

# 섬진강 유역의 도달시간 및 저류상수 산정공식 개발

## A Development of Formula on Time of Concentration and Storage Constant in Sumjin River Basin

이신제\*, 박양래\*\*, 김명수\*\*\*, 박상우\*\*\*\*

### 요 지

본 연구는 강우에 대한 유역의 반응시간에 관한 연구로써 우리나라 자연하천유역에 적합한 도달시간 및 저류상수 산정공식을 개발하기 위하여 섬진강 유역을 대상으로 유역특성인자 및 강우 특성인자를 분석하고, 이를 다중회귀분석방법 중 최적의 회귀모형을 추출하기 위한 단계별 회귀분석방법을 이용하여 산정공식을 개발하였다. 그리고 개발된 산정공식으로부터의 도달시간 및 저류상수들을 기존 경험공식의 값들과 비교하였으며, 또한 이를 Clark 모형에 적용하여 실제 호우사상들에 대한 유출수문곡선을 분석하여 관측수문곡선과 비교 검토하였다. 그 결과 계산된 유출수문곡선과 관측수문곡선은 첨두유량 및 첨두발생시간에서 비교적 적은 오차를 보였으며, 유출수문곡선의 양상에서도 상호 높은 상관성을 보여 개발된 산정공식에 대한 적합성을 잘 나타내주고 있다.

**핵심용어** : 도달시간, 저류상수, 단계별 회귀분석

### 1. 서 론

수자원의 관리 및 개발, 수공구조물의 설계 등을 위한 강우-유출 해석은 유역에서 발생한 강우 및 유출에 대해 동시에 측정된 신뢰성 있는 자료를 필요로 하지만, 대부분의 경우 이러한 신뢰성 높은 자료가 부족하기 때문에 주로 강우-유출모형을 이용하여 유출해석을 하게 된다. 일반적으로 유출해석에서 많이 이용되는 모형으로는 단위도나 순간단위도 모형들을 들 수 있는데, 이런 모형들의 이용을 위해서는 강우에 대한 유역의 반응시간인 도달시간, 집중시간, 지체시간, 저류상수 등을 필요로 하고, 이러한 유역반응시간들은 대부분 대상유역의 지형특성인자들과의 관계로서 산정하게 된다. 국내에서도 수문설계시 도달시간은 Kiripich, Rizha 및 Kraven공식 등, 저류상수는 Clark, Linsley, Sabol공식 등의 외국에서 개발된 공식에 국내 유역의 지형특성인자들을 고려하여 이용하고 있다. 물론 이러한 외국 공식의 적용에 있어서 계수나 식의 적용범위를 고려하고 있지만, 국내의 유역특성 및 강우특성과 많은 차이가 있는 관계로 이를 국내의 자연하천에 적용하여 강우-유출분석을 할 경우 홍수량 및 첨두시간 등이 부정확하거나 신뢰성이 떨어지는 경우가 자주 발생한다.

따라서 본 연구는 국내 자연하천 유역에 적합한 도달시간 및 저류상수의 산정공식을 개발하기 위하여 섬진강 유역에서 관측된 강우-유출수문곡선들로부터 도달시간 및 저류상수를 분석하고, 이 값들을 지형특성인자 및 강우특성인자와의 단계별 회귀분석(stepwise regression)을 통하여 도달시간 및 저류상수의 적정 산정공식을 개발하고자 하였다. 그리고 개발된 공식으로부터의 도달시간 및 저류상수를 Clark의 유역추적모형에 시간매개변수로 적용하여 유역의 단위도를 산정하고, 이

\* 정회원 · 서남대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail: hydrosnu@seonam.ac.kr  
\*\* 정회원 · 전라북도청 환경보건국 환경정책과 · E-mail: p0538@hanmail.net  
\*\*\* 정회원 · 건설교통부 서울지방국토관리청 하천공사과 · E-mail: msk2k@moct.go.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 서남대학교 토목공학과 교수 · E-mail: psw0232@seonam.ac.kr

단위도에 강우를 적용한 계산 유출수문곡선을 관측 유출수문곡선과 비교 분석하여 그 적합성과 정확성을 검증하고자 하였다.

## 2. 대상유역 및 자료분석

### 2.1 대상유역

본 연구의 대상유역인 섬진강 유역은 우리나라 5대강 유역중의 하나로써 유역면적이 4,910km<sup>2</sup>, 하도연장이 212.3km이다. 섬진강 유역에는 섬진강홍수통제소와 한국수자원공사에서 관리하는 26개의 강우관측소와 25개의 수위관측소가 유역 전반에 대해 고르게 분포하고 있으며, 본류 및 지류의 상류에는 홍수조절 능력을 가지고 있는 섬진강댐과 주암댐이 있고, 그 외에 동북댐, 보성강댐, 동화댐 등이 있다.

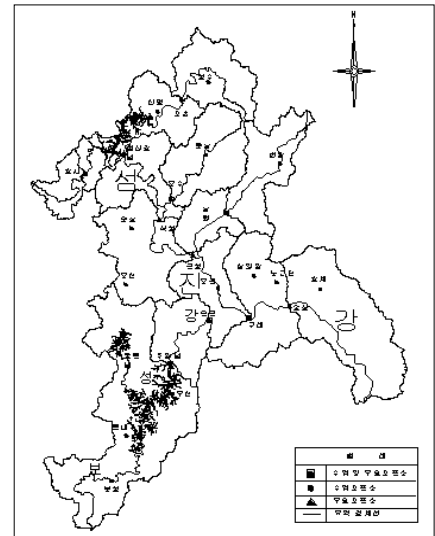


그림 1. 섬진강유역의 수문관측소

### 2.2 유역특성분석

본 연구에서는 표 1과 같이 T/M 수위관측소로써 수위-유량곡선식이 개발되었고 비교적 양호한 수위자료를 보유하고 있는 9개의 수위관측소를 선정하여 각각의 소유역으로 분할하여 유역면적, 하도연장, 하도경사, 형상계수 등의 유역특성인자를 표 2와 같이 분석하였다. 이때 강우-유출 해석시 댐의 방류나 저류 등의 영향을 배제시키고자 댐 하류에 대한 소유역은 댐 상류유역을 제외하여 분석하였다. 또한 강우관측소는 이렇게 분할된 각 소유역에 영향을 주는 21개의 T/M 강우관측소를 선정하였다

표 1. 적용 대상유역의 수문관측소

구 분	관측소 수	관 측 소
유량관측소	21	노고단, 오산, 순창, 둔남, 남원, 구례, 오곡, 번암, 쌍계, 삼일암, 오수, 죽곡, 섬진강댐, 주암댐, 동북댐, 성수, 쌍치, 신평, 우산, 북내, 보성
수위관측소	9	관촌, 쌍치, 남원, 오수, 적성, 곡성, 죽곡, 구례, 송정

표 2. 소유역별 유역특성

주요지점	유역면적(km <sup>2</sup> )	하도연장(km)	하도경사	형상계수
관촌	297.26	39.74	0.01809	0.1882
쌍치	118.13	26.69	0.01502	0.1658
오수	360.04	33.60	0.01122	0.3189
적성	626.41	41.17	0.01766	0.3696
곡성	1036.98	65.95	0.01133	0.2384
남원	271.57	39.94	0.01766	0.1702
죽곡	242.53	31.10	0.02171	0.2508
구례	2035.83	92.02	0.00838	0.2404
송정	2481.27	105.95	0.00744	0.2210

### 2.3 강우-유출분석

본 연구에서는 강우-유출분석을 실시하기 위해 1997년에서 2002년까지의 호우자료 중 비교적 양호한 15개의 호우사상을 선택하였다. 그리고 각 소유역별 Thiessen가중치에 의해 소유역별 평균강우량을 산정하였으며, 강우-유출수문곡선에 대한 기저유출을 분리하여 직접유출수문곡선을 작성하였다. 각 호우사상에 대한 소유역별 강우-유출분석으로부터 총강우량, 총강우지속기간, 총강우강도, 유효강우량, 유효강우강도 등의 강우특성인자를 산출하였다.

또한, 본 연구에서는 관측된 직접유출수문곡선으로부터 도달시간 및 저류상수를 구하기 위하여

그림 2와 같이 각 호우사상에 대해 각 소유역별로 McCuen의 방법인 유효강우가 끝나는 시간으로부터 유출수문곡선의 하강부 첫 번째 변곡점까지의 시간으로 도달시간을 구하고, 저류상수는 그 변곡점의 평균유량을 변곡점의 기울기로 나눈 값으로 정의하여 구하여 구하였다. 이렇게 각 소유역별로 15개의 호우사상에 대해 각각 구한 도달시간 및 저류상수의 평균값은 표 3과 같다.

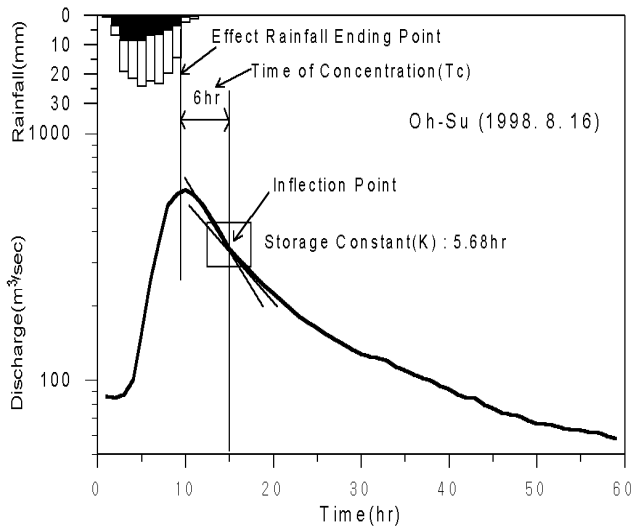


그림 2. 오수지점 도달시간 및 저류상수 산정

표 3. 도달시간 및 저류상수의 산정 결과

평균 도달 시간			
관측소	도달시간	관측소	도달시간
관촌	5.86	곡성	9.64
쌍치	4.79	죽곡	4.67
오수	5.85	구례	13.00
적성	7.00	송정	14.17
남원	6.40	소개 9개	
평균 저류 상 수			
관측소	평균저류상수	관측소	평균저류상수
관촌	5.57	곡성	9.29
쌍치	4.71	죽곡	5.05
오수	5.50	구례	9.73
적성	6.91	송정	12.00
남원	5.84	소개 9개	

### 3. 공식개발 및 적용

#### 3.1 도달시간 및 저류상수의 공식 개발

본 연구에서는 도달시간 및 저류상수의 산정공식을 개발하기 위하여 각 소유역별 평균도달시간 및 소유역별 각각의 호우에 대한 저류상수를 종속변수로 하고, 유역면적, 하도연장, 하도경사, 형상계수 등의 유역특성인자와 총강우량, 유효강우량, 유효강우강도 등의 강우특성인자를 독립변수로 이용하여 단계별 회귀분석을 실시하였다. 단계별 회귀분석은 중요한 독립변수 즉, 설명변수를 하나씩 추가 선택하여 나가면서 미리 들어간 변수가 새로이 추가되는 변수로 인해 그 중요성을 상실하는가를 때 단계별로 검토하면서 새로이 선택된 변수가 유의하지 않을 때까지 선택절차를 계속하여 가장 큰 결정계수를 갖도록 최적의 회귀모형을 도출하는 분석방법이다.

단계별 회귀분석 결과 표 4와 같이 도달시간의 공식을 모형화 하는데 있어 각 단계별로 하도연장, 하도경사, 유역면적이 가장 적합한 설명변수로 차례로 추가 선택되었고, 저류상수 공식의 모

표 4. 도달시간 및 저류상수 산정공식의 개발

단계	도달시간 모형식	결정계수	단계	저류상수 모형식	결정계수
1	$T_c = 0.327 L^{0.812}$	0.8896	1	$K = 0.720 I_e^{-0.156} L^{0.651}$	0.8513
2	$T_c = 0.271 L^{0.653} S^{-0.169}$	0.9510	2	$K = 0.739 I_e^{-0.154} A^{0.017} L^{0.615}$	0.8910
3	$T_c = 0.313 A^{0.086} L^{0.539} S^{-0.11}$	0.9840	3	$K = 0.650 I_e^{-0.204} A^{0.011} L^{0.598} S^{-0.05}$	0.9220

주) Tc=도달시간, K=저류상수, A=유역면적, L=하도경사, S=하상경사, Ie=유효강우강도

형화에서는 유로연장 및 유효강우강도, 유역면적, 하도경사가 단계적으로 가장 적합한 설명변수로 선택되어 최적의 회귀모형을 도출하였다. 따라서 본 연구에서 분석된 도달시간 및 저류상수의 산정을 위한 최적의 회귀모형은 표 4에서 결정계수가 가장 좋은 세 번째 단계의 모형이라 하겠으며, 이 모형의 최종 결정계수는 각각 0.9840과 0.9220으로서 매우 높은 상관을 보여 공식의 타당성을 보여주고 있다.

### 3.2 기존 경험공식과의 비교

본 연구에서는 개발된 도달시간 및 저류상수의 산정공식과 실무 수문분석에서 많이 사용되는 기존의 도달시간 및 저류상수 공식에 대해 비교 분석하였다. 본 연구에서 개발된 공식을 통해 구한 도달시간을 표 5와 같이 기존의 경험공식인 Kirpich, Kraven, Rizha공식과 비교한 결과 Kirpich공식은 모든 지점에서 상당히 비슷한 결과를 얻을 수 있었으며, Kraven공식은 본 연구에서 구한 도달시간보다 2.5~6배 이상 크게 산정되었다. Rizha공식은 유역면적이 작은 유역에서는 도달시간이 적게 산정되었으며, 큰 유역으로 갈수록 도달시간이 크게 산정되어 본 연구의 도달시간과는 큰 차이를 보였다.

또한, 소유역별 평균저류상수를 기존 경험공식인 Clark, Linsley, Sabol공식과 비교한 결과 Clark식은 유역면적이 비교적 작은 유역에서는 본 개발공식과 비슷한 값을 가졌으나 유역면적이 큰 구레와 송정에서는 큰 값이 산정되었으며, Linsley공식은 유역면적이 작은 유역에서는 본 공식에 비해 상당히 작은 값이 산정 되었으나, 유역면적이 큰 구레 및 송정지점에서는 저류상수가 크게 산정 되었다. 또한 Sabol 공식은 적성과 죽곡을 제외한 모든 유역에서 본 모형보다 조금 크게 산정 되었지만 그 차이는 크지 않아 비교적 모형과 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 기존 공식들은 각 공식별로 적용 범위나 조건이 다르므로 이들로부터 개발된 공식에 대해 객관적 타당성을 판단하기란 상당히 모호하다고 하겠다.

표 5. 공식별 도달시간 및 저류상수 비교

(단위 : hr)

도달 시간										저 류 상 수									
구 분	관촌	쌍치	오수	적성	남원	곡성	죽곡	구레	송정	구 분	관촌	쌍치	오수	적성	남원	곡성	죽곡	구레	송정
Kirpich	5.3	4.2	5.6	5.5	5.4	9.4	4.1	13.6	15.9	Clark	4.7	3.4	5.0	4.9	4.8	9.8	3.3	15.9	19.5
Kraven	13.6	10.6	16.4	19.1	9.6	42.7	12.0	69.3	80.4	Linsley	1.7	0.8	2.0	2.6	1.6	6.7	1.1	15.1	20.4
Rizha	4.6	3.5	5.3	6.2	3.4	13.2	4.0	21.0	24.3	Sabol	6.0	5.1	4.9	5.7	6.7	8.8	4.2	10.9	13.1
개발공식	5.9	4.5	5.8	6.5	5.9	9.2	5.0	12.1	13.4	개발공식	4.9	4.3	4.9	6.2	5.3	8.0	4.9	10.2	11.2

### 3.3 도달시간 및 저류상수 모형의 적용

본 연구에서는 개발된 도달시간 및 저류상수 산정공식의 적정성 여부를 파악하고자 실제 분석된 15개 호우사상에 대하여 소유역별로 산정된 도달시간 및 저류상수를 Clark 모형에 적용하여 유출수문곡선을 계산하고 관측수문곡선과의 적합 정도를 비교하였다. 그 중 2001년 6월 24일의 호우사상에 대한 적용결과는 표 5 및 그림 3과 같았다. 그리고 15개 호우사상에 대한 각 소유역별 첨두유출량은 1~24%의 오차범위에서 평균 9.17%의 오차를 보여 관측수문곡선과 비교적 잘 일치하였고, 첨두시간은 최대 8시간의 오차를 보였지만 평균 1.92시간의 오차를 보여 그 오차가 비교적 작게 발생하였다. 또한 계산된 유출수문곡선과 관측수문곡선의 상관분석은 평균 0.9105의 높은

상관계수를 보였으며, 전반적인 유출수문곡선의 상승부 및 하강부 양상이 관측수문곡선과 잘 부합된 결과를 보였다.

표 5. 수문곡선의 비교

2001년 06월 24일 1시- 06월 25일 23시							
지 점	침투유량 비교			침투시간 비교			상관계수
	관 측	계 산	오 차	관 측	계 산	오 차	
관 촌	238.6	264.8	26.2	21	21	0	0.9492
쌍 치	168.7	195.5	26.8	18	19	1	0.9484
오 수	535.1	488.2	-46.9	28	29	1	0.8359
적 성	782.3	733.2	-49.1	28	29	1	0.9065
남 원	419.6	452.2	32.6	25	26	1	0.9529
곡 성	868.2	886.6	18.4	28	29	1	0.9840
죽 곡	464.5	402.5	-62.0	27	27	0	0.9562
구 례	2160.0	2338.2	178.2	28	32	4	0.9827
총 정	2798.4	2936.4	138.0	29	32	3	0.9816

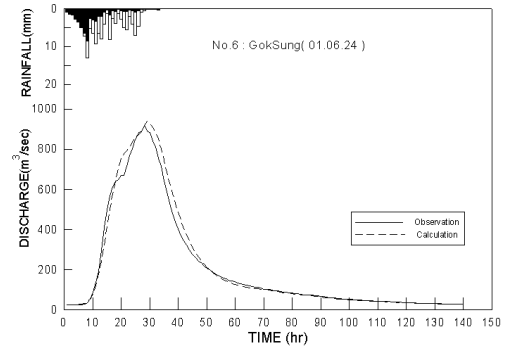


그림 4 홍수량 비교(곡성)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 자연하천유역에 적합한 도달시간 및 저류상수 산정공식을 개발하기 위하여 섬진강 유역에서 관측된 강우-유출수문곡선들로부터 도달시간 및 저류상수를 분석하고, 이 값들을 유역특성인자와 강우특성인자와의 단계별 회귀분석을 통하여 도달시간 및 저류상수 산정 공식을 유도하였다.

그 결과 본 연구에서는 단계별 회귀분석방법의 이용으로 도달시간 및 저류상수와 관계를 갖는 적정 설명변수를 단계적으로 추출하여 가장 높은 결정계수를 갖는 최적의 산정공식을 개발할 수 있었다. 그리고 개발된 도달시간 및 저류상수 공식은 각 소유역별 실제 호우사상에 적용하여 관측 수문곡선과 비교한 결과 침투홍수량 및 침투홍수량 발생시간의 오차가 작게 발생하였고, 유출수문 곡선의 양상에 대한 상관분석에서도 높은 상관성을 보임으로써 그 적정성을 확인할 수 있었다.

특히, 본 연구에서 개발된 저류상수 공식은 기존 공식들에서 주로 이용되었던 유역특성인자뿐만 아니라 강우특성인자인 유효강우강도를 사용함으로써 호우사상에 따라 강우의 영향을 고려한 다른 저류상수를 산정할 수 있는 합리적이고 유리한 장점을 갖는 공식이라 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 유동훈, 전우용(1998), 도달시간산정식, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 44~49.
2. 정중호, 금중호(2002), 도달시간 산정 방법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제 3권, 제 6호, pp. 715~727.
3. 심기호(2000), 산지 소유역의 도달시간 결정에 관한 연구, 한국수자학회 논문집, 제 1권, 한국수자원학회 pp. 239~244.
4. 윤태훈, 박진원(2002), Clark 단위도의 저류상수산정방법의 개선, 2002년도 한국수자원학회 학술 발표회 논문집, 제 2권, 한국수자원학회, pp. 1334~1339.
5. Bell, F.C.(1969), Characteristic Response Time in Design Flood Estimation, Journal of Hydrology, Vol. 8, pp. 173~196.
6. Singh V.P.(1976), Derivation of time of concentration, Journal of Hydrology, Vol. 30, pp. 147~165.