

저류함수법의 매개변수 산정식 개발

Development of Empirical Formulas for Storage Function Method

최종남* · 안원식** · 김태균*** · 정건희****

Choi, Jong Nam · Ahn, Won Shik · Kim, Taegyun · Chung, Gunhui

Abstract

Storage function method which considers the non-linearity of the relationship between rainfall and runoff has been frequently used to predict runoff in a basin and a flood pattern. However, it is time-consuming to estimate appropriate parameters of every basin and rainfall event, which requires the empirical parameter equation applicable in Korea. In this study, multiple regression analysis is used to develop empirical equations to estimate parameters of Storage Function method using basin characteristics. The basin area, maximum stream length, and stream slope are considered as the basin characteristics as the result of the regression analysis. Collinearity is removed and trial-and-error method is used to choose the most descriptive parameters to the dependent variables in Han River basin which is divided into 30 subbasins. The developed equations are validated using the rainfall events in MunMak gauging station and named as 'Han River equation'. The equation could provide the useful information about Storage Function method parameter to calculate runoff from a basin and predict river stage.

Key words : storage function method, multiple regression analysis, Han River equation

요 지

한강의 홍수에경보에 자주 사용되고 있는 저류함수법은 강우-유출관계의 비선형성을 고려한 적용성이 뛰어난 모형이지만, 우리나라의 지형특성을 고려한 매개변수 산정식이 존재하지 않아 실무에서 유역별, 사상별 매개변수 추정에 많은 노력과 시간을 투자하고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 다중회귀분석을 이용하여 한강유역의 저류함수법 매개변수를 계산하기 위한 공식을 유도하여 저류함수법의 적용성을 높이고자 하였다. 상관분석을 통하여 다중회귀분석의 독립변수로는 유역의 유역면적, 하천경사, 유로연장이 사용되도록 결정되었으며, 다중공선성을 가지고 있는 독립변수들을 제거하고, 독립변수의 수를 달리하면서 한강유역 내 30개 소유역에 대해 일반화된 매개변수 산정식을 유도하였다. 제안된 회귀식은 모형의 개발에 사용되지 않은 한강유역 내 다른 지점인 문막수위표의 강우에 적용하여 그 적용성을 검증하였다. 제안된 회귀식을 한강공식이라고 명하고, 이는 한강유역 내에 홍수에경보나 유출계산에 저류함수법 적용 시 유용한 자료로 활용하고자 하였다.

핵심용어 : 저류함수법, 다중회귀분석, 한강공식

1. 서 론

시간 및 공간적으로 변하는 강우 등의 기상인자와 유출이 발생하는 유역의 특성인자를 고려하여 유역에서의 홍수량을 예측하는 것은 유역의 강우-유출관계의 비선형성, 유역 특성인자 결정의 불확실성 등으로 인해 매우 어려운 문제로 인식되고 있다. 특히 홍수기에 피해를 최소화하기 위해 제방을 설계하고 하천의 치수대책을 수립할 경우에는 유출해석이 매우 중요한 역할을 하게 된다. 우리나라는 1974년부터 주요 하천 수계에서 홍수에경보를 실시하고 있으며, 현재는 홍수기 댐 운영을 담당하는 수자원공사와 홍수에보를 담당하는 홍수

통제소가 각각 유출해석을 실시하여 상호보완적으로 실시간 홍수에보 및 댐 운영계획을 세우고 있는 실정이다. 이때 계산이 용이하고 강우-유출의 비선형성을 고려할 수 있는 저류함수법 (Storage Function Method)을 사용한 유출해석이 홍수에보를 위해 사용되고 있으나, 유역별, 호우사상별 매개변수 산정에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

저류함수법은 Kimura (1961)에 의해 제안되었으며, 유역의 지체시간을 고려하고, 유효우량을 이용한 유출해석을 실시하는 모형이다. 저류함수법을 이용한 연구가 다수 수행되었는데, 남궁달 (1985)은 저류함수법과 운동과 모형의 유사성으로부터 유역의 수문인자 및 지형인자와 매개변수의 관계를 규명

* (주)도화기술종합공사 상무 (E-mail: lastchoi@dohwa.co.kr)

** 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 진주산업대학교 이공학부 조경학과 교수

**** 고려대학교 방재과학기술연구센터 연구교수 (교신저자)

하고자 하였으며, 고석구 등 (1991)과 심순보 등 (1992)은 최적화 기법을 이용하여 저류함수법의 매개변수를 자동으로 보정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이정규와 이장해 (1996)는 Brent 방법을 이용하여 최적 매개변수를 산정하였고, 이정규와 김한섭(2000)은 유역모형과 하도모형을 하나의 단일모형으로 하는 통합저류함수법을 제안하였다. 또한 김종래 등 (2006)은 Dynamic Effect를 고려한 저류함수를 이용하여 유출모형의 매개변수를 최적화하기 위한 방법을 제안하였으며, 김태균과 윤강훈 (2007)은 저류함수법을 통한 유효우량 산정 대신 SCS방법을 이용하여 유효우량을 산정하고 저류함수법으로 유역의 유출을 계산하여 매개변수의 수를 줄이고 보다 안정적인 매개변수 산정이 가능한 모형을 제안하였다. 최근 들어 정동국 등 (2008)은 한강유역의 지형인자를 이용하여 저류함수법의 매개변수 산정식을 제안하였다.

본 연구에서는 한강유역을 대상으로 유역 특성치들을 이용하여 저류함수법의 매개변수 산정을 위한 회귀식을 제안하였다. 이를 위하여 특성치들간의 상관관계를 분석하고, 특성치들간의 다중공선성을 제거한 후 다중회귀분석을 수행한 후, 한강유역에 그 적용성을 검증하였다.

2. 저류함수법

하천유역으로부터의 홍수유출계산을 위한 저류함수법(貯溜函數法, storage function method)은 홍수류의 연속방정식에 유역이나 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 대입하여, 홍수류의 연속방정식을 풀고 수문학적으로 홍수유출량을 계산하는 방법이다. 이 방법은 1961년 Kimura에 의해 제안되었으며, 주로 일본에서 널리 사용되어 왔다. 우리나라에서는 한강홍수에경보에 30여년 이상 사용되어 왔고 계산절차가 간편하며, 홍수유출의 비선형성을 고려해주는 방법이므로 선형모형보다 합리적인 것으로 알려져 있다.

홍수유출을 Manning 공식으로 표시할 수 있는 지표면 유출이라 가정하면 유역이나 어떤 하도구간의 저류량 S 는 유출량 O 의 멱함수로 표시할 수 있다. 즉

$$S = KO^p \quad (1)$$

여기서, K , P 는 유역 혹은 하도구간에 대한 상수이다. 한편, 유역에 대한 연속방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{1}{3.6} f r_{ave} A - O = \frac{dS}{dt} \quad (2)$$

여기서 f 는 평균유입계수이며, r_{ave} 는 단위시간당 유역평균 강우량(mm/hr), A 는 유역면적(km²), O 는 유역지체시간 T 을 고려한 유역으로부터의 직접유출량(m³/sec), S 는 유역 내의 실제 저류량(m³)이다.

또한 하도구간에 대한 연속방정식을 표시하면 다음과 같다.

$$\left(\sum_{j=1}^n f_j I_j \right) - O = \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

여기서, f_j 는 평균유입계수이며, I_j 는 유역 및 지류역으로부터

하도로의 유입량 혹은 하도구간의 상류단으로의 유입량 (m³/sec)이고, O 는 지체시간 T 을 고려한 하도구간의 하류 단에서의 유출량 (m³/sec), S 는 하도구간 내의 실 저류량 (m³)이다.

3. 매개변수 추정식 유도 및 비교 평가

유역의 저류함수를 사용하여 유출계산을 하기 위해서는 저류함수(식 (1))의 상수에 해당하는 K , P 와 유출의 상태가 포화점에 도달되기 전의 유출률인 1차 유출률 f_1 , 포화점에서의 포화우량 R_{sa} , 그리고 강우로부터 유출의 지체현상을 나타내는 지체시간 T_1 등의 결정이 필요하다. 실제로 국내에서는 저류함수법을 주요하천의 홍수에경보에 사용하고 있어, 유역별 적절한 매개변수 산정이 매우 중요하지만, 5개의 매개변수(T_1 , K , P , f_1 , R_{sa})가 서로 유기적으로 연관되어 있어 유역을 대표하는 매개변수를 산정하는 것이 쉽지 않은 실정이다. 그러므로 실무에서는 유역별 매개변수의 초기 값을 결정하여 적용한 후, 강우 사상별로 유출량에 따라 다른 매개변수를 시행착오적으로 적용하여 기왕 강우사상에 대한 유출곡선을 맞추기 위해 노력하고 있다. 이는 많은 시간과 노력이 요구되며 최종적으로 산출된 매개변수 또한 적절하지 않기가 쉽지 않다. 그러므로 보다 정확한 매개변수를 작은 노력으로 산출할 수 있는 방법을 개발하기 위해 많은 연구들이 있었으나(정동국 등 2008; 김종래 등, 2006), 실제 사용되고 있는 방법은 여전히 시행착오적으로 계산하는 방법이다.

그러므로 본 연구에서는 기존의 연구들이 반영하지 못하였던 유역 특성치들을 이용한 유역의 대표 매개변수 산정을 위해 회귀식을 제안하였다. 단위도법 등 유역에서의 유출을 계산하기 위한 다른 방법들은 매개변수의 개수가 일반적으로 작으며, 산정을 위한 경험식들이 다수 개발되어 있는 반면, 저류함수법의 매개변수는 그 수가 많고, 서로 유기적으로 연결되어 있어 우리나라에 적합한 경험식이 존재하지 않는 것이 특징적이다. 그러므로 단위도법 등의 매개변수 산정 경험식에 주로 포함되어 있는 유역의 특성치인 유역면적(A), 유로연장(L), 유역평균경사, 하천경사를 기본적인 매개변수 산정식 개발을 위한 고려인자로 설정하였다. 또한 언급된 특성치들로부터 계산되는 유역평균폭(A/L)과 형상계수(A/L^2)를 추가로 선정하여 각 유역특성인자들간의 상관분석과 다중공선성분석을 실시하여 다중회귀분석에 고려될 인자들을 결정하여 분석을 시행하고 경험식을 개발하였다.

3.1 대상유역 및 수문자료구축

본 연구에서는 실무에서 저류함수법을 이용하여 홍수예보를 시행하고 있는 한강유역을 대상유역으로 선정하였다. 한강유역은 총 30개 소유역으로 나누어져 홍수예보를 시행하고 있으며 (Fig. 1), 그 유역별 특성치는 Table 1과 같다.

3.2 지형특성인자들의 상관관계 및 다중공선성 분석

대상유역의 저류함수법 매개변수 산정식 개발에 고려되는 인자인 유역면적, 유로연장, 유역평균경사, 하천경사, 유역평

Table 1. Basin Characteristics of the Han River Basin

Basin No.	Area (km ²)(A)	River Length (km) (L)	Width (km)(A/L)	Coefficient of Form (A/L ²)	Basin Slope (%)	Stream Slope(%)
1	1,581	76.3	20.73	0.272	24.06	1.46
2	1,555	63.2	24.60	0.389	31.19	2.19
3	953	86.4	11.04	0.128	39.80	2.56
4	788	55.2	14.27	0.258	41.11	2.13
5	1,083	82.1	13.20	0.161	44.60	2.43
6	831	77.8	10.69	0.137	44.87	2.28
7	745	60.2	12.38	0.206	44.26	2.28
8	284	20.6	13.78	0.669	22.42	0.20
9	876	69.5	12.61	0.181	30.79	0.96
10	628	75.6	8.31	0.110	28.45	3.13
11	1,016	74.8	13.58	0.181	31.49	2.07
12	382	18.7	20.42	1.091	29.04	2.66
13	657	65.9	9.97	0.151	32.79	1.91
14	1,075	116.4	9.23	0.079	29.72	1.66
15	1,481	143.2	10.34	0.072	34.90	0.81
16	997	164.1	6.07	0.037	39.64	1.45
17	1,016	54.3	18.70	0.344	40.43	3.81
18	845	68.2	12.40	0.182	35.79	0.13
19	1,172	166.5	7.04	0.042	27.96	1.83
20	681	74.6	9.13	0.123	27.42	2.04
21	742	43.2	17.18	0.398	26.84	0.15
22	435	40.5	10.74	0.265	17.21	2.62
23	495	41.5	11.93	0.287	23.49	1.90
24	434	40.5	10.72	0.265	30.47	3.26
25	912	59.9	15.22	0.254	23.87	1.85
26	799	74.8	10.68	0.143	13.21	0.45
27	1,107	56.6	19.56	0.346	15.42	0.34
28	768	48.9	15.71	0.321	21.69	0.62
29	1,165	71.7	16.24	0.226	15.64	0.79
30	1,197	76.3	15.69	0.206	9.46	0.15

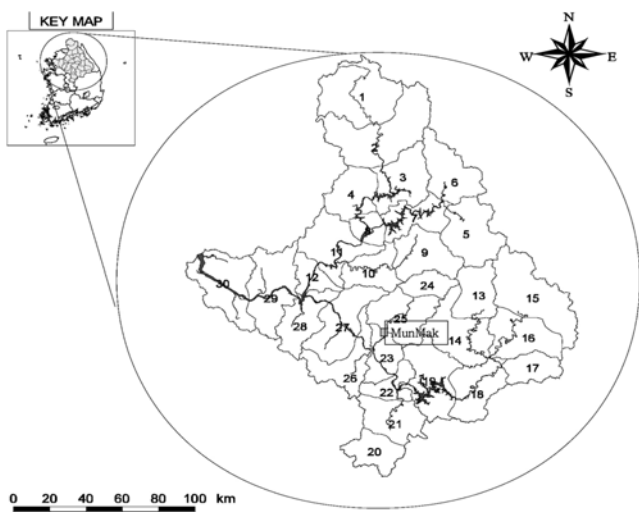


Fig. 1. Han River Basin.

균폭, 형상계수의 상관관계분석을 시도하였다(Table 2). 분석 결과 유의수준 0.05일 때, 양측검증 유의확률이 모두 0.0001 이하로 계산되어 유역 특성치들간의 상관관계가 있는 것으로

저류함수법의 매개변수 산정식 개발

판단되었다. 그러므로 고려된 6개의 유역특성인자들을 이용하여 저류함수법의 매개변수산정을 위한 회귀식을 만들기 위한 회귀분석을 시행한다.

3.3 저류함수법의 매개변수

저류함수법에 의한 홍수유출계산에 사용되는 모형의 각종 매개변수 중 유역 유출계산을 위해서는 저류함수의 상수인 K , P , 지체시간 T_b , 유출상태가 포화점에 이르기 전까지의 1차 유출률 f_1 , 포화점까지의 누기우량인 포화우량 R_{sa} 이 결정되어야 한다. 이렇게 5개의 매개변수 중 f_1 , R_{sa} 는 유역의 초기 수분함량과 관련이 있어 매 강우사상마다 달라질 수 있으므로 강우사상별로 시행착오적으로 계산하거나 누기곡선에 의해 계산하는 방법이 쓰이고 있다. 그러나 K , P , T_b 은 유역의 고유값으로 고정하는 것이 일반적이므로, 기왕의 홍수자료를 사용하여 상수로 고정하는 방법이나 경험식(Table 3)에 의한 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 현재 국내에 알려져 있는 경험식들은 대체로 일본의 유역을 대상으로 개발된 것이어서 국내 유역에 적합한 경험식의 산정이 시급한 실정이다.

Table 2. Correlation Coefficients between Basin Characteristics

	Area (km ²)(A)	River Length (km)(L)	Width (km)(A/L)	Coefficient of Form (A/L ²)	Basin Slope (%)	Stream Slope(%)
Area (km ²)(A)	1.000	0.572	0.305	-0.390	0.039	-0.183
River Length (km)(L)	0.572	1.000	-0.531	-0.679	0.232	-0.073
Width (km)(A/L)	0.305	-0.531	1.000	0.625	-0.212	-0.097
Coefficient of Form (A/L ²)	-0.390	-0.679	0.625	1.000	-0.181	0.013
Basin Slope (%)	0.039	0.232	-0.212	-0.181	1.000	0.504
Stream Slope(%)	-0.183	-0.073	-0.097	0.013	0.504	1.000

Table 3. Empirical Equations for the Coefficients of Storage Function Method

Name	Parameters	Equations
Donegawha	<i>i</i> : average river bed slope of a main stream <i>L</i> : maximum river stream length (km)	$K = 118.84i^{0.3}$ $P = 0.175i^{0.235}$ $T_l = 0.0506L - 0.31$
Gacuya	<i>B_c</i> : maximum river stream length (m)	$K = 43 B_c^{-0.56}$
Kimura	<i>L</i> : maximum river stream length (km)	$T_l = 0.047L - 0.56$
Etc.	<i>i</i> : average river bed slope of a main stream <i>L</i> : main stream length (km) <i>C</i> : coefficient (natural river stream: 0.120, urban area: 0.012)	$K = 43.4C\left(\frac{L}{i}\right)^{1.3}$ $P = \frac{1}{3}$

현재 한강홍수통제소에서 홍수에경보에 사용 중인 한강유역의 매개변수 초기값은 Table 4와 같다. 본 연구에서는 이 초기값을 이용하여 다중회귀분석을 시행하고, 한강유역의 저류함수법 매개변수 회귀식을 산정하였다.

4. 다중회귀분석

앞에서 언급한 것과 같이 저류함수법의 매개변수들 중 1차 유출률과 포화우량의 경우는 선행강우량 등 강우사상의 영향을 받으므로, 유역특성치보다는 강우사상에 따라 독립적인 값이라고 판단된다. 그러므로 유역의 특성치를 이용한 다중회귀분석으로는 지체시간, 저류상수, 저류함수의 지수 값에 대한 회귀식만을 결정하는 것이 바람직한 것으로 판명되었다. 또한 저류함수법의 매개변수와 유역특성인자간에 다중회귀분석을 실시하기에 앞서 저류함수법의 매개변수에 대한 독립변수들간의 다중공선성(collinearity) 검토를 수행하여야 한다. 이는 어떤 독립변수를 고려하는 것이 가장 적합한가에 대해 알아보기 위함이다. 다중공선성은 독립변수의 조합이 나머지 한 개의 독립변수와 연관되어 있을 경우, 실제보다 훨씬 많은 영향이 있는 것처럼 보이는 현상을 의미한다. 예를 들어, 하나의 변수는 kg, 또 다른 변수는 lb로 측정된 두 개의 독립변수를 모형에 포함시켰을 경우, 완벽한 다중공선성이 존재하며 두 변수의 영향이 매우 큰 것처럼 보이게 된다. 독립변수

Table 4. Parameters for the Storage Function Method in the Han River basin

Basin No.	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>T_l</i>
1	33.231	0.485	1.52
2	40.736	0.389	1.28
3	39.816	0.399	1.32
4	48.511	0.322	1.28
5	35.407	0.453	1.79
6	34.932	0.459	2.21
7	58.129	0.265	0.74
8	57.082	0.270	0.27
9	34.712	0.462	1.84
10	40.073	0.396	0.30
11	46.009	0.341	0.35
12	53.652	0.289	0.61
13	44.597	0.353	0.31
14	36.805	0.434	1.36
15	34.987	0.458	2.84
16	46.133	0.340	0.28
17	44.820	0.351	0.67
18	26.315	0.624	0.78
19	39.816	0.399	1.30
20	27.639	0.592	0.99
21	36.555	0.437	0.92
22	54.455	0.284	0.46
23	47.839	0.327	0.86
24	43.732	0.360	0.27
25	50.091	0.311	1.05
26	36.865	0.433	0.39
27	39.652	0.400	0.30
28	29.743	0.546	0.66
29	39.652	0.400	0.16
30	40.736	0.369	1.16

들 사이에 완벽한 다중 공선성이 존재하는 경우에는 하나 혹은 그 이상의 독립변수를 모형에서 제거하더라도 정보의 손실이 전혀 발생하지 않게 된다. 혹은 다른 독립변수들을 알면 나머지 하나의 변수를 자동적으로 알게 되는 상황이라면

Table 5. Regression Equations to estimate parameters of strage function method

Variables	Regression equations	R ²	Parameters
K	$K=81.803L^{-0.1641}i^{0.0780}$	0.70	L: maximum river length (m) i: stream slope (%)
P	$P=0.183L^{0.1774}i^{-0.0839}$	0.70	A: basin area (km ²) L: maximum river length (m) i: stream slope (%)
T ₁	$T_i=0.0912+0.883 \times 10^{-3}A$	0.69	A: basin area (km ²) L: maximum river length (m) i: stream slope (%) A: basin area (km ²)

Table 6. Basin characteristics and calculated parameters in MunMak gauging station

Basin area (km ²)	Maximum river length(m)	Stream slope(%)	K	P	T ₁
1348.79	88.5	0.418	36.62	0.4361	1.28

다중공선성이 존재한다고 할 수 있다. 이렇게 다중공선성이 존재하는 독립변수를 모두 회귀모형에 넣게 되면 모형의 결과는 신뢰도가 낮아지게 된다.

저류함수법의 매개변수인 K, P, T₁의 결정을 위한 다중회귀 분석결과 다중공선성이 있는 자료를 제외하고 유로연장과 하천경사가 다중회귀분석을 위한 독립변수로 결정되었다. 이는 유역특성치들을 이용하여 모든 경우의 독립변수의 수를 이용하여 회귀 분석한 결과 최소한 하나의 0이 아닌 회귀계수가 존재한다는 가설을 95% 유의수준에서 만족시키면서 (유의한 F의 값이 0.05이하), 회귀계수의 P값이 0.05이하가 되는 경우를 단계적 회귀 (stepwise regression)방법으로 선택한 것이다. 그 결과 회귀식은 Table 6과 같다. 각 회귀식에 사용된 자료는 30개 소유역의 대표 매개변수이며, 회귀식의 결정계수인 R²값이 전체적으로 0.7근처로 나타났다. 이는 유역의 특성치들 중 매개변수에 중요한 영향을 미치는 독립변수를 사용하여 회귀식을 만든 결과, 이 저류함수법의 매개변수를 설명할 수 있는 정도가 전체 매개변수의 70%정도라는 것을 의미한다. 이렇게 산정된 회귀식을 '한강공식'이라고 명한다.

Fig. 2-4는 회귀식을 이용하여 계산된 매개변수들과 입력값으로 사용된 매개변수들을 그린 것이다. 그림에서 보는 것처럼 계산된 값이 실 제값을 잘 나타내어주는 것으로 나타났다.

5. 검증 및 사례 비교 평가

본 논문에서 제안된 회귀식의 적용성을 검증하기 위해 한강의 문막 수위표 (Fig. 1)에서의 강우-유출사상을 이용하여 그 적용성을 검증하였다. 제안된 회귀식은 한강홍수통제소에서 홍수에경보를 위하여 분할한 30개의 소유역의 유역특성치를 이용하여 해당 소유역의 저류함수법 매개변수 산정을 위한 것이므로, 소유역 분할을 다르게 하였을 경우 유역의 특성치만을 이용하여 저류함수법의 매개변수의 초기값을 산정할 수 있으므로 매우 유용하다. Table 6은 문막수위표의 지

저류함수법의 매개변수 산정식 개발

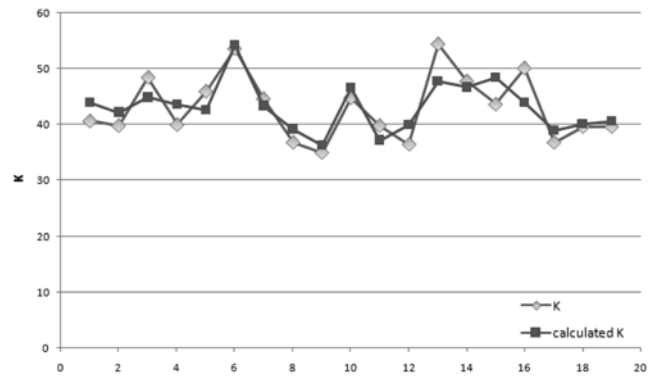


Fig. 2. Comparison between default parameter K and calculated K from the developed regression equation.

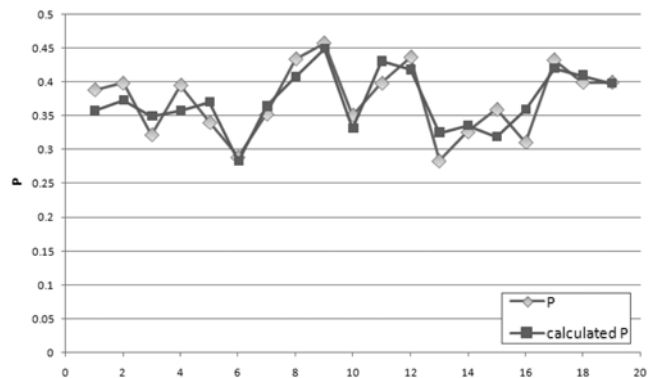


Fig. 3. Comparison between default parameter P and calculated P from the developed regression equation.

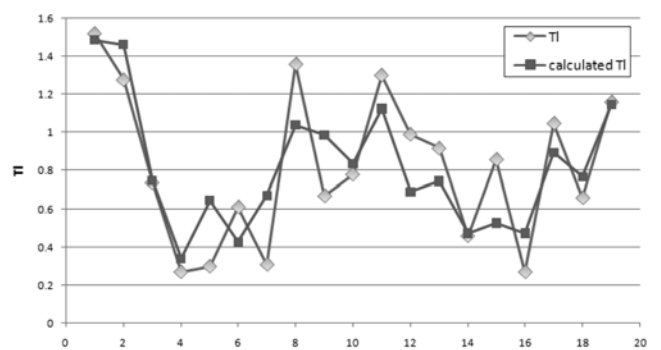


Fig. 4. Comparison between default parameter T₁ and calculated T₁ from the developed regression equation

형특성과 제안된 회귀식을 이용하여 계산된 매개변수 값을 나타낸다. Table 7은 검증에 사용된 문막수위표 유역 강우사상이다. 총 2개의 사상에 대해 검증을 실시하였으며, 각 사상의 총 강우량은 84.93 mm와 106.42 mm이다. 회귀식을 이용하여 계산된 매개변수를 제외한 나머지 매개변수 (f_i, R_{sa})들은 유전자알고리즘을 이용하여 최적화되었다. 해당 강우사상을 제안된 회귀식을 이용하여 계산된 매개변수를 이용하여 저류함수법으로 유출계산을 실시하여 실측된 유량과 비교하였다 (Fig. 5-6). Root Mean Square Error (RMSE)를 이용하여 실측된 유량과 계산된 유량 사이의 일치정도를 판단하였다. Fig. 5와 6은 각 사상에 대하여 검증을 실시한 결과이다. 이때의 RMSE는 각각 474, 553, 4.3×10^7 , 5.1×10^7 이다.

Table 7. Rainfall events used in the validation

	Rainfall duration	Total amount of rainfall (mm)
Event 1	2003.08.19 - 2003.08.23	84.93
Event 2	2006.07.10 - 2006.07.12	106.42

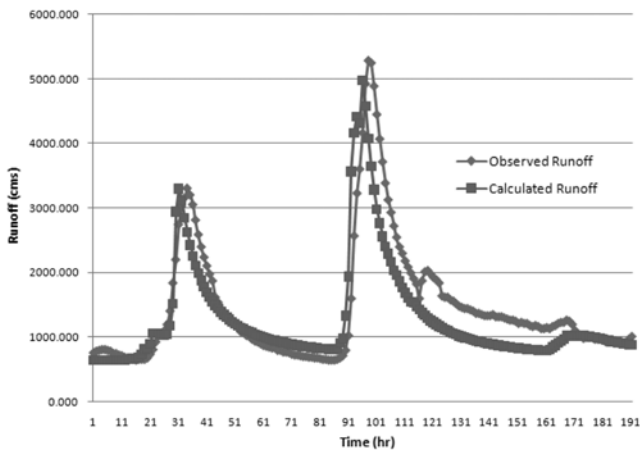


Fig. 5. Comparison between observed runoff and calculated runoff of event 1.

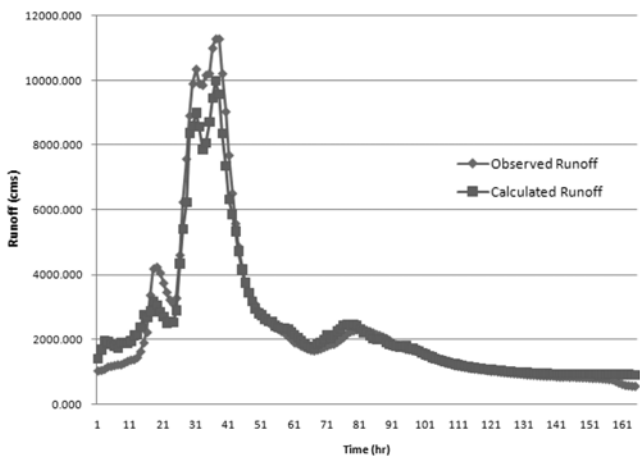


Fig. 6. Comparison between observed runoff and calculated runoff of event 2.

6. 결 론

본 연구에서는 현재 국내 홍수예경보에서 유출계산에 사용되고 있는 저류함수모형의 매개변수 추정을 용이하게 하기 위해 한강유역의 유역특성을 종속변수로 하는 다중회귀식을 개발하였다. 저류함수법은 실무에서 널리 사용되어 있는 범용성을 가지고 있음에도 불구하고 매개변수의 수가 많고, 매개변

수들이 서로 유기적으로 연결되어 있어 적절한 매개변수의 사용이 쉽지 않았으며, 일본유역의 자료를 이용하여 개발된 경험식이 사용되거나 시행착오적으로 유역별, 강우사상별 적절한 매개변수를 추정하고 있었던 실정이다. 실제 한강홍수통제소에서 홍수예경보를 위해 사용하는 한강유역의 총 30개 소유역을 대표하는 회귀식은 저류함수법의 저류함수계수와, 저류상수, 유역의 지체시간을 계산하기 위한 식으로 개발되었으며, 상관계수분석과 다중공선성분석을 통하여 종속변수는 유로연장과 하천경사, 유역면적이 사용되도록 결정되었다. 이는 기존의 일본유역에 적용되어 개발된 경험식들과 비슷한 형태를 가지므로 저류함수법의 특성을 잘 나타낸 것이라고 할 수 있다. 개발된 경험식은 홍수예경보를 위해 분할된 30개의 소유역이 아닌 한강유역의 다른 소유역인 문막수위표지점의 강우-유출사상들에 적용되어 그 적용성을 검증하였다. 본 연구에서 개발된 경험식은 3항공식이라고 명칭하고, 향후 한강유역의 저류함수법 매개변수추정에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 木村俊晃 (1961) 貯留關數法に 洪水流出の 追跡法, 博士學位論文, 日本土木研究所, pp. 89-96, 203-209.
- 남궁달 (1985) 저류함수법에 의한 강우-유출모형의 변수추정. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제18권, 제2호, pp. 185-185.
- 고석규, 안상복, 윤재홍 (1991) 최적화 기법에 의한 저류함수 모형의 자동보정. 수자원연구소 연구발표논문집, pp. 33-44.
- 심순보 (1992). 최적화 기법에 의한 저류함수 유출모형의 자동보정. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제12권, 제3호, pp. 127-137.
- 이정규, 이창해 (1996) 저류함수법의 시변성 매개변수 조정에 퍼지이론 도입에 관한 연구. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권, 제4호, pp. 149-160.
- 이정규, 김한섭 (2000) 홍수예보를 위한 통합저류함수모형의 퍼지 제어 (I) - 이론 및 모형의 수립. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제33권, 제6호, pp. 689-699.
- 김종래, 김주철, 정동국, 김재한 (2006). 동적효과를 고려한 저류함수모형의 최적매개변수 결정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제7호, pp. 593-603.
- 김태균, 윤강훈 (2007) SCS 초과우량산정방법을 이용한 저류함수법 적용. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제7호, pp. 523-532.
- 정동국, 전용운, 이법희 (2008). 저류함수모형 매개변수 산정 개선방법의 한강유역 적용. 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제8권, 제2호, pp. 149-158.

- ◎ 논문접수일 : 09년 10월 01일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 10월 01일
- ◎ 심사완료일 : 09년 10월 16일