

Fuzzy 회귀분석 기법을 이용한 산지하천 홍수유출 산정 시스템 개발

Development of Flood Discharge Estimation System Using Fuzzy Regression Technique in Mountainous River

이태근*, 최창원**, 이재응***

Taegeun Lee, Changwon Choi, Jaeung Yi

요 지

최근 산지하천 유역에서 발생하는 홍수와 이를 동반한 토석류에 의해 많은 인적, 물적 피해가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 유역의 정확한 홍수유출량 해석이 동반되어야 하지만 산지하천 유역은 유출특성 분석에 기본이 되는 수위관측소의 수가 적고, 관측소가 존재하더라도 결측치가 많거나 자료보유 연한이 짧아 자료의 활용성이 떨어진다. 따라서 선행 연구에서는 미비한 자료만으로도 회귀분석이 가능하며 높은 신뢰도를 갖는 Fuzzy 회귀분석 기법을 도입하여 수위자료 없이도 산지하천 유역의 유역면적과 하도경사를 바탕으로 홍수유출량을 평가할 수 있는 기술을 개발하였다. 본 연구에서는 여기에 빈도별 강우량을 새롭게 추가하여 홍수량 산정식을 개선 및 보완하였다. 새롭게 도출된 홍수량 산정식의 정확도는 기존 대상유역 내 특정 지점 설계홍수량을 기준으로 기존 개발된 홍수량 산정식과 비교하여 검토하였고 비교적 높은 정확도를 나타냈다. 이를 바탕으로 일반 사용자도 손쉽게 홍수량을 산정할 수 있도록 MATLAB을 이용하여 홍수량 산정 프로그램을 개발하였다.

핵심용어 : 산지하천, 홍수유출량, Fuzzy 회귀분석

1. 서 론

하천의 홍수유출량은 풍부한 수위관측 자료와 강우관측 자료의 축적에서 비롯된다. 하지만 우리나라 산지하천 유역 내 수위관측소는 설치 및 유지관리의 어려움으로 인해 그 숫자가 부족한 실정이다. 이에 반해 최근 원격관측의 발달로 강우관측 자료의 획득이 쉬워지고, 각종 GIS(Geographic Information System) 프로그램 개발로 지형자료 분석이 용이해졌다. 이러한 획득하기 쉬운 자료만으로도 높은 신뢰도를 갖는 홍수유출량을 산정할 수 있다면 최근 산지하천 유역에서 빈번하게 발생하는 홍수피해를 줄이는데 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 김승주 등(2011)은 Fuzzy 회귀분석을 통해 유역면적과 하천경사를 이용하여 홍수량 산정식을 도출하였다. 본 연구에서는 이를 개선 및 보완하기 위하여 빈도별 지점 강우량을 새로운 변수로 도입하여 높

* 정회원 · 아주대학교 공과대학 건설교통공학과 석사과정 · E-mail : ll2178@ajou.ac.kr

** 정회원 · 아주대학교 공과대학 건설교통공학과 박사수료 · E-mail : itsme99@ajou.ac.kr

*** 정회원 · 아주대학교 공과대학 건설교통공학과 교수 · E-mail : jevi@ajou.ac.kr

은 신뢰도를 갖는 산지하천 유역 홍수량 산정식을 새롭게 개발하였고, MATLAB을 이용하여 홍수량 산정 프로그램을 개발하였다.

2. Fuzzy 회귀분석

Tanaka 등(1982)은 Fuzzy 회귀분석 기법의 일반적인 형태를 다음과 같이 제안하였다.

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n$$

\tilde{Y} : Fuzzy 결과

$\tilde{A}_j, j=1,2,\dots,n$: Fuzzy 계수

$x = (x_1, \dots, x_n)$: n차원 non-fuzzy 입력 벡터

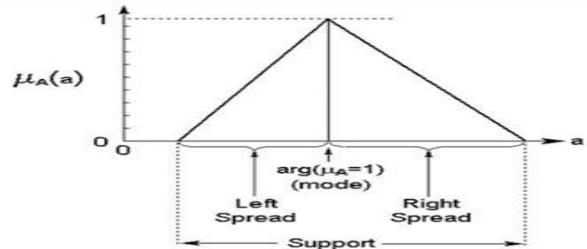


그림 1. Fuzzy 회귀분석 기법의 일반적인 형태

그림 2. Fuzzy 계수

그림 1에서 \tilde{Y} 는 fuzzy 결과, $A_i, i=1,2,\dots,n$ 은 fuzzy 계수, $x = (x_1, \dots, x_n)$ 은 n 차원 non-fuzzy 입력벡터이다. fuzzy 인자들은 삼각 fuzzy number(TFN : Triangular Fuzzy Number)로 가정한다. 따라서 계수들은 그림 2와 같이 membership 함수, $\mu(a)$ 로 나타낼 수 있다. 그림 2에서와 같이 TFN은 중앙값인 mode와 좌우 간격을 나타내는 spread로 나타낸다. 양쪽 spread가 동일하면 대칭 TFN(STFN : Symmetrical Triangular Fuzzy Number)이다. possibilistic 회귀분석이라고도 불리는 Tanaka 방법의 기본 아이디어는 모든 주어진 자료에 대해 fuzzy 계수의 총 spread를 최소화함으로써 모형의 fuzziness를 최소화하는 것이다.

3. 홍수량 산정식 개선 및 보완

3.1 대상유역 선정

본 연구에서는 산지유역의 특징을 효과적으로 적용하기 위하여 한강의 제 1지류로 남한강 상류에 위치한 평창강 유역 내 평창강 최상류 인 속사천을 시작으로 방림교 지점을 최하류 유출구로 설정하여 유역을 재분할 하였다. 연구 수행에 사용되는 산지하천 유역의 면적은 519.9km²으로 전체 유역면적의 약 30%에 해당하며 IHP시험유역 운영을 통해 강우자료와 유량자료가 다량으로 수집되어 있다.

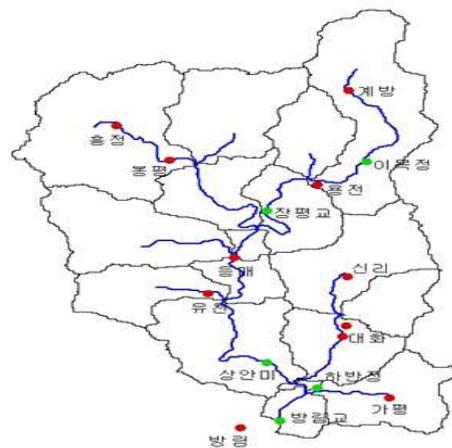


그림 3. 평창강 유역

3.2 퍼지 기본식 형태 보완 및 독립변수 추출

본 연구에서는 김승주 등(2011)이 유역면적과 하천경사를 고려하여 도출한 홍수량 산정식을 개

선 및 보완하기 위하여 퍼지 기본식의 기본변수로 빈도별 지점 강우량을 새로 도입하였다. 기존에 유역면적과 하천경사를 변수로 사용한 퍼지 기본식과 새롭게 빈도별 지점 강우량을 도입하여 도출한 퍼지 기본식을 비교해보면 다음 표 1과 같다.

표 1. 기본변수 및 식 형태 보완

2개 변수를 사용한 퍼지 기본식	3개 변수를 사용한 퍼지 기본식
$\alpha A \cdot I^\gamma$ $\ln Q = \ln \alpha + \beta \ln A + \gamma \ln I$ $Y = \ln Q$ $A_0 = \ln \alpha; A_1 = \beta; A_2 = \gamma$ $X_1 = \ln A; X_2 = \ln I$ $Y = (A_0, C_0) + (A_1, C_1)X_1 + (A_2, C_2)X_2$	$Q_t = \alpha A^\beta \cdot I^\gamma \cdot P_t^\delta$ $\ln Q = \ln \alpha + \beta \ln A + \gamma \ln I + \delta \ln P_t$ $Y = \ln Q$ $A_0 = \ln \alpha; A_1 = \beta; A_2 = \gamma; A_3 = \delta$ $X_1 = \ln A; X_2 = \ln I; X_3 = \ln P_t$ $Y = (A_0, C_0) + (A_1, C_1)X_1 + (A_2, C_2)X_2 + (A_3, C_3)X_3$
표본수 : 빈도 홍수량 산정 지점을 기준으로 총 9개 표본 Y : 각 지점의 빈도별 홍수량 X : 유역면적, 하천경사	표본수 : 빈도 홍수량 산정 지점을 기준으로 총 9개 표본 Y : 각 지점의 100년 빈도 홍수량 X : 유역면적, 하천경사, 100년 빈도 강우량

도출된 퍼지 기본식에 기본변수로 사용될 유역면적, 하천경사는 ArcGIS를 이용하여 추출하였고, 100년 빈도 지점 강우량은 수충부 및 토석류 방재기술 연구단 내 산지유역의 호우특성 및 설계강우 정량화 연구결과를 인덕대학에서 ASCII 형태로 제공 받아 ArcGIS에서 구현하여 추출하였다. 추출된 각 지점의 독립변수는 아래 표 2와 같다.

표 2. 회귀분석에 사용될 각 지점의 독립변수

지점	유역면적(km ²)	하상경사(degree)	유역경사(%)	100년 빈도강우량(mm)
1	11.4	0.01735	44.95	236
2	18.6	0.01723	44.9	233
3	36.8	0.01552	43.39	232
4	56.1	0.01225	39.74	231
5	71.6	0.01113	37.89	231
6	94.3	0.01116	37.9	231
7	102.1	0.01027	37.92	230
8	120	0.00942	37.3	230
9	366.94	0.008735	38.68	230

3.3 100년 빈도 홍수량 산정식 산정

Possibilistic model은 자료들을 적절히 포함하는 조건 하에서 spread를 최소화함으로써 model을 최적화한다. Spread를 최소화하는 목적함수와 관측값이 예측값에 포함되어야하는 Fuzzy Regression Model의 정의로부터 유발되는 제약조건을 갖는 mathematical programming 문제로 표현이 가능하다. 본 연구에서는 문제에서 구하고자 하는 변수, c가 선형이므로 linear programming 문제로 해결하였다.

$$\min J = n \cdot c_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k c_i |x_{ij}|$$

$$s.t \quad a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_{i1} + (1-h)(c_0 + \sum_{i=1}^k c_i |x_{i1}|) \geq y_1 + (1-h)e_1$$

$$a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_{i1} - (1-h)(c_0 + \sum_{i=1}^k c_i |x_{i1}|) \leq y_1 - (1-h)e_1$$

그림 4. Linear programming 형태의 possibilistic 모형

Linear Programming 문제는 MATLAB에 내장된 최적화 함수중 Linprog 함수를 사용하여 문제를 해결 하였으며 보완된 홍수량 산정식은 그림 5와 같다.

$$Q_{100} = e^{(150.191, 0)} A^{(0.2073, 0.0522)} I^{(-0.5953, 0)} P_{100}^{(-27.015, 0)}$$

그림 5. 보완된 100년 빈도 홍수량 산정식

3.4 100년 빈도 홍수량 산정식 검증

새롭게 3개 변수를 이용하여 산정된 홍수량 산정식의 개선 정도를 판단하기 위하여 9개 지점의 기준에 산정되어있는 설계홍수량을 기준으로 2개 변수를 이용하여 산정된 홍수량과 비교하였고 그 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. 9개 지점 100년 빈도 설계홍수량과 비교

100년 빈도 설계홍수량 (m³/s)	2개 변수를 사용하여 산정한 홍수량 (m³/s)			3개 변수를 사용하여 산정한 홍수량 (m³/s)			설계홍수량과 오차(%)	
	low Q	Q	high Q	low Q	Q	high Q	2변수	3변수
240	237.58	259.34	283.08	216.50	245.82	279.12	8.06	2.43
400	343.64	381.78	424.14	331.39	386.02	449.65	4.56	3.50
570	516.24	587.79	669.26	440.37	531.56	641.63	3.12	6.74
680	546.30	631.53	730.06	608.25	750.55	926.14	7.13	10.37
785	591.34	689.62	804.24	668.83	835.88	1,044.64	12.15	6.48
1,000	733.25	863.64	1,017.22	696.92	883.59	1,120.26	13.64	11.64
935	709.46	838.02	989.88	833.54	1,061.20	1,351.04	10.37	13.50
1,010	728.52	865.55	1,028.35	899.80	1,155.26	1,483.25	14.30	14.38
1,264	1,581.47	1,956.08	2,419.42	1,119.45	1,523.61	2,073.70	54.75	20.54

설계홍수량과의 오차는 대체적으로 2개 변수를 사용한 경우 보다 3개 변수를 사용한 경우 작은 오차를 보였으며 특히 최하류 지점에서 오차가 54.75%에서 20.54%로 30%이상 줄어드는 경향을 보였다.

4. 홍수량 산정 프로그램 개발

산지유역 홍수량 산정과정을 일반 사용자들이 보다 손쉽게 사용하고 결과를 도출해낼 수 있도록 MATLAB을 이용하여 홍수량 산정 프로그램을 개발하였다. 개발된 홍수량 산정 프로그램과 실행 결과는 다음 그림 6과 같다.

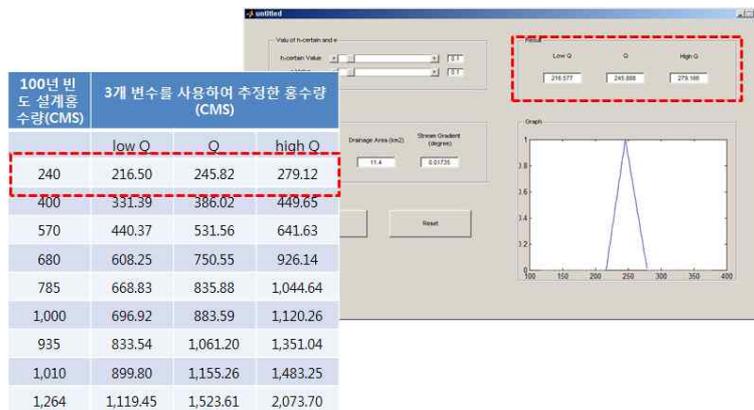


그림 6. 개발된 홍수량 산정 프로그램

5. 결과

본 연구에서는 산지하천 유역의 유역면적, 하도경사에 빈도별 강우량을 새로운 변수로 도입하여 Fuzzy 회귀분석을 통해 홍수량 산정식을 개선 및 보완하였으며 이러한 복잡한 홍수량 산정과정을 MATLAB을 이용한 홍수량 산정 프로그램 개발로 손쉽게 처리할 수 있도록 하였다. 개발된 홍수량 산정 프로그램은 수위관측 자료가 부족한 산지하천 유역 내 임의지점 홍수량을 유역면적, 하도경사, 빈도별 강우량만을 사용하여 산정할 수 있도록 하여 산지하천 유역의 홍수방어대책 수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 수충부 및 토석류 연구단(08지역기술혁신 B-01)을 통하여 지원된 국토해양부 지역기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김승주, 최창원, 이재웅(2011). Fuzzy Regression 기법을 이용한 산지하천 유역 홍수량 산정, 한국수자원학회 2011년도 학술발표회, 한국수자원학회.
2. Tanaka, H., Uejima, S. and Asai, K. (1982). Linear regression analysis with fuzzy model, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 12(6), 903-907.