

# 저류상수 산정 방법의 개발

## Development of an Estimation Method for Storage Coefficient

정종호\*, 김석우\*\*, 윤용남\*\*\*

Jong Ho Jeong, Seok Woo Kim, Yong Nam Yoon

### 요 지

전체유역을 하나의 유역으로 처리하여 홍수량을 산정한 경우와 전체유역을 소유역으로 분할하여 홍수량을 산정한 경우의 홍수량 차이가 크게 발생하며 소유역 분할에 따른 홍수량 증가가 매우 크므로 이에 대한 개선방안이 절실히 필요하다. 이와 같이 소유역 분할에 따른 홍수량 증가가 발생하는 문제를 해결하기 위하여 홍수량 산정방법으로 가장 널리 사용되고 있는 Clark 단위도법의 두가지 매개변수 중에서 물리적인 개념이 강한 도달시간은 조정이 불가능하므로 저류상수 산정 방법을 개선하고자 한다.

저류상수 산정 공식중 Sabol 공식은 가장 합리적이며 최근 많이 채택되고 있으나 형상계수가 0.1 정도가 되면 도달시간( $T_c$ )/저류상수( $K$ )가 매우 작아지는 경향을 나타내며 이에 따라 홍수량도 매우 작게 산정되는 문제점을 야기시키므로 이를 수정하여 저류상수 산정 공식의 기본 공식으로 채택하고 보정계수를 사용하여 소유역으로 분할하여 하도추적과 합성을 통하여 홍수량을 산정할 경우 홍수량이 크게 증가하는 문제를 해결하도록 저류상수 산정 공식을 제시하였다.

**핵심용어** : 저류상수, Sabol 공식, 소유역분할, 저류상수 보정계수

### 1. 저류상수 산정 방법의 개선 필요성

홍수량 산정 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 Clark 단위도법의 매개변수인 저류상수 결정시 통상 실무에서는 저류상수-도달시간 관계에서 결정하는 방식을 주로 채택하고 있으며 이런 경우에는 저류상수는 도달시간의 함수가 된다. 하지만, 홍수량의 크기에 미치는 영향인 민감도가 도달시간보다 저류상수가 훨씬 크므로 합리적인 저류상수 결정 방법이 매우 중요하다.

현재 우리나라의 경우 적절한 실측자료가 부족하여 이론적인 방법에 의하여 저류상수를 결정하기는 어려운 실정으로 도달시간과의 관계를 이용하여 저류상수를 결정하는  $K = \alpha T_c$  방법이 주로 채택되어 왔으며, 계수  $\alpha$  값은 0.8 ~ 1.2의 범위에서 주관적으로 결정하며 대부분 1.0을 적용하고 있다.

이와 같이 저류상수를 결정하는 방법은 계수  $\alpha$  값의 결정이 너무 임의적인 점과, 유역형상 등을 전혀 고려하지 못하는 문제점 등을 지니고 있으므로 개선이 필요하다.

또한, 홍수량 산정시 전체유역을 하나의 유역으로 처리하여 홍수량을 산정한 경우와 전체유역을 소유역으로 분할하고 소유역별 홍수량 산정, 하도 홍수추적 및 합성을 통하여 홍수량을 산정한 경우의 홍수량 차이가 크게 발생하고 있으며, 이러한 홍수량 차이는 소유역 개수를 많이 분할할수록 크게 발생하며 소유역 분할에 따른 홍수량의 증가가 상당히 크므로 이에 대한 개선 방안이 절실히 필요하다.

현재 실무에서는 홍수량을 산정하고자 하는 지점을 기준으로 상류의 전체유역을 대상으로 각각 유역추적을 실시하여 홍수량을 산정하는 방안을 주로 채택하여 소유역 분할을 가급적 실시하고 있지 않으며, 불가피하게 소유역 분할을

\* 정회원·(주)하존이앤씨 대표

E-mail: jhwater@hotmail.com

\*\* 정회원·(주)하존이앤씨 수자원부 과장

E-mail: woo4949@nate.com

\*\*\* 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

E-mail: ynyoon@korea.ac.kr

실시할 경우에는 아직까지 적절한 방안이 제시되지 않은 관계로 계수  $\alpha$  값을 임의로 조정하여 맞추고 있는 실정이다.

소유역 분할에 따른 홍수량 증대는 홍수량 산정 대상유역의 면적이 작아지면 단위도 종거의 침투치 증가에 따른 침투홍수량은 크게 증가되는 반면 하도 홍수추적에서 홍수량의 감소는 매우 작은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

이와 같은 증가 및 감소 요인 중에서 하도추적에서 홍수량의 감소가 작은 것보다 소유역의 침투홍수량 증가가 지나치게 큰 것이 더욱 많은 영향을 미치는 것이며 이는 유역면적이나 유역형상 등에 관계없이 저류상수를 도달시간만의 함수로만 산출하기 때문에 발생하는 문제로 판단된다.

따라서 이와 같이 소유역 분할에 따른 홍수량 증대가 발생하는 문제를 해결하기 위해서는 Clark 단위도법의 두 가지 매개변수 중에서 물리적인 개념이 강한 인자인 도달시간은 조정이 불가능하므로 저류상수 산정 방법을 개선하는 방안이 필요함을 알 수 있다.

## 2. 저류상수 산정 방법의 기본 형태 채택

기존 저류상수 산정 공식에는 Clark 공식, Linsley 공식, Russel 공식, Sabol 공식 등이 있으며 현재 주로 Russel 공식의 형태를 채택하고, Sabol 공식이 도입되고 있는 추세이다.

기존 저류상수 산정 공식은 다음과 같은 많은 문제점을 지니고 있으며, 저류상수 산정 결과에 따라 홍수량의 차이가 매우 크게 발생하는 점을 감안할 때 저류상수 산정의 문제점은 반드시 해결되어야 할 과제임을 알 수 있다.

- ① Clark 공식은 유로연장과 평균하도경사만을 고려하므로 유역규모 및 유역형상은 고려하지 못하는 방법이며 또한, 계수 C의 결정이 임의적이며 주어진 계수 C의 범위로는 적절한 결과를 도출하기 어려운 경우가 많다.
- ② Linsley 공식은 Clark 공식에 비해 유역면적이 추가되어 유역규모는 고려되나 마찬가지로 유역형상은 고려하지 못하는 방법이며 또한, 계수 b의 결정이 임의적이며 주어진 계수 b의 범위로는 적절한 결과를 도출하기 어려운 경우가 많으며 특히, 유역면적이 커지면 적용이 곤란하다.
- ③ Russel 공식은 지금까지는 정확도가 낮은 도달시간을 이용하고, 유역규모 및 유역형상을 고려하지 못하며 또한, 계수  $\alpha$ 의 결정이 임의적인 문제점을 지니고 있다. 우리나라 실무에서 가장 많이 채택하는 공식이며, 우리나라 실무에서는  $\alpha$  값을 원래 공식에서 제시되는 범위와는 달리 통상 0.8~1.2 범위를 적용하고 일반적으로 1.0을 채택하고 있다.
- ④ Sabol 공식은 Russel 공식과 마찬가지로 지금까지는 정확도가 낮은 도달시간을 이용하고, 유역규모를 고려하지 못하는 문제점을 지니고 있지만 유역형상을 형상계수의 역수의 형태로 고려하여 산출된 계수를 도달시간에 곱하는 형식이므로 Russel 공식보다 합리적이다. 한편, 저류상수 산정 결과를 살펴보면 일반적으로 도달시간의 0.8~1.2배의 범위를 나타내므로 우리나라 실무에서 채택하는 경향과 대체적으로 일치하고 있다.
- ⑤ 상기 공식 모두 전체유역을 소유역으로 분할하고 소유역별 홍수량 산정, 하도추적 및 합성을 통하여 홍수량을 산정할 경우 소유역의 개수를 많이 분할할수록 홍수량이 증가되는 문제점을 가지고 있다.

상기 공식중에서 유역특성인자와의 복합적인 관계를 고려하는 Sabol 공식이 가장 합리적일 것으로 판단되며 또한 현재 우리나라에서 많이 사용되기 시작하고 있는 점 등을 감안하여 저류상수 산정 공식은 Sabol 공식을 채택한 다음 기존 Sabol 공식의 문제점 개선 및 소유역 분할에 따라 홍수량이 증대되는 문제점에 대한 개선 방안을 강구하기로 하였다.

## 3. 저류상수 산정 방법의 개선

### 3.1 기존 Sabol 공식의 개선

기존 Sabol 공식을 도달시간-저류상수 관계로 나타내면 다음 식 (1)과 같이 표시되며, 도달시간-저류상수 관계는 형상계수를 인자로 하는 비선형관계이다.

$$\frac{T_c}{K} = 1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A} = 1.46 - \frac{0.0867}{SF} \quad (1)$$

여기서 K는 기존 Sabol 공식의 저류상수(hr),  $T_c$ 는 도달시간(hr), L은 유로연장(km), A는 유역면적( $\text{km}^2$ ), SF는 형상계수( $A/L^2$ )이다.

기존 Sabol 공식으로 형상계수에 따른 도달시간-저류상수 관계를 산정하여 보면 형상계수가 0.1 정도가 되면  $T_c/K$ 가 매우 작아지는 경향을 나타내며 이에 따라 홍수량도 매우 작게 산정되는 문제점을 야기시키므로 수정이 필요하다.

이런 문제점을 개선하기 위하여 기존 Sabol 공식의 도달시간-저류상수 관계를 도시하고 이를 토대로 형상계수가 작은 경우에도 무난하게 적용할 수 있는 곡선을 작성한 결과는 그림 1과 같다.

동 그림을 토대로 도달시간-저류상수 관계를 식 (2)와 같은 형태로 수정하였으며, 수정 Sabol 공식의 경우 그림 1.에 나타난 바와 같이 형상계수가 작은 경우에도 도달시간-저류상수 관계가 무난하게 산정됨을 알 수 있다.

$$\frac{t_c}{K} = \frac{97.28}{SF^{-2.88} + 128.19} + 0.59 \quad (2)$$

여기서 K는 수정 Sabol 공식의 저류상수(hr),  $t_c$ 는 도달시간(hr), SF는 형상계수( $A/L^2$ )이다.

이와 같이 형상계수가 0.2 이하인 경우의 도달시간-저류상수 관계를 조정하여 형상계수가 작은 경우에 대한 적용성을 높이고, 식 (3)의 소유역 보정계수를 도입한 수정 Sabol 공식은 다음 식 (4)과 같이 표시된다.

$$t_s = \frac{t_u}{60} \left( 1 - \frac{A}{25} \right) \quad (3)$$

여기서  $t_s$ 는 소유역 매개변수 보정계수(hr),  $t_u$ 는 소유역 매개변수 보정계수의 상한계로 10~15 min 범위, A는 유역면적( $\text{km}^2$ )이며 면적적용은  $25\text{km}^2$ 까지이다.

$$K = \frac{T_c + t_s}{\frac{97.28}{SF^{-2.88} + 128.19} + 0.59} \quad (4)$$

여기서 K는 수정 Sabol 공식의 저류상수(hr),  $T_c$ 는 도달시간(hr),  $t_s$ 는 소유역 매개변수 보정계수(hr), SF는 형상계수( $A/L^2$ )이다.

### 3.2 신규 저류상수 공식의 기본 형태

저류상수 산정 공식의 기본 형태는 가장 합리적이며 최근 많이 채택되고 있는 Sabol 공식을 약간 변형한 수정 Sabol 공식을 기본 공식으로 채택하였다.

기존 및 수정 Sabol 공식에서 가장 개선이 필요한 부분은 전체유역을 하나의 유역으로 홍수량을 산정하는 경우에 비해 소유역으로 분할하여 하도추적과 합성을 통하여 홍수량을 산정할 경우 홍수량이 크게 증가하는 문제이므로 저류상수 산정 공식의 기본 형태를 다음 식 (5)와 같이 설정하였다.

$$K = \beta \frac{T_c + t_s}{\frac{97.28}{SF^{-2.88} + 128.19} + 0.59} \quad (5)$$

여기서 K는 수정 Sabol 공식의 저류상수(hr),  $T_c$ 는 도달시간(hr),  $t_s$ 는 소유역( $25\text{km}^2$  미만) 매개변수 보정계수(hr), SF는 형상계수( $A/L^2$ ),  $\beta$ 는 소유역 분할에 따른 저류상수 보정계수로 유역면적 A와 분할된 소유역 개수 N 및 형상계수(SF) 등의 함수이다.

### 3.3 저류상수 적용 가상 대상유역의 설정

홍수량 산정 기준 정립에서 전국평균 개념의 기준을 적용하는 방안을 채택하였으므로 저류상수 산정 방법의 개선을 위한 대상유역의 형상도 일단은 하나의 가상적인 형상으로 가정하여야 한다.

가상유역의 형상으로는 타원형이 가장 일반적인 형태이나 많은 소유역으로 분할시 이에 따르는 계산의 편리성을 위하여 타원형에 가까운 마름모형을 채택하였다. 가상 유역의 구체적인 마름모형 형상은 그림 2와 같

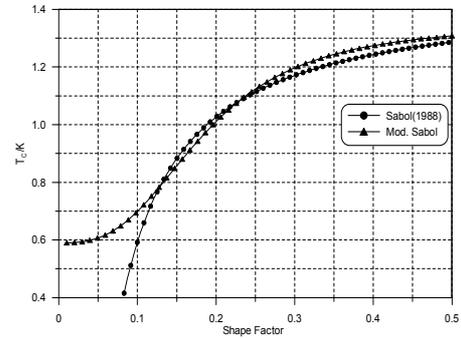


그림 1. 도달시간-저류상수 관계

고, 이와 같은 가상유역은 전체 열(row)과 행(column)의 수가 모두 12개이며 격자(cell)의 개수는 84개로 구성되어 있다.

이와 같이 열과 행의 수를 12개로 설정한 것은 소유역 분할시 계산의 적용을 용이하게 하기 위함이며, 유역면적은 다양한 경우에 대하여 저류상수의 적용성을 검토하기 위하여 유역면적의 규모를 5~25,000 km<sup>2</sup> 범위에서 14개 방안으로 설정하였다.

금회 분석에서 「한국하천일람(건교부, 2003)」의 자료를 이용하여 우리나라의 유역면적과 유로연장간의 관계를 식 (6)과 같이 회귀식으로 제시하였으며, 도출된 식을 이용하여 유로연장을 계산하였다.

$$L = 1.76 A^{0.546} \quad (6)$$

여기서 L은 유로연장(km), A는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다.

구체적인 대상유역 규모 설정 방안은 표 1.과 같고, 동 표를 살펴보면 14개 안의 유역면적은 5~25,000 km<sup>2</sup> 범위, 유로연장은 약 4~440 km 범위이며 형상계수는 0.28~0.13 범위이다.

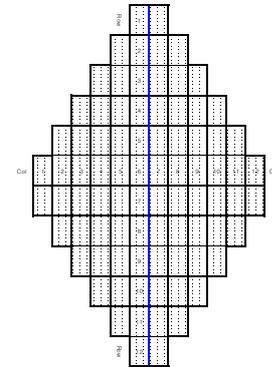


그림 2. 가상 대상유역

표 1. 대상유역 규모 설정 방안

면적구분 방 안	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	형상계수 (SF)	면적구분 방 안	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	형상계수 (SF)
1안	5	4.23	0.28	8안	500	52.24	0.18
2안	10	6.18	0.26	9안	750	65.19	0.18
3안	25	10.18	0.24	10안	1,000	76.27	0.17
4안	50	14.87	0.23	11안	3,000	139.32	0.15
5안	75	18.55	0.22	12안	5,000	183.59	0.15
6안	100	21.70	0.21	13안	10,000	268.01	0.14
7안	250	35.79	0.20	14안	25,000	441.92	0.13

### 3.4 홍수량 산정에 필요한 항목 기준 및 방법 설정

#### 3.4.1 소유역 분할

대상유역의 소유역 분할 방법은 열(row)을 기준으로 분할하는 것을 원칙으로 하며, 소유역을 분할하는 방법을 예를 들면 3개로 분할하는 경우 1~4번열, 5~8번열, 9~12번열을 하나의 소유역으로 구분하고, 4개로 분할하는 경우 1~3번열, 4~6번열, 7~9번열, 10~12번열로 구분하는 방식을 적용하였다.

한편, 소유역 분할에 있어서 소유역의 개수는 1개, 2개, 3개, 4개, 6개, 12개로 나누는 것으로 간주하여 6가지 경우로 구분하였다.

#### 3.4.2 도달시간

##### 가. 유입시간 산정방법의 개선

유역최원점에서 하도시점까지 표면류(overland flow) 흐름상태의 유하시간인 유입시간은 유역규모가 작은 경우 하도에서의 유하시간이 짧기 때문에 도달시간에 미치는 영향이 매우 큰 반면 유역규모가 커지면 영향이 점진적으로 줄어들게 되므로 유입시간은 소유역에서 상대적으로 보다 중요한 인자가 되며 유입시간을 계산하는 기존 방법을 살펴보면 유역특성에 따라 일정시간을 적용하는 방법과 직접 계산하는 방법으로 대별된다.

일정시간을 적용할 경우 유역면적의 규모에 따른 차이를 고려하지 못하고, 실제 유속 등을 고려하여 유입시간을 산정하는 경우 소유역의 경우 산정된 유입시간이 지나치게 작으므로 비홍수량 과다산정되므로 소유역에서의 비홍수량 과다 산정을 방지하기 위하여 기존 유입시간 산정 방법의 장단점을 고려하여 소유역 매개변수 보정계수 개념을 도입하였으며, 소유역으로 간주하여 비홍수량이 과다하게 산정되는 것을 방지하는 면적의 상한계는 단위도법 적용 및 면적우량환산계수 적용 하한계인 25 km<sup>2</sup>으로 결정하였다.

이러한 소유역 매개변수 보정계수는 물리변수인 도달시간에는 변화를 주지 않기 위하여 도달시간은 유역의 최원점에서 하도출구점까지 유하시간으로 도달시간 산정 공식 등을 이용하여 산정되는 대로 적용하고, 반면 도달시간을

이용하여 산정하는 Clark 단위도법의 저류상수나 SCS 단위도법의 지체시간 및 합리식의 강우지속기간 산정시에 도달시간에 소유역 매개변수 보정계수를 더하여 고려하는 방법이다.

소유역 매개변수 보정계수는 상한계를 유역특성에 따라 결정한 후 소유역의 면적적용의 하한계인 0 km<sup>2</sup>에 가까운 매우 작은 유역에는 매개변수 보정계수 상한계를 적용하고, 소유역 면적적용의 상한계인 25 km<sup>2</sup>인 경우에는 매개변수 보정계수의 하한계인 0을 적용하는 식 (6)과 같은 선형 관계를 채택하였다.

$$t_s = \frac{t_u}{60} \left( 1 - \frac{A}{25} \right) \quad (6)$$

여기서  $t_s$ 는 소유역 매개변수 보정계수(hr),  $t_u$ 는 소유역 매개변수 보정계수의 상한계로 10~15 min 범위, A는 유역면적(km<sup>2</sup>)이며 면적적용은 25 km<sup>2</sup>까지이다.

### 나. 도달시간 산정

전체 구간의 유속을 3.0 m/s로 가정하여 도달시간을 계산하였으며 유역의 최원점에서 하도가 시작되는 것으로 가정하여 유입시간과 하도의 도달시간을 한꺼번에 산정하였다.

또한, 소유역이 분할되면 소유역별로 분류의 도달시간과 지류의 도달시간을 산정할 수 있으며 이 중 큰 도달시간을 홍수량 산정을 위한 Clark 단위도법의 도달시간으로 채택하였다.

#### 3.4.3 설계강우량 및 유효우량

가상 대상유역에 적용할 설계강우량은 「한국 확률강우량도 작성(건교부, 2000)」의 주요 관측소별 지속기간별 확률강우량과 Thiessen 가중평균법을 사용하여 산정한 50년빈도 전국평균 확률강우량을 적용하였으며, 임계지속기간 결정을 위하여 강우지속기간은 1시간~48시간에 대하여 후술되는 계산시간간격과 동일한 간격으로 적용하여 홍수량을 산정하였다.

또한, 유역면적 25 km<sup>2</sup> 이상에서는 면적별 강우지속기간-면적우량환산계수 회귀식을 적용하였으며, 강우분포는 「지역적 설계강우의 시간적 분포(건교부, 2000)」의 주요 관측소별 Huff 방법의 무차원곡선을 분위별로 평균한 다음 회귀분석을 실시하였으며 3분위를 채택하였다.

한편, 유효우량 산정 방법은 SCS의 CN 방법을 채택하였으며 CN값은 80으로 일정하게 적용하였다.

#### 3.4.4 하도홍수추적

하도홍수추적 방법은 Muskingum 방법을 채택하였으며 Muskingum 방법의 매개변수로는 Muskingum 저류상수 K와 무차원 가중계수  $x$  등 두 가지가 있으나 이를 이론적으로 결정하기는 곤란하다.

따라서 무차원 가중계수  $x$ 는 그 영향이 미미하므로 일반적으로 적용하는 0.2를 채택하고, Muskingum 저류상수 K는 추적구간의 홍수와 통과시간이며 홍수와의 전파속도는 자연하천의 경우 평균유속의 1.5배이므로 저류상수는 평균유속을 적용한 도달시간의 2/3로 산정하는 방법을 채택하였다.

#### 3.4.5 계산 시간간격

강우분포의 시간간격 등과 같은 입력인자의 시간간격은 5분으로 입력하였으며, 단위도의 지속기간 및 계산 시간간격은 유역면적별 가상유역 형상에 개략 도달시간을 계산한 다음, 개략 도달시간의 약 15% 정도를 전체유역의 계산시간간격으로 결정하고 분할되는 소유역면적의 규모 및 도달시간 등을 고려하여 면적구분 방안별 전체면적의 25% 면적을 기준으로 10 km<sup>2</sup> 이하는 5분, 10 초과~50 km<sup>2</sup> 이하는 10분, 50 초과~100 km<sup>2</sup> 이하는 20분, 100 초과~500 km<sup>2</sup> 이하는 30분, 500 km<sup>2</sup> 초과는 60분으로 적용하였다.

#### 3.4.6 시간-누가면적곡선

Clark 단위도법 적용시의 필요한 시간-누가면적 곡선은 일반적인 유역형상 유도된 식 (7)과 같은 합성 시간-누가면적 곡선을 적용하였다.

$$AI = 1.414T^{1.5} \quad 0.0 \leq T < 0.5 \quad (7)$$

$$1 - AI = 1.414(1 - T)^{1.5} \quad 0.5 \leq T \leq 1.0$$

여기서 AI는 유역면적에 대한 누가면적비, T는 도달시간에 대한 시간비이다.

### 3.5 신규 저류상수 공식의 유도

현재 실무에서는 Clark 방법과 같은 합성단위도법을 적용할 경우 소유역을 분할하여 소유역의 홍수량을 산정하고 이를 하도 홍수추적을 실시하고 합성하는 방법은 유역면적이 매우 크거나 유역내에 대규모 댐이 있는 경우를 제외하고는 가급적 채택하지 않고 있으며, 불가피하게 적용하여야 하는 경우에는 소유역 분할에 따라 홍수량이 증가되는 문제를 제대로 해결하지 못하고 있다.

이에 따라 소유역을 분할하여 증가된 홍수량에 비하여 유역을 하나로 간주하여 유역추적을 실시한 결과가 훨씬 더 현실적인 결과를 나타내고 있는 상황이므로, 대부분 소유역 분할과 하도 홍수추적 및 합성의 방법보다는 홍수량을 산정하고자 하는 지점을 기준으로 상류의 전체유역을 대상으로 각각 유역추적을 실시하여 홍수량을 산정하는 방법을 적용하고 있는 실정이다.

우리나라의 유역면적과 유로연장간의 관계를 적용하는 가상유역의 전체유역을 하나의 유역으로 하여 산정된 홍수량을 기준 홍수량으로 채택하고, 소유역 분할후 소유역 홍수량 산정, 하도 홍수추적 및 합성을 통해 산정된 홍수량을 기준 홍수량과 비교하여 가장 유사하게 나타나도록 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )로 산정한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ ) 산정

면적구분 방 안	유역면적 (km <sup>2</sup> )	소유역 분할 개수				
		2	3	4	6	12
1안	5	1.25	1.38	1.47	1.54	1.80
2안	10	1.29	1.41	1.57	1.75	2.00
6안	25	1.36	1.47	1.62	1.92	2.32
4안	50	1.55	1.71	1.90	2.20	2.91
5안	75	1.56	1.78	2.06	2.41	3.19
6안	100	1.54	1.74	2.02	2.49	3.17
7안	250	1.57	1.82	2.12	2.63	3.90
8안	500	1.55	1.79	2.08	2.61	3.89
9안	750	1.56	1.82	2.11	2.65	4.00
10안	1,000	1.55	1.79	2.08	2.62	3.90
11안	2,500	1.59	1.90	2.22	2.76	4.13
12안	5,000	1.59	1.88	2.17	2.69	4.14
13안	10,000	1.61	1.94	2.28	2.83	4.23
14안	25,000	1.65	2.00	2.39	3.04	4.38

동 표를 살펴보면 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )는 1.30~4.54의 범위를 나타내며 이를 도시하면 그림 4 및 그림 5와 같다.

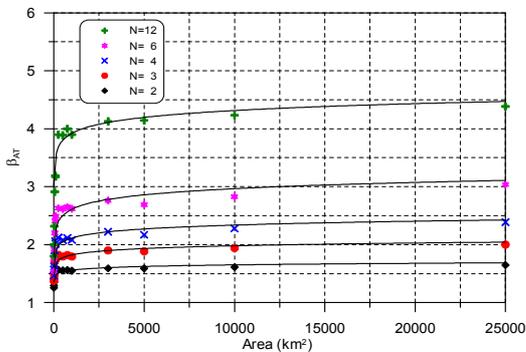


그림 4. 소유역분할개수별 유역면적-저류상수보정계수 관계(가상유역)

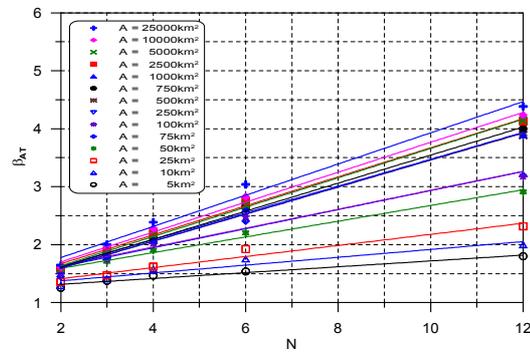


그림 5. 유역면적별 소유역분할개수-저류상수보정계수 관계(가상유역)

동 그림을 살펴보면 유역면적 증대에 따라 저류상수 보정계수의 증가폭은 소유역분할 계수가 2개인 경우는 132%, 12개인 경우는 243%의 정도의 범위를 나타내며, 소유역 분할 개수의 증대에 따라 저류상수 보정계수의 증가폭은 유역면적이 5 km<sup>2</sup>인 경우에는 144%, 25,000 km<sup>2</sup>인 경우에는 265%의 정도의 범위를 나타내고 있다.

이와 같이 산정된 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )를 유역면적(A)과 소유역 분할 개수(N) 등의 인자에 대하여 비선형 다중회귀분석을 실시하여 도출한 회귀식은 식 (8)와 같다.

$$\beta_{AT} = (0.013 \cdot N + 0.039) \cdot \ln(A) + (0.113 \cdot N + 0.998) \quad (8)$$

여기서  $\beta_{AT}$ 는 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수, A는 전체 유역면적(km<sup>2</sup>), N은 소유역 분할 개수로 2개 이상으로 적용한다.

하지만, 우리나라의 유역면적과 유로연장간의 관계를 적용하는 가상유역의 형상계수는 전체 유역면적의 크기에 따라 0.13~0.28의 범위에서 결정되며, 이에 따라 실제유역 전체유역의 형상계수는 가상유역 전체유역의 형상계수와 차이가 발생하게 되며 이러한 차이가 큰 경우에는 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )에 대한 1차 추가 보정이 필요하게 된다.

실제유역 전체유역의 형상계수와 가상유역 전체유역의 형상계수의 차이 따른 영향을 고려하기 위하여 먼저 실제유역 전체유역 형상계수는 범위를 0.08~0.5로 확대하여 각각 다르게 설정하되 분할된 소유역의 형상계수는 가상유역과 동일한 방법으로 설정하였다.

실제유역 전체유역을 하나의 유역으로 하여 산정된 홍수량을 기준 홍수량으로 채택하고, 소유역 분할후 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )를 적용하여 소유역 홍수량 산정, 하도 홍수추적 및 합성을 통한 홍수량을 기준 홍수량과 비교하여 가장 유사하게 나타나도록 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수( $\beta_{AT}$ )의 1차 추가 보정계수( $\beta_{SFT}$ )를 산정하였다.

이와 같은 1차 추가 보정계수( $\beta_{SFT}$ )는 가상유역 전체유역의 형상계수( $SF_{AT}$ )와 실제유역 전체유역의 형상계수( $SF_{RT}$ ) 비의 형태로 회귀분석하였으며, 실제유역 전체유역의 형상계수( $SF_{RT}$ )의 크기가 가상유역 전체유역의 형상계수( $SF_{AT}$ ) 이하인 경우에는 별도의 추가 보정이 필요없고 초과하는 경우에만 추가 보정이 필요한 것으로 나타났다.

한편, 이와 같이 실제유역 전체유역의 형상계수를 감안하여 저류상수 보정계수를 1차 추가 보정하더라도 이는 소유역을 실제유역이 아닌 가상유역 형상으로 설정되어 있기 때문에 실제 소유역의 형상계수를 고려하는 2차 추가 보정계수( $\beta_{SFi}$ )를 산정하여야 한다.

이와 같은 소유역의 형상계수에 대한 2차 추가 보정계수( $\beta_{SFi}$ )는 실제유역 소유역별 도달시간은 물리변수이므로 그대로 적용하고 저류상수만 가상유역과 동일하게 산정되는 방향으로 2차 추가 보정하는 것으로 하였으며, 이를 위하여 가상유역 소유역별 형상계수( $SF_{ASi}$ )와 실제유역 소유역별 형상계수( $SF_{RSi}$ ) 비와 전체유역면적 등의 인자의 멱승 형태로 회귀분석하였다.

이와 같은 과정을 통하여 실제유역의 소유역별 저류상수 보정계수( $\beta_i$ )를 산정하는 회귀식은 식 (9)와 같이 산정되었다.

$$\begin{aligned} \beta_i &= \beta_{AT} \cdot \beta_{SFT} \cdot \beta_{SFi} \\ &= [(0.013 \cdot N + 0.039) \cdot \ln(A) + (0.113 \cdot N + 0.998)] \cdot \left[ \frac{SF_{AT}}{SF_{RT}} \right] \cdot \left[ \left( \frac{SF_{RSi}}{SF_{ASi}} \cdot A^a \right)^b \right] \quad (9) \end{aligned}$$

여기서  $\beta_i$ 는 실제유역의 소유역별 저류상수 보정계수,  $\beta_{AT}$ 는 분할된 가상유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수,  $\beta_{SFT}$ 는 실제유역의 전체유역에 대한 저류상수 보정계수 산정을 위한 1차 추가 보정계수,  $\beta_{SFi}$ 는 실제유역의 소유역별 저류상수 보정계수 산정을 위한 2차 추가 보정계수, N는 소유역 분할 개수, A는 전체 유역면적(km<sup>2</sup>),  $SF_{RT}$ 는 실제유역의 전체유역에 대한 형상계수(0.6 이상인 경우 0.6 적용),  $SF_{AT}$ 는 가상유역의 전체유역에 대한 형상계수,  $SF_{RSi}$ 는 실제유역의 소유역별 형상계수(0.6 이상인 경우 0.6 적용),  $SF_{ASi}$ 는 가상유역의 소유역별 형상계수, a, b는 2차 추가 보정계수의 회귀상수(a=0.025, b=1.05)이다.

#### 4. 신규 저류상수 산정 방법의 적용성 검토

##### 4.1 대상구역의 선정

신규 저류상수 산정 방법의 적용 대상구역으로 설계는 완료하고 취소된 바 있는 영월댐 유역을 채택하였으며, 기존 「영월다목적댐건설사업 기본설계보고서(건설교통부·한국수자원공사, 1997)」상의 구역도는 그림 6과 같다.

##### 4.2 소유역 분할 방안별 적용성 검토

영월댐유역을 전체구역, 소유역 3개, 9개, 14개 등 4가지로 구분하여 계획빈도는 200년빈도에 대하여 신규 저류상수 산정 방법의 적용성을 검토하였다.

###### 4.2.1 방안 1(전체구역)

소유역 분할 방안별 홍수량 산정 결과와 비교를 위하여 전체유역을 소유역으로 분할하지 않고 하나의 구역으로 하여 홍수량을 산정한 결과, 영월댐의 200년빈도 홍수량은 6,155 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

###### 4.2.2 방안 2(소유역 3개)

소유역을 송천 및 골지천유역, 오대천유역, 기타유역 등 3개로 분할하고 저류상수 보정상수( $\beta$ )를 소유역별로 적용하여 홍수량을 산정한 결과, 영월댐의 200년빈도 홍수량은 5,581 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

###### 4.2.3 방안 3(소유역 9개)

소유역을 송천유역, 골지천유역, 오대천유역, 어천유역, 지장천유역 및 4개의 남한강유역 등 9개로 분할하고 저류상수 보정상수( $\beta$ )를 소유역별로 적용하여 홍수량을 산정한 결과, 영월댐의 200년빈도 홍수량은 5,818 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

###### 4.2.4 방안 4(소유역 14개)

소유역을 기존 보고서와 같이 14개의 소유역으로 분할하고 저류상수 보정상수( $\beta$ )를 소유역별로 적용하여 홍수량을 산정한 결과, 영월댐의 200년빈도 홍수량은 6,586 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

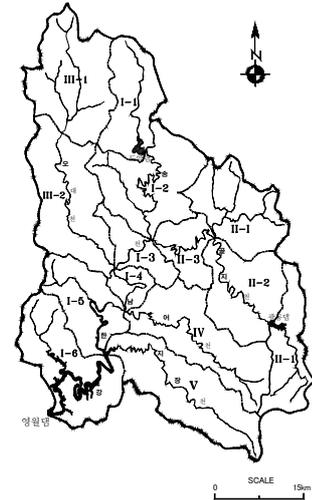


그림 4. 적용 대상구역

##### 4.3 신규 저류상수 산정 방법에 대한 적용성 평가

신규 저류상수 산정 방법을 영월댐 유역에 적용하여 소유역 분할 방안별로 홍수량을 산정한 결과는 <표 4>와 같다. 동 표를 살펴보면 신규 저류상수 산정 방법을 적용할 경우 전체유역을 여러 개의 소유역으로 분할한 경우에도 홍수량이 많이 증가되는 문제를 해결됨과 아울러 모두 약 10% 내의 편차를 가지는 정도로 홍수량을 산정할 수 있음을 알 수 있다.

신규 저류상수 산정 방법은 소유역을 임의로 분할하여 홍수량을 산정할 수 있는 유일한 방법이 될 수 있을 것으로 판단되며, 소유역 분할에 유의할 필요가 있는 것으로 사료된다.

표 4. 소유역 분할 방안별 홍수량 비교

구 분	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	홍수량 평균과의 비율(%)
전체유역	2,267.0	148.7	6,155	101.9
3개 소유역			5,581	92.5
9개 소유역			5,818	96.4
14개 소유역			6,586	109.1
평 균			6,035	

#### 4. 결 론

전체유역을 하나의 유역으로 처리하여 홍수량을 산정한 경우와 전체유역을 소유역으로 분할하여 홍수량을 산정한 경우의 홍수량 차이가 크게 발생하며 소유역 분할에 따른 홍수량 증가가 매우 크므로 이에 대한 개선방안이 절실히 필요하므로, 이와 같이 소유역 분할에 따른 홍수량 증가가 발생하는 문제를 해결하기 위하여 홍수량 산정방법으로 가장 널리 사용되고 있는 Clark 단위도법의 두가지 매개변수 중에서 물리적인 개념이 강한 도달시간은 조정이 불가능하므로 저류상수 산정 방법을 개선하는 방법을 개발하였다.

저류상수 산정 공식중 Sabol 공식은 가장 합리적이며 최근 많이 채택되고 있으나 형상계수가 0.1 정도가 되면 도달시간( $T_c$ )/저류상수(K)가 매우 작아지는 경향을 나타내며 이에 따라 홍수량도 매우 작게 산정되는 문제점을 야기시키므로 이를 수정하여 저류상수 산정 공식의 기본 공식으로 채택하고 보정계수를 사용하여 소유역으로 분할하여 하도추적과 합성을 통하여 홍수량을 산정할 경우 홍수량이 크게 증가하는 문제를 해결하도록 저류상수 산정 공식을 제시하였다.

신규 저류상수 산정 방법을 영월댐 유역에 적용하여 소유역 분할 방안별로 홍수량을 산정한 결과, 전체유역을 여러 개의 소유역으로 분할한 경우에도 홍수량이 많이 증가되는 문제를 해결됨과 아울러 모두 약 10% 내의 편차를 가지는 정도로 홍수량을 산정할 수 있음을 알 수 있다.

기본 공식으로 채택된 기존 Sabol 공식의 문제점을 수정하고 소유역 분할에 따른 저류상수 보정계수를 도입한 다음 소유역 분할에 따른 문제를 해결할 수 있도록 개발된 신규 저류상수 산정 방법은 다음과 같은 장점을 지닌다.

- 기존 공식중에서 가장 합리적으로 판단되는 Sabol 공식을 기본 공식으로 채택함으로써, 현재 가장 많이 사용되고 있는 Russel 공식의 경우 저류상수 K를  $\alpha T_c$  형태로 산정하면서  $\alpha$ 의 범위를 0.8~1.2의 범위로 적용하고 있으나 이의 임의성이 매우 높은 문제점을 해결함과 아울러 형상계수를 고려한 저류상수를 산정할 수 있다.
- 기존 Sabol 공식이 형상계수가 작은 경우 적용상의 문제점이 있는 부분을 개선하여 수정 Sabol 공식으로 변형한 다음, 단위도의 적용한계인 25 km<sup>2</sup> 이하 소유역에 적용하는데 따른 문제점을 해결하기 위한 소유역 매개변수 보정계수를 도입하였다.
- 전체 유역을 소유역으로 분할하여 소유역별 홍수량 산정, 하도 홍수추적 및 합성을 실시할 경우 소유역의 개수를 많이 분할할수록 홍수량이 증가하는 문제점이 해결하기 위하여 Sabol 공식에 저류상수 보정계수( $\beta$ )를 도입하여 소유역 분할에 따라 홍수량이 과다하게 산정되는 부분을 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.
- 비록 Sabol 공식에 저류상수 보정계수( $\beta$ )를 전체 유역을 하나로 홍수량을 산정한 결과와의 비교에서 유도하였지만 이와 같은 분석을 토대로 소유역의 적절한 분할 및 단위도의 정확한 적용을 위해서는 이와 같은 저류상수 보정계수의 도입은 반드시 필요할 것으로 판단된다.

지금까지 전체유역을 소유역으로 분할할 경우에는 홍수량이 증가되는 부분을 해결하지 못하여 상류에서 하류로 내려오면서 홍수량 산정지점별로 상류 전체유역에 대한 홍수량만을 산정하는 기존 방법을 지양하여야 하며, 전체 유역면적, 필요한 홍수량 산정지점, 단위도의 이론적 적용 한계인 25~250 km<sup>2</sup> 등을 종합적으로 고려하여 적절한 소유역으로 분할하여 홍수량을 산정하여야 한다.

이와 같은 전체 유역을 적절히 소유역으로 분할하여 홍수량을 산정하기 위해서는 신규 저류상수 산정 방법이 적절한 대안이 될 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정중호 (2005). “홍수량 산정을 위한 실무적 방법의 개발.” 박사학위논문, 고려대학교.
2. 정중호, 윤용남 (2002). 수자원설계실무. 구미서관.