종호<sup>2)</sup> / 윤용남<sup>3)</sup>

### 1. 서론

강우에 의한 유역의 유출반응을 유역반응이라 하고, 유역반응을 나타내는 시간매개변수에는 도달 시간(travel time), 집중시간(time of concentration), 지체시간(lag time) 등이 있다. 현재 실무에는 집중 시간 및 지체시간을 통상 도달시간의 함수로 산정하고 있는 실정이므로 정확한 도달시간 산정이 유역 반응 시간매개변수 결정의 선결 과제임을 알 수 있다.

우리나라의 경우 자연유역의 도달시간 산정에는 외국에서 개발된 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kraven 공식 등과 같은 경험공식들을 주로 사용하고 있다. 하지만, 이들 공식의 타당성 여부에 대하여 검증된 바 없으며 또한, 기존 경험공식을 실제 유역에 적용하여 보면 결과의 차이가 매우 크게 나타나고 있으나 마땅한 채택 기준은 제시되지 않고 있는 문제점 등을 지니고 있다.

이와 같이 적용상 많은 문제점을 지니고 있는 기존 경험공식에 얽매어서 도달시간을 산정하여 유역반응 시간매개변수를 결정하고 이를 이용하여 홍수량을 산정하는 방법으로는 홍수량 산정 결과의 신뢰도를 보장할 수 없으므로 이에 대한 개선이 필요함을 알 수 있다.

### 2. 도달시간 산정 방법의 개발

#### 2.1 평균경사-평균유속 관계곡선의 작성

하천정비기본계획이 수립된 국가하천 13개소, 지방하천 26개소 및 소하천 30개소의 수면곡선계산 결과에서 측정별 하도경사-유속 자료를 수집하였다.

수집된 수면곡선계산 결과에서 50년빈도의 동일 유량을 적용하는 구간별 평균경사-평균유속 원자료를 나타낸 평균경사-평균유속 관계곡선의 회귀식은 식 (1)과 같다. 한편, 여기서 일반적으로 사용하는 다항식은 S-곡선 형태 제대로 나타낼 수 없기 때문에 이러한 형태의 회귀식을 채택하였다.

$$V_0^R = - \frac{0.006978}{S + 0.004468} + 3.399996, \quad R^2 = 0.53 \quad (1)$$

여기서  $V_0^R$  : 원자료에 의한 평균유속(  $V_0$ )을 회귀분석한 평균유속(m/sec)  
 $S$  : 평균경사(m/m)  
 $R^2$  : 결정계수

원자료에 의한 평균경사-평균유속 관계곡선을 살펴보면 동일한 평균경사에서 평균유속은 많은 차이를 나타내고 있으며 결정계수도 0.53으로 그다지 높지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인으로는 하천의 지역별 확률강우량 차이, 유역면적 차이 등이 있으며, 이러한 인자들이 미치는 영향을 정확하게 파악하여 고려하는 것이 필수적임을 알 수 있다.

이를 위해 먼저 인자들에 의한 영향을 유속보정계수 형태로 정확하게 파악하고 원자료에 의한 평균경사-평균유속 관계곡선에서 이들 인자들의 영향을 제거하여 일반화된 평균경사-평균유속 관계곡선을 도출하기로 하였다.

---

1) (주)새길이엔시 수자원부 이사, 고려대학교 대학원 박사수료  
 2) (주)새길이엔시 수자원부 주임  
 3) 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

## 2.2 평균경사-평균유속 관계곡선의 일반화

### 2.2.1 지역별 확률강우량의 차이에 대한 영향 제거

지역에 따라 확률강우량의 차이가 있으며, 유역조건이 동일한 경우에는 확률강우량이 큰 경우의 홍수량이 크고 유속도 커지는 경향을 나타내게 된다. 따라서, 원자료에 의한 평균경사-평균유속 관계곡선에서 이와 같은 지역별 확률강우량의 차이에 대한 영향을 제거하는 일반화가 필요하다.

하천별로 하천정비기본계획 보고서의 재현기간별 확률강우량 자료와 이를 이용한 수면곡선계산 결과의 평균유속 자료를 수집한 후, 기준 재현기간으로 채택한 50년빈도 확률강우량과 평균유속을 기준으로 재현기간별 확률강우량의 비율과 평균유속의 비율에 대한 회귀식은 식 (2)와 같다.

$$C_R = 0.3611 \times \frac{R_R}{100} + 0.6389, \quad R^2 = 0.93 \quad (2)$$

여기서  $C_R$  : 확률강우량의 비율에 대한 평균유속의 비이며 지역별 확률강우량의 차이에 대한 유속보정계수

$R_R$  : 확률강우량의 비율(%)이며 동일 강우지속기간의 전국평균 확률강우량에 대한 해당 하천 확률강우량의 비율

$R^2$  : 결정계수

### 2.2.2 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향 제거

하천별 유역면적의 차이에 따른 영향을 제거하기 위하여 평균경사-유역면적 관계 및 유역면적-평균유속 관계의 분석을 실시하여 유속보정계수를 산정하는 방법을 채택하였다.

실제 하천의 평균경사-유역면적 관계를 회귀분석한 결과는 식 (3)과 같이 나타났으며, 이를 이용하여 산출된 유역면적은 실제 유역면적과 구분하기 위하여 평균경사에 대한 기준 유역면적으로 정의하였다. 또한, 실제 하천의 유역면적-평균유속 관계를 회귀분석한 결과는 식 (4)와 같다.

$$A_{Rep} = 0.0760 S^{-1.1003}, \quad R^2 = 0.58 \quad (3)$$

$$V_{Reg} = \frac{212.4250}{A + 171.8599} + 1.6520, \quad R^2 = 0.40 \quad (4)$$

여기서  $A_{Rep}$  : 평균경사별 기준 유역면적(km<sup>2</sup>)

$S$  : 평균경사(m/m)

$V_{Reg}$  : 원자료의 평균유속( $V_0$ )을 회귀분석한 평균유속(m/sec)

$A$  : 유역면적(km<sup>2</sup>)

$R^2$  : 결정계수

유역면적 차이에 대한 유속보정계수( $C_A$ )는 식 (3)의 평균경사-유역면적 회귀식으로 대상하천의 유역면적(A)에 대한 기준 유역면적( $A_{Rep}$ )을 결정하고, 이들 두 가지 유역면적에 대하여 식 (4)의 유역면적-평균유속 회귀식으로 산정한 유속의 비를 이용하여 식 (5)와 같이 산정한다.

$$C_A = \frac{V_{Reg, Act}}{V_{Reg, Rep}} \quad (5)$$

여기서  $C_A$  : 하천별 유역면적의 차이에 대한 유속보정계수

$V_{Reg, Act}$  : 실제 유역면적에 대한 회귀식에 의한 평균유속(m/sec)

$V_{Reg, Rep}$  : 기준 유역면적에 대한 회귀식에 의한 평균유속(m/sec)

### 2.2.3 일반화된 평균경사-평균유속 관계곡선

상기와 같이 주요 인자에 대한 영향을 제거하는 절차를 통해 지역별 확률강우량의 차이와 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향을 제거한 평균유속은 식 (6)과 같이 산정할 수 있다.

$$V_{O-R-A} = \frac{V_0}{C_R \times C_A} \quad (6)$$

여기서  $V_{O-R-A}$ : 지역별 확률강우량의 차이와 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향을 제거한 평균유속(m/sec)

$V_0$  : 실제 수면곡선계산 자료로부터 수집된 원자료의 평균유속(m/sec)

$C_R$  : 지역별 확률강우량의 차이에 대한 유속보정계수

$C_A$  : 하천별 유역면적의 차이에 대한 유속보정계수

이와 같은 지역별 확률강우량의 차이와 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향을 제거한 평균유속을 이용한 평균경사-평균유속 관계곡선은 그림 1과 같고, 이를 회귀분석한 결과는 식 (7)과 같다.

$$V_G = V_{O-R-A}^R = -\frac{0.005671}{S + 0.003046} + 3.447620, \quad R^2 = 0.65 \quad (7)$$

여기서  $V_G$  : 지역별 확률강우량의 차이와 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향을 제거한 평균유속을 회귀분석한 일반화된 평균유속(m/sec)

$S$  : 평균경사(m/m)

$R^2$  : 결정계수

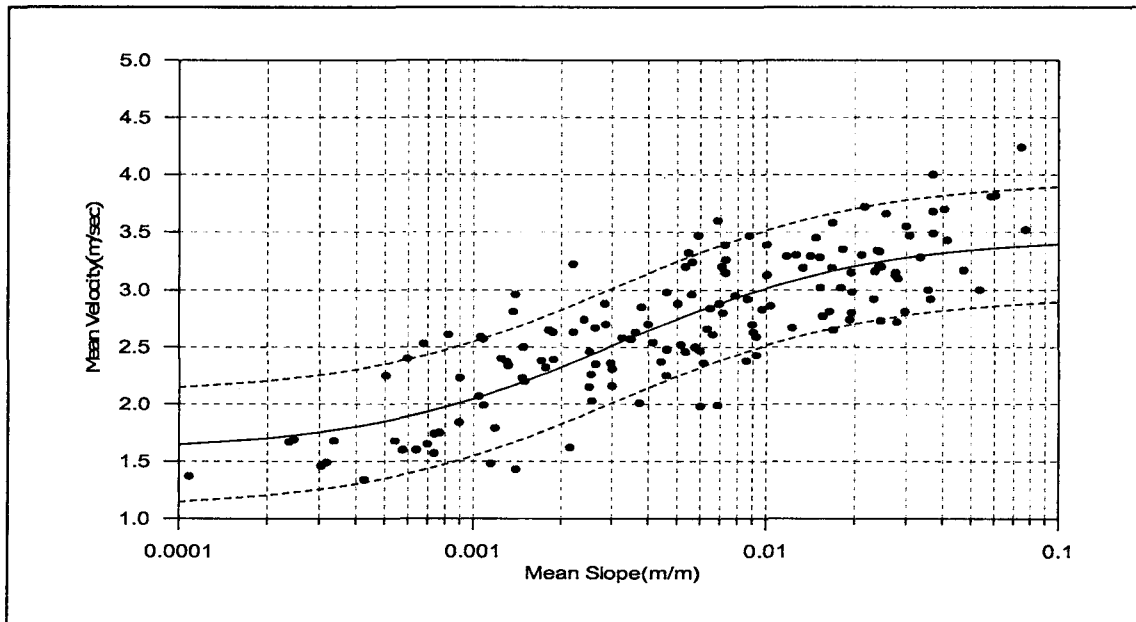


그림 1 일반화된 평균경사-평균유속 관계곡선

이러한 일반화 과정을 실시하면 결정계수가 0.53에서 0.65로 증가되어 반대수지상에서 더욱 뚜렷한 S-curve 형태의 경향성을 나타내면서 대략  $\pm 0.5\text{m/sec}$ 의 신뢰구간을 설정할 수 있게 되며 또한, 대부분의 자료들이 신뢰구간 범위로 들어오게 되므로 일반화 과정은 적절한 것으로 판단된다.

### 3. 도달시간 산정 방법의 적용 절차

일반화된 평균경사-평균유속 관계곡선의 회귀식인 식 (7)에 대상 하천 구간의 평균경사를 대입하여 구간의 일반화된 평균유속(  $V_G$ )을 산출한다.

지역별 확률강우량의 차이에 대한 유속보정계수(  $C_R$ )를 식 (2)를 이용하여 산정하고, 하천별 유역면적의 차이에 대한 유속보정계수(  $C_A$ )를 식 (5)를 이용하여 산정한 다음, 대상 하천의 구간별 최종 평균유속을 식 (8)과 같이 산정한다.

$$V_M = V_{G+R+A} = V_G \times C_R \times C_A \quad (8)$$

여기서  $V_M$  : 일반화된 평균유속에 지역별 확률강우량의 차이와 하천별 유역면적의 차이에 대한 영향을 고려한 최종 평균유속(m/sec)

$V_G$  : 일반화된 평균유속(m/sec)

$C_R$  : 지역별 확률강우량의 차이에 대한 유속보정계수

$C_A$  : 하천별 유역면적의 차이에 대한 유속보정계수

최종 도달시간은 식 (8)에서 산정되는 평균유속을 사용하여 식 (9)와 같이 산정한다.

$$T_c = \frac{L}{3.6V_M} \quad (9)$$

여기서  $T_c$  : 도달시간(hr)

$L$  : 유로연장(km)

$V_M$ : 평균유속(m/sec)

### 4. 결 론

본 연구에서 개발한 도달시간 산정 방법의 주요 장점은 다음과 같고, 이와 같은 방법은 외국의 기존 경험공식의 문제점을 대부분 개선하였으므로 향후 이를 사용할 경우 도달시간은 물론 홍수량 산정 결과의 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

- 실제 수면곡선계산 자료를 토대로 회귀분석을 실시하였기 때문에 산정되는 평균유속이 현실적으로 타당한 범위를 가진다.
- 경사에 관계없이 하나의 방법으로 일관되게 산정하므로 하천별 또는 구간별 불연속이 발생하지 않는다.
- 지역별 확률강우량의 차이, 하천별 유역면적의 차이를 고려하므로 유역의 특성을 충분히 반영하게 되며 또한, 재현기간에 따른 차이를 포함시켜 고려할 수 있다.

### 참고문헌

- 건교부(2000). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제1권 - 한국 확률강우량도 작성, pp. 94~97, 183~254
- 건설부(1993). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 별책 부록 - 설계홍수 추정 지침서, pp. 92
- 정종호, 윤용남(2003). 수자원설계실무, 구미서관, pp. 123~135
- Singh, V.P.(1998). *Hydrologic Systems Volume I Rainfall-Runoff Modeling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., pp. 105