

Fuzzy 회귀분석기법을 이용한 평창강 유역의 설계홍수량 산정

Design Flood Estimation for Pyeongchang River Basin Using Fuzzy Regression Method

이재응* / 김승주** / 이태근*** / 지정원****

Yi, Jaeung / Kim, Seungjoo / Lee, Taegun / Ji, Jungwon

Abstract

Linear regression technique has been used widely in water resources field as well as various fields such as economics and statistics, and so on. Using fuzzy regression technique, it is possible to quantify uncertainty and reflect them to the regression model. In this study, fuzzy regression model is developed to compute design floods in any place in Pyeongchang River basin. In ungaged basins, it is usually difficult to obtain data required for flood discharge analysis. In this study, basin characteristics elements are analyzed spatially using GIS and the technique of estimating design flood in ungaged mountainous basin is studied based on the result. Fuzzy regression technique is applied to Pyeongchang River basin which has mountainous basin characteristics and well collected rainfall and runoff data through IHP test basin project. Fuzzy design flood estimation equations are developed using the basin characteristics elements for Pyeongchang River basin. The suitability of developed fuzzy equations are examined by comparing the results with design floods computed in 9 locations along the river. Using regional regression method and fuzzy regression analysis, the uncertainties of the design floods occurred from the data monitoring can be quantified.

Keywords : fuzzy regression, mountainous basin, GIS, design floods

요 지

선형회귀분석기법은 오랫동안 수공학분야뿐만 아니라 경제학, 통계학 등 여러 분야에서 널리 이용되어 왔다. Fuzzy 회귀분석기법은 자료의 불확실성이 높을 때 이를 정량화하여 회귀분석 모형에 반영할 수 있다. 본 연구에서는 평창강 유역의 임의의 지점에서 설계홍수량을 산정하기 위해 fuzzy 회귀분석모형을 개발하였다. 평창강 유역과 같은 산지하천 유역은 관측소의 부재로 홍수유출해석에 필요한 자료의 습득이 어려운 경우가 많이 있다. 본 연구에서는 지리정보시스템을 이용하여 유역특성인자를 공간적으로 분석하고, 그 결과를 바탕으로 미계측 산지유역에서 설계홍수량을 산정할 수 있는 기법을 검토하였다. Fuzzy 회귀분석기법을 산지하천 유역의 특성을 가지고 있으며 IHP 시험유역 운영을 통하여 비교적 강우와 유량자료가 잘 수집되어 있는 평창강 유역에 적용하였다. 평창강 유역에 대해서 유역특성인자를 이용하여 fuzzy 설계홍수량 산정식을 개발하였고, 유역의 분류를 따라 위치하고 있는 9개의 지점에서 산정된 빈도홍수량과 비교하여 개발된 산정식의 적합성을 검토하였다. Fuzzy 회귀분석을 사용하여 지역회귀분석을 수행한다면 자료 관측에서 발생하는 빈도홍수량의

* 교신저자, 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 (e-mail: jeyi@ajou.ac.kr, Tel: 031-219-2507)

Corresponding Author, Professor, Div. of Environ., Const. and Trnst., Engrg., Ajou Univ., Suwon 422-749, Korea

** (주) 방재안전기술원 주임 (e-mail: ajouking@naver.com)

Senior Clerk., Disaster Prevention Safety Institute, Inc., C-428 Sigma-2, 18 Gumi-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-741, Korea

*** 아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (e-mail: lll2178@ajou.ac.kr)

Graduated Student, Dept. of Civil & Trnst. Engrg., Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

**** 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (e-mail: log58@ajou.ac.kr)

Doctoral Course, Dept. of Civil & Trnst. Engrg., Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

불확실성을 정량화하고, 불확실성의 전파를 파악할 수 있다.

핵심용어 : fuzzy 회귀분석기법, 산지하천 유역, 지리정보시스템, 설계홍수량

1. 서론

산지하천이란 산지지역에 위치하는 하천을 나타내며, 그 이외의 하천은 평지하천이라고 정의할 수 있다(박상덕과 신승숙, 2011). 산지하천은 지형 및 지질적인 요인으로 경사가 급하기 때문에 홍수 시 유속이 매우 빠르고 도달시간이 짧은 특징을 가지고 있다. 산지하천 유역은 일반적으로 수위자료에 비해 강우 관측 자료가 비교적 많이 축적되어 있고, 최근에는 레이더를 이용한 강우관측이 지속적으로 이루어지고 있어 비교적 강우특성을 분석하는 것은 용이한 편이다. 이에 비해 산지하천 유역의 하천 수위 자료는 부족하거나 자료가 있더라도 결측치가 많고 불확실성이 큰 실정이다. 또한 특정 목적을 위하여 특정 지점에만 수위관측소가 위치하는 경우가 많아 필요한 지점의 자료를 구하기 어려운 경우가 많다. 이와 같은 제약을 해소하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요되므로 단시간 내에 이를 해결하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 비교적 쉽게 구할 수 있는 유역의 지리정보 자료를 이용하여 유역특성인자를 분석하고 특정 지점의 설계홍수량을 신뢰성을 가지고 효율적으로 산정할 수 있다면 산지하천 유역의 홍수와 토석류에 의해 발생하는 피해에 대한 대책을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

우리나라의 홍수유출과 관련된 연구를 살펴보면, 많은 연구가 외국의 지형조건에 의해서 만들어진 기법과 경험식을 사용하여 진행되어 왔다. 산지가 국토의 약 70%를 차지하는 우리나라에서 지형특성이 상이한 외국의 경험적 연구를 바탕으로 한 기법과 경험식을 사용해서는 산지하천 유역 홍수유출의 정확한 해석을 수행하기 어려운 경우가 많다. 본 연구에서는 최근 수자원분야에 널리 이용되고 있는 지리정보시스템(Geographic Information System)을 통해 얻어진 다양한 유역특성인자를 입력자료로 활용하고 fuzzy 회귀분석기법을 이용하여 유역의 임의 지점에서 설계홍수량을 산정할 수 있는 방법을 개발하고자 한다. 이의 적용을 위해 국내 산지하천 유역의 하나이며 IHP 시험유역 운영을 통해 비교적 강우와 유량자료가 잘 수집되어 있는 평창강유역을 대상으로 하여, 특정 지점이 아닌 임의 지점에서의 설계홍수량을 산정할 수 있는 식을 개발하고 검토하였다.

Fuzzy 회귀분석기법은 관측 자료의 불확실성을 정량화하여 반영할 수 있는 회귀분석기법으로 Tanaka et al. (1982)에 의해 소개된 이후 다양한 분야에 적용되어 왔다. 수문, 수자원 관련 분야에서는 1992년 Shaikasho 등이 저류함수 모형의 매개변수들을 추정하기 위해 fuzzy 회귀분석기법을 적용하였다. Wen and Lee (1999)와 Chen and Chang (2002)은 도시 폐수처리시스템의 비용함수를 검토하기 위해 fuzzy 회귀분석기법을 이용하였다. Sujono et al. (2003)은 매개변수의 폭과 중앙값의 비로 나타나는 모호비(vagueness ratio)를 이용하여 수문곡선 예측의 정확도를 평가하기 위해 선형 fuzzy 회귀분석을 적용하였다. Mousavi et al. (2004)은 저수지 운영 규칙을 유도하기 위해 일반 회귀분석기법, fuzzy 회귀분석기법, ANFIS (Adaptive Network Fuzzy Inference System)를 적용하고 그 결과를 비교하였다. Zahraie and Hosseini (2009)는 일반 회귀분석과 대칭형 및 비대칭형 소속함수를 갖는 fuzzy 회귀분석을 이용하여 최적 저수지운영 계수를 구하였다. Westberg et al. (2011)은 수위-유량 관계곡선에 대한 가중 fuzzy 회귀분석기법을 이용하여 유량과 불확실성을 산정하였다.

2. Fuzzy 회귀분석기법

2.1 Fuzzy 회귀분석기법의 필요성

전통적인 통계 회귀분석기법에서 입력변수와 출력변수 사이의 관계는 명확하다. 즉, 독립변수의 계수의 검정 결과 유의성 판단에 따라 그 변수를 모형에 포함시킬 것인지 배제할 것인지를 명확히 결정할 수 있다. 관측값과 추정값 사이의 편차는 독립변수 이외에도 다양한 이유 때문에 발생하는데, 이는 교란 항에 반영되어 있다. 통계적 회귀분석기법에 비해 fuzzy 회귀분석기법은 교란 항이 없으며, 관측값과 추정값 사이의 편차는 매개변수의 fuzziness에 반영된다(Tanaka et al., 1982). 매개변수의 변동 폭이 클수록 그 변수가 모형에 기여하는 정도를 파악하기 어렵지만, 그래도 이러한 불완전한 정보를 모형에 포함시킬 수 있다. 이러한 이유 때문에 fuzzy 회귀분석기법은 인간의 주관적결정이 영향을 미치는 대규모의 복잡한 시스템을 분석하는데 효율적 기법이다.

일반적으로 통계학적 선형 회귀분석은 다음과 같은 형

태의 식으로 나타낼 수 있다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

여기서, 종속변수 y_i , 독립변수 x_{ij} , 계수 β_i 는 명확한 값을 가지며, ϵ_i 는 명확한 무작위 오차항으로 $E(\epsilon_i) = 0$, $\sigma^2(\epsilon_i, \epsilon_j) = 0, \forall i, j, i \neq j$ 이다. 참고로 “명확한(crisp)”이라는 용어는 “애매모호한(fuzzy)”이라는 용어에 대응하는 용어이다.

Eq. (1)의 통계적 회귀분석은 널리 적용되고 있지만 다음과 같은 경우에는 문제가 발생할 수 있다(Heshmaty and Kandel, 1985). 첫째, 관측수가 적절치 못할 경우, 둘째, 오차의 분포 가정을 입증하기 어려운 경우, 셋째, 입력변수와 출력변수 사이의 관계가 애매한 경우, 넷째, 발생하는 사상이 애매한 경우, 다섯째, 선형화함에 따라 부정확성이나 왜곡이 발생하는 경우 등이다. 이와 같은 문제가 발생하는 경우 일반적인 회귀분석을 사용하여 분석을 수행하는 경우보다 fuzzy 회귀분석기법을 사용하는 것이 관측 자료의 불확실성을 정량화하여 반영할 수 있는 회귀분석식을 도출할 수 있다.

2.2 Fuzzy 회귀분석 이론

Tanaka et al. (1982)은 fuzzy 회귀분석의 일반적 형태를 다음과 같이 제안하였다.

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (2)$$

여기서, \tilde{Y} 는 fuzzy 종속변수, $\tilde{A}_j, j = 1, 2, \dots, n$ 은 fuzzy 계수, $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ 은 n 차원 독립변수이다. fuzzy 인자들은 삼각 fuzzy number (TFN: Triangular Fuzzy Number)로 가정하면 계수들은 Fig. 1과 같이 membership 함수, $\mu_A(a)$

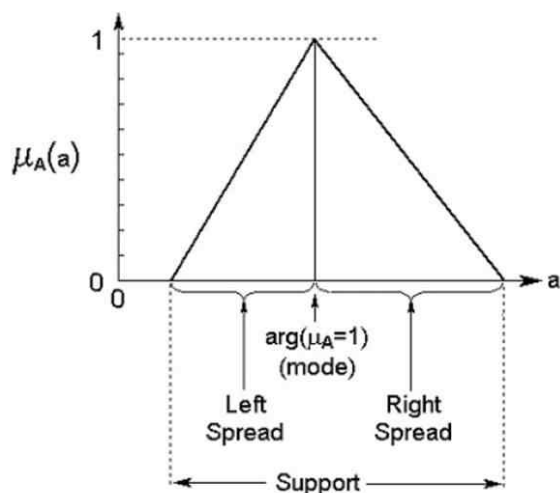


Fig. 1. Fuzzy Coefficient

로 나타낼 수 있다. 그림에서와 같이 TFN은 중앙값, 좌측과 우측 스프레드, 서포트로 나타내고, 양쪽 스프레드가 동일하면 대칭 TFN (STFN: Symmetrical Triangular Fuzzy Number)이다. 확률적 fuzzy 회귀분석이라고도 불리는 Tanaka 방법의 기본 개념은 주어진 모든 자료에 대해 fuzzy 계수의 총 스프레드를 최소화함으로써 모형의 애매모호함을 최소화하는 것이다.

STFN을 가정하고 Eq. (2)와 Fig. 1로부터 j 번째 계수의 membership function을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mu_{A_j}(a) = \max\left\{1 - \frac{|a - a_j|}{c_j}, 0\right\} \quad (3)$$

여기서, a_j 는 중앙값, c_j 는 스프레드이다.

A_j 를 Eq. (4)와 같이 정의하면, Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{A}_j = \{a_j, c_j\}_L = \{\tilde{A}_j: a_j - c_j \leq \tilde{A}_j \leq a_j + c_j\}_L, \quad j = 0, 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_i &= \tilde{A}_0 + \sum_{j=1}^n \tilde{A}_j x_{ij} \\ &= (a_0, c_0)_L + \sum_{j=1}^n (a_j, c_j)_L x_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 2에서와 같이 j 번째 fuzzy 계수의 membership function을 고려한다. 비대칭 TFN인 경우 c_j^L 과 c_j^R 은 각각 왼쪽과 오른쪽 스프레드를 나타내며, y 축의 h 는 h -certain 인자이다. h -certain 인자는 가능자료 구간의 크기를 조절하여 membership function의 서포트를 조절하는 역할을 한다.

h -certain 인자를 관측 결과에 적용하면 STFN에 대해 i 번째 결과 자료를 $\tilde{Y}_i = (y_i, e_i)$ 로 나타낼 수 있다. Fig. 3에서 y_i 는 중앙값이고, e_i 는 스프레드이다. 여기서 실제 자료점들은 $y_i \pm (1-h)e_i$ 구간 내에 위치한다.

fuzzy 회귀분석 모형을 적합시키기 위해 일반적으로 두 가지 방법이 사용한다. 첫째, 가능성(possibilistic) 모형으로, 각 표본의 자료점들을 규정된 가능 자료 구간 내에 포함하는 조건 하에서 fuzzy 계수의 총 스프레드를 최소화함으로써 모형의 모호함을 최소화한다. 둘째, 최소자승 모형으로, 중앙값과 스프레드에 근거하여 모형의 결과와 관측결과 사이의 편차를 최소화한다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 가능성 모형을 이용하여 fuzzy 모형을 적합시켰다.

가능성 모형을 적용하기 위한 최적화 문제의 목적함수는 다음과 같다.

$$\min \left[m \cdot c_0 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_j |x_{ij}| \right], \quad c_j \geq 0 \quad (6)$$

여기서, i 는 자료의 개수, m 은 총 자료 수, j 는 독립변수의 개수, n 은 총 독립변수의 수를 나타낸다. Fig. 4는 자료 포함 요구 조건으로, fuzzy 결과를 나타내기 위해 Fig. 2를

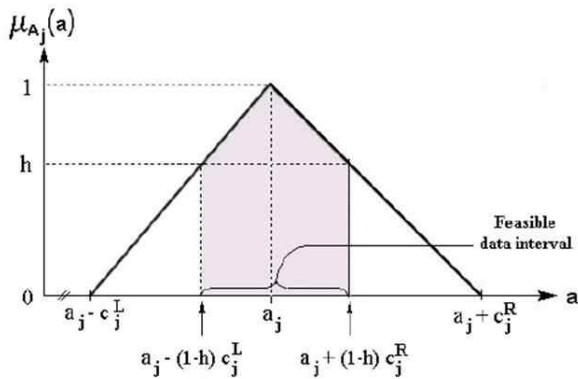


Fig. 2. Estimating A_j using an "h-certain" Factor

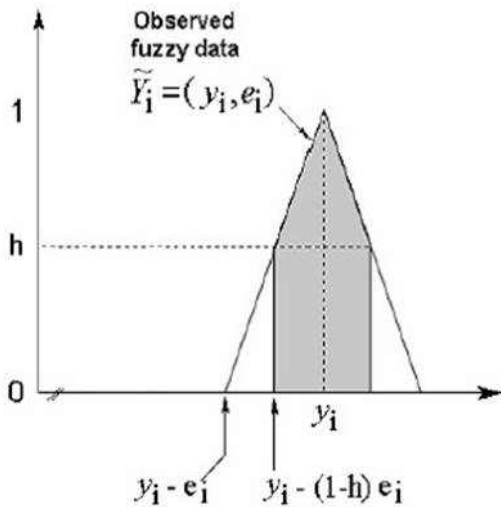


Fig. 3. Observed Fuzzy Output

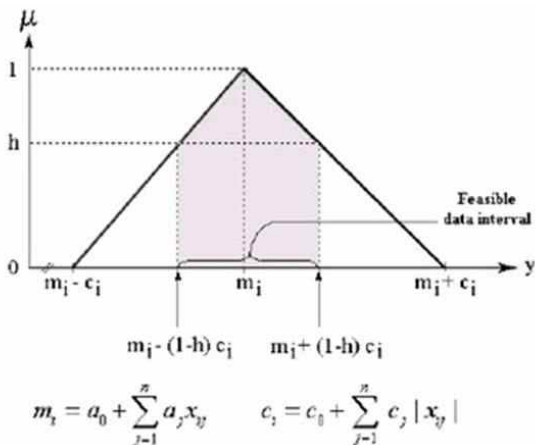


Fig. 4. Fuzzy Output of the Model

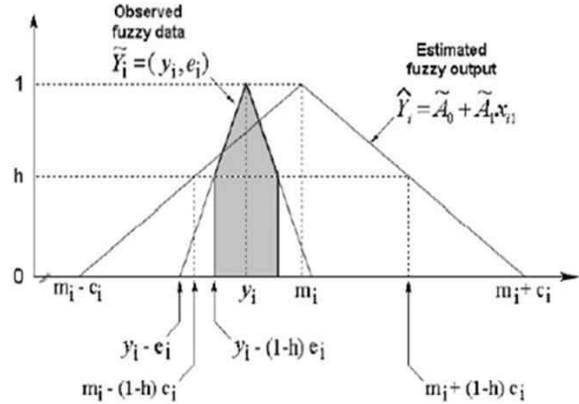


Fig. 5. Fitting the Estimated Output to the Observed Output

확장한 것이다. 이를 fuzzy 결과와 통합하면 Fig. 3은 Fig. 5가 되며, 이는 추정된 fuzzy 결과가 관측 fuzzy 자료에 어떻게 적합될 수 있는지를 나타낸다. 여기서 h-certain 인자에 의해 조정된 관측 fuzzy 자료는 h-certain 인자에 의해 조정된 추정 fuzzy 결과 내에 포함되어야 한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$a_0 + \sum_{j=1}^n a_j x_{ij} + (1-h) \left[c_0 + \sum_{j=1}^n c_j |x_{ij}| \right] > y_i + (1-h)e_j \quad \text{모든 } i \text{에 대해 (7)}$$

$$a_0 + \sum_{j=1}^n a_j x_{ij} - (1-h) \left[c_0 + \sum_{j=1}^n c_j |x_{ij}| \right] < y_i - (1-h)e_j \quad \text{모든 } i \text{에 대해 (8)}$$

$$c_j \geq 0,$$

$$i = 0, 1, \dots, m, \quad j = 0, 1, \dots, n$$

3. 시험구역 적용

3.1 구역 현황

본 연구에서는 급한 경사, 높은 해발고도, 좁은 하천폭, 심한 만곡부 등의 산지하천구역의 특성을 포함하는 평창강 유역을 시험구역으로 선정하였다. 평창강 유역은 IHP 시험구역 운영을 통해 비교적 강우와 유량자료가 잘 수집되어 있으므로 평창강 유역을 시험구역을 선정하여 연구를 수행하였다.

평창강은 한강의 제1지류로써 통칭 서강으로도 불리고, 한강유역에 포함되어 있으며, 유역면적은 1,774.32 km², 유로연장은 146.86 km이다. 속사천, 흥정천, 대화천과 합류하여 평창강을 이루고 주천강과 합류하여 한강으로 유

입된다. 평창강은 60 km의 직선거리를 220 km나 꾸불꾸불 돌아 흐르는 것으로 유명하며, 지방하천인 평창강 외에 28개의 지방하천으로 이루어져 있다(강원도, 2008). 평창강 유역은 표준단위 유역의 중권역 구분을 기준으로 하나의 중권역으로 구성되어 있으나, 이 중 산지유역에 해당하고 수위관측소의 자료를 이용하기 위하여 유역의 유출구를 방림교 지점으로 설정하여 유역을 재분할하였다. 따

라서 본 연구에서 사용되는 평창강 유역은 515.9 km²의 면적을 가진다(Fig. 6).

3.2 지역회귀분석과 fuzzy 회귀분석

홍수량에 영향을 미치는 유역의 지형적 인자로는 유역 면적, 하천경사, 유역경사, 조도계수, 불투수율 등이 있는데, 이 중에서 산지하천 유역의 특징을 잘 나타낼 수 있으며 홍수량에 직접적으로 영향을 미치는 유역면적, 하천경사, 유역경사를 유역특성인자로 선정하였다.

시험유역으로 선정된 평창강유역을 유역특성인자를 기준으로 본류에 위치하는 9개 지점으로 나누어 분석하였다. 9개 지점을 유출구로 하여 소유역을 분할하고 유역면적을 산정하였으며, 각 소유역의 평균경사를 산정하여 유역경사로 추출하고, 소유역내 위치한 하천의 평균경사를 하천경사로 추출하였다. 유역면적과 빈도별 홍수량은 평창강하천정비기본계획보고서(강원도, 2008)를 참조하여 다음 표와 같이 추출하였다.

추출한 독립변수 중 하천경사의 적합성을 분석하기 위해 Table 2에 실제 하천경사와 ArcGIS를 이용하여 산정한 하천경사를 비교하였다. 비교 결과 ArcGIS로 산정한 하천경사와 실제 하천경사의 오차가 작은 것으로 판단된다. 9개 지점의 실제 빈도별 홍수량과 추출한 유역특성인자와의 관계를 Figs. 7~9에 도시하였다. 추출한 유역면적과 하천경사를 실제 빈도별 홍수량과 비교할 경우 0.8 내외의 R² 값을 가지지만 유역경사의 경우 R² 값이 0.65로 다른 두 개의 인자에 비해 홍수량에 미치는 영향이 작은 것으로 판단되어 본 연구에서 제외하였다.



Fig. 6. Pyeongchang River Basin

Table 1. Basin Area, Bed Slope, Basin Slope, Flood Frequency of Pyeongchang River Basin

Point	Basin Area (km ²)	Bed Slope (degree)	Basin Slope (%)	Flood Frequency (m ³ /s)				
				30 year	50 year	80 year	100 year	150 year
1	11.4	0.01735	44.95	170	200	225	240	265
2	18.6	0.01723	44.9	280	330	375	400	440
3	36.8	0.01552	43.39	395	465	535	570	630
4	56.1	0.01225	39.74	470	555	640	680	760
5	71.6	0.01113	37.89	545	645	740	785	870
6	94.3	0.01116	37.9	690	820	935	1000	1105
7	102.1	0.01027	37.92	640	755	880	935	1035
8	120	0.00942	37.3	705	835	955	1010	1120
9	366.94	0.008735	38.68	995	1108	1214	1264	1420

Table 2. Comparison of Actual Bed Slope and Estimated Bed Slope

Location	Bed Slope	Bed Slope (ArcGIS, DEM)
End Point ~ Seonae Bridge	0.00431	0.00493
Seonae Bridge ~ Gaesu Bridge	0.00591	0.00521
Gaesu Bridge ~ Deongmae Bridge	0.00636	0.00619
Deongmae Bridge ~ Heongcheoncheon Confluence	0.00411	0.00350

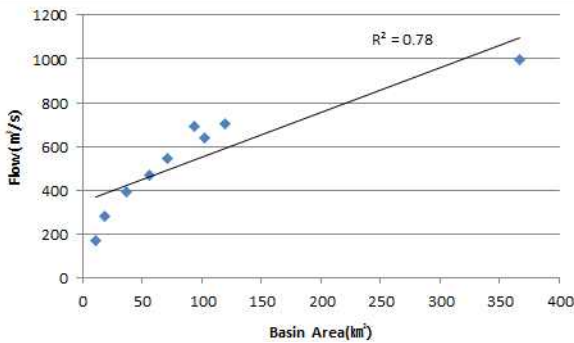


Fig. 7. Basin Area and Frequency Flow

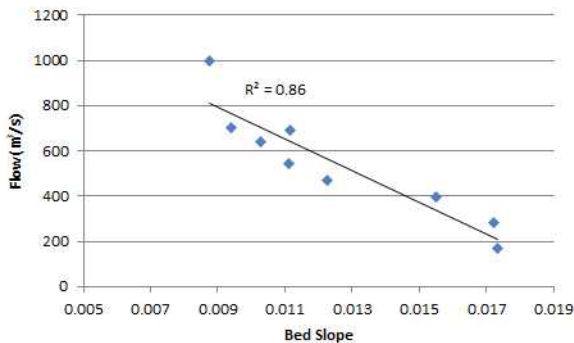


Fig. 8. Bed Slope and Frequency Flow

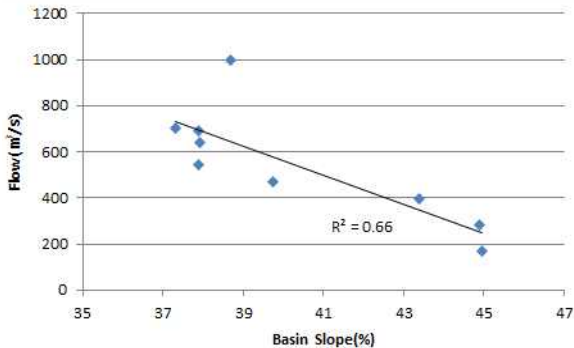


Fig. 9. Basin Slope and Frequency Flow

본 연구에서 사용된 지역회귀분석식의 기본 형태는 다음과 같다.

$$Q = \alpha A^\beta I^\gamma \quad (9)$$

여기서, Q 는 빈도별 홍수량, A 는 유역면적, I 는 하도경사, α, β, γ 는 회귀계수이다. 양 변에 대수를 취한 후, fuzzy 회귀분석의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$Y = (A_0, C_0) + (A_1, C_1)X_1 + (A_2, C_2)X_2 \quad (10)$$

여기서, $Y = \ln Q$, $X_1 = \ln A$, $X_2 = \ln I$ 이고, A_0, A_1, A_2 는 회귀계수들의 중앙값, C_0, C_1, C_2 는 회귀계수들의 스프레드를 나타낸다.

확률적 fuzzy 회귀분석모형은 자료들을 적절히 포함하는 조건 하에서 스프레드를 최소화함으로써 모형을 최적화한다. 스프레드를 최소화하는 목적함수와 관측값이 예측값에 포함되어야하는 Fuzzy 회귀분석모형의 정의로부터 유발되는 제약조건을 갖는 최적화 문제(Eqs. (6)~(8))로 표현이 가능하다.

관측값은 crisp값을 가지므로 fuzzy 회귀분석을 수행하기 위해서는 h-certain 인자를 이용하여 관측 fuzzy 자료로 변환을 시켜주어야 한다. 임의의 e값을 적용하여 변환된 관측 fuzzy 자료는 좌우 spread가 같은 대칭 TFN으로 가정한다. 본 연구에서는 h-certain 인자와 e값은 0.1에서 0.9까지로 0.2단위로 가정하여 적용하였다.

4. 결 과

4.1 h-certain 인자와 e값에 따른 중앙값과 스프레드의 변화

본 연구에서는 지형자료를 이용하여 유역 특성인자를 추출하였고, 그 인자들을 입력변수로 사용하여 확률적 fuzzy 회귀분석 모형을 구축하였다. h-certain 인자와 e값을 0.1부터 0.9까지 0.2 단위로 변화하여 적용하면서 모드와 스프레드의 변화를 검토했으며 그 결과는 다음과 같다.

e값이 고정되고 h-certain 인자가 증가할 경우 특정 h-certain 인자에 도달할 때까지 중앙값은 일정하며, 이후 h-certain 인자가 증가함에 따라 중앙값은 감소한다.

Table 3. Mode according to h-certain Element, Basin Area: 11.4 km², Bed Slope: 0.0174

h \ e	0.1			0.3			0.5		
	-	mode	+	-	mode	+	-	mode	+
0.1	-26.2	178.9	30.7	-52.7	178.2	74.9	-75.5	178.2	131.0
0.3	-30.6	180.9	36.8	-54.8	178.2	79.2	-77.2	178.2	136.2
0.5	-38.3	182.3	48.5	-58.0	178.2	85.9	-79.7	178.2	144.4
0.7	-55.1	184.1	78.5	-67.3	178.9	107.9	-85.8	178.2	165.4
0.9	-114.0	185.5	296.1	-120.9	184.1	351.8	-126.6	182.3	414.0
h \ e	0.7			0.9					
	-	mode	+	-	mode	+			
0.1	-94.2	178.2	199.7	-109.3	178.2	283.0			
0.3	-95.5	178.2	205.8	-110.5	178.2	290.8			
0.5	-97.6	178.2	215.8	-112.2	178.2	303.0			
0.7	-102.5	178.2	241.4	-116.2	178.2	334.3			
0.9	-131.6	180.9	482.7	-135.5	178.9	558.4			

Table 4. Spread according to h-certain Element, Basin Area: 18.6 km², Bed Slope: 0.0172

h \ e	0.1			0.3			0.5		
	-	중앙값	+	-	중앙값	+	-	중앙값	+
0.1	-44.7	258.3	54.1	-82.6	259.2	121.3	-114.6	259.2	205.5
0.3	-51.3	257.5	64.1	-87.2	259.2	131.5	-118.4	259.2	218.0
0.5	-63.1	255.6	83.8	-94.4	259.2	148.4	-124.3	259.2	238.7
0.7	-88.4	254.5	135.5	-111.8	258.3	197.1	-137.4	259.2	292.5
0.9	-172.4	252.7	542.1	-184.0	254.5	66.0	-194.1	255.6	805.8
h \ e	0.7			0.9					
	-	중앙값	+	-	중앙값	+			
0.1	-140.9	259.2	308.9	-162.3	259.2	434.1			
0.3	-143.9	259.2	323.6	-164.8	259.2	452.7			
0.5	-148.7	259.2	348.9	-168.7	259.2	483.5			
0.7	-159.5	259.2	414.7	-177.6	259.2	563.9			
0.9	-203.4	257.5	969.1	-211.2	258.3	1157.5			

e값이 고정되고 h-certain 인자가 증가할 경우 좌우 스프레드의 간격은 증가하며, 증가폭은 h-certain 인자가 커질수록 증가한다.

e값을 0.1부터 0.9까지 0.2 단위로 변화하여 적용하였으며 그 결과는 다음과 같다.

h-certain 인자가 고정되고 e값이 증가할 경우 중앙값은 감소하며, 특정 e값에 도달하는 경우 중앙값은 일정한 값을 가진다.

h-certain 인자가 고정되고 e값이 증가할 경우 좌우 스프레드의 간격은 증가하며, 증가폭은 e값이 커질수록 증

가한다. 좌우 spread 간격의 증가폭은 h-certain 인자보다 e값에 의한 변화가 더 크다.

4.2 Fuzzy 회귀분석기법을 이용한 설계홍수량 산정 일반식

본 연구에서는 총 9개 지점을 표본으로 선정하였고, 빈도 홍수량은 각 지점의 30년, 50년, 80년, 100년, 150년 빈도 홍수량을 이용하였다. e값은 h-certain 인자에 비해 중앙값에 미치는 영향이 작을 뿐 아니라 좌우 스프레드의 간격의 증가폭이 h-certain 인자에 비해 크므로 스프레드를

Table 5. Mode according to e value, Basin Area: 36.8 km², Bed Slope: 0.0155

h \ e	0.1			0.3			0.5		
	-	중앙값	+	-	중앙값	+	-	중앙값	+
0.1	-81.9	392.2	103.6	-137.9	394.9	211.9	-184.5	394.9	346.3
0.3	-93.0	388.0	122.3	-148.0	394.9	236.7	-192.8	394.9	376.6
0.5	-112.8	382.3	160.1	-163.7	394.9	279.6	-205.6	394.9	428.9
0.7	-154.7	378.0	261.9	-197.3	392.2	397.2	-233.3	394.9	569.9
0.9	-281.8	372.5	1158.2	-300.4	378.0	1462.4	-316.3	382.3	1830.7
h \ e	0.7			0.9					
	-	중앙값	+	-	중앙값	+			
0.1	-222.8	394.9	511.1	-253.9	394.9	710.8			
0.3	-229.4	394.9	547.4	-259.4	394.9	756.0			
0.5	-239.9	394.9	611.3	-268.0	394.9	834.1			
0.7	-262.6	394.9	783.6	-286.6	394.9	1044.5			
0.9	-331.4	388.0	2272.8	-344.1	392.2	2805.4			

Table 6. Spread according to e value, Basin Area: 56.1 km², Bed Slope: 0.0123

h \ e	0.1			0.3			0.5		
	-	중앙값	+	-	중앙값	+	-	중앙값	+
0.1	-98.5	427.5	127.9	-156.5	426.2	247.4	-205.4	426.2	396.6
0.3	-113.6	431.0	154.3	-169.3	426.2	280.9	-215.9	426.2	437.5
0.5	-139.9	432.7	206.8	-189.0	426.2	339.8	-232.0	426.2	509.4
0.7	-193.9	436.1	349.0	-231.8	427.5	506.2	-266.0	426.2	707.6
0.9	-347.5	437.8	1684.7	-361.7	436.1	2118.8	-371.8	432.7	2642.8
h \ e	0.7			0.9					
	-	중앙값	+	-	중앙값	+			
0.1	-245.6	426.2	579.5	-278.2	426.2	801.2			
0.3	-254.0	426.2	628.7	-285.2	426.2	862.3			
0.5	-267.2	426.2	716.5	-296.0	426.2	969.5			
0.7	-295.0	426.2	958.6	-318.8	426.2	1265.2			
0.9	-380.8	431.0	3271.1	-386.5	427.5	4027.3			

Table 7. α , β , γ for 30 Year Design Flood

h	e	A0	A1	A2	C0	C1	C2	α	β	γ
0.1	0.1	7.506	0.813	1.06	0	0.024	0	(1818.923, 0)	(0.813, 0.024)	(1.06, 0)
0.3		7.506	0.813	1.06		0.031		(1818.923, 0)	(0.813, 0.031)	(1.06, 0)
0.5		7.506	0.813	1.06		0.043		(1818.923, 0)	(0.813, 0.043)	(1.06, 0)
0.7		7.506	0.813	1.059		0.072		(1818.923, 0)	(0.813, 0.072)	(1.06, 0)

최소화하여 최적화를 도출하는 확률적 회귀분석모형에 적합하지 않다고 판단되어 0.1로 고정하였고, h-certain 인자도 증가할수록 스프레드를 증가시키므로 0.1부터 0.7까지

로 결정하였다. 각 빈도 홍수량별 h-certain 인자에 따라 회귀계수 α, β, γ 를 산정하면 다음과 같다.

Table 8. α , β , γ for 50 Year Design Flood

h	e	A0	A1	A2	C0	C1	C2	α	β	γ
0.1	0.1	7.761	0.803	1.074	0	0.03	0	(2347.251, 0)	(0.803, 0.03)	(1.074, 0)
0.3		7.761	0.803	1.074		0.038		(2347.251, 0)	(0.803, 0.038)	(1.074, 0)
0.5		7.761	0.803	1.074		0.054		(2347.251, 0)	(0.803, 0.054)	(1.074, 0)
0.7		7.761	0.803	1.073		0.089		(2347.251, 0)	(0.803, 0.089)	(1.073, 0)

Table 9. α , β , γ for 80 Year Design Flood

h	e	A0	A1	A2	C0	C1	C2	α	β	γ
0.1	0.1	7.797	0.792	1.045	0	0.034	0	(2433.291, 0)	(0.792, 0.034)	(1.045, 0)
0.3		7.797	0.792	1.045		0.043		(2433.291, 0)	(0.792, 0.043)	(1.045, 0)
0.5		7.797	0.792	1.045		0.061		(2433.291, 0)	(0.792, 0.061)	(1.045, 0)
0.7		7.797	0.792	1.045		0.101		(2433.291, 0)	(0.792, 0.101)	(1.045, 0)

Table 10. α , β , γ for 100 Year Design Flood

h	e	A0	A1	A2	C0	C1	C2	α	β	γ
0.1	0.1	8.19	0.806	1.133	0	0.036	0	(3604.722, 0)	(0.806, 0.036)	(1.133, 0)
0.3		8.19	0.806	1.133		0.046		(3604.722, 0)	(0.806, 0.046)	(1.133, 0)
0.5		8.19	0.806	1.133		0.064		(3604.722, 0)	(0.806, 0.064)	(1.133, 0)
0.7		8.19	0.806	1.132		0.107		(3604.722, 0)	(0.806, 0.107)	(1.133, 0)

Table 11. α , β , γ for 100 Year Design Flood

h	e	A0	A1	A2	C0	C1	C2	α	β	γ
0.1	0.1	8.193	0.805	1.109	0	0.035	0	(3615.553, 0)	(0.805, 0.035)	(1.109, 0)
0.3		8.193	0.805	1.109		0.044		(3615.553, 0)	(0.805, 0.044)	(1.109, 0)
0.5		8.193	0.805	1.109		0.062		(3615.553, 0)	(0.805, 0.062)	(1.109, 0)
0.7		8.193	0.805	1.109		0.104		(3615.553, 0)	(0.805, 0.104)	(1.109, 0)

Table 12. Actual and Estimated Frequency Floods for 30 Year

Actual Flood (m ³ /s)	Estimated Low Flood (m ³ /s)	Estimated Flood (m ³ /s)	Estimated High Flood (m ³ /s)
170	168.80	178.95	189.71
280	246.56	264.48	283.70
395	378.11	412.28	449.55
470	410.37	452.01	497.88
545	449.39	497.90	551.65
690	560.05	624.62	696.63
640	546.01	610.12	681.76
705	565.96	634.87	712.17
995	981.73	1122.61	1283.69

4.3 실제 빈도홍수량과 산정된 빈도홍수량의 비교

총 9개 지점의 실제 빈도홍수량을 fuzzy 회귀분석기법

으로 산정된 빈도홍수량 비교하면 다음과 같다. h-certain 인자와 e값이 0.1일 경우 스프레드가 최소값을 가지므로 해당하는 산정식에 적용하여 빈도홍수량을 산정하였다.

Table 13. Actual and Estimated Frequency Floods for 50 Year

Actual Flood (m ³ /s)	Estimated Low Flood (m ³ /s)	Estimated Flood (m ³ /s)	Estimated High Flood (m ³ /s)
200	198.43	213.46	229.63
330	287.70	314.06	342.85
465	436.06	485.87	541.37
555	468.72	528.91	596.83
645	510.74	580.56	659.92
820	633.90	726.54	832.71
755	616.56	708.34	813.79
835	636.76	735.11	848.65
1108	1090.23	1289.18	1524.42

Table 14. Actual and Estimated Frequency Floods for 80 Year

Actual Flood (m ³ /s)	Estimated Low Flood (m ³ /s)	Estimated Flood (m ³ /s)	Estimated High Flood (m ³ /s)
225	222.53	241.73	262.58
375	320.19	353.64	390.60
535	481.49	544.29	615.27
640	517.62	593.57	680.67
740	563.39	651.44	753.25
935	696.12	812.49	948.31
880	677.84	793.29	928.41
955	700.00	823.74	969.35
1214	1185.87	1433.95	1733.93

Table 15. Actual and Estimated Frequency Floods for 100 Year

Actual Flood (m ³ /s)	Estimated Low Flood (m ³ /s)	Estimated Flood (m ³ /s)	Estimated High Flood (m ³ /s)
240	237.58	259.34	283.08
400	343.64	381.78	424.14
570	516.24	587.79	669.26
680	546.30	631.53	730.06
785	591.34	689.62	804.24
1000	733.25	863.64	1017.22
935	709.47	838.02	989.88
1010	728.52	865.55	1028.35
1264	1237.83	1513.60	1850.81

다음 그림들은 관측 fuzzy 자료(실제 빈도홍수량)와 추정된 fuzzy 결과(산정된 빈도홍수량)를 통합하여 나타낸 것으로 h-certain 인자에 의해 조정된 관측 fuzzy 자료가 h-certain 인자에 의해 조정된 추정 fuzzy 결과 내에 포함되어 있는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 fuzzy 회귀분석기법을 이용하여 평창강 유역의 임의 지점에서 설계홍수량을 산정할 수 있는 방법을 개발하였다. 평창강 유역과 같은 산지하천 유역은 임의의 지점에서 홍수유출 해석 시 매개변수 추정에서 불확

Table 16. Actual and Estimated Frequency Floods for 150 Year

Actual Flood (m ³ /s)	Estimated Low Flood (m ³ /s)	Estimated Flood (m ³ /s)	Estimated High Flood (m ³ /s)
265	262.65	286.00	311.43
440	379.96	420.89	466.24
630	572.24	649.20	736.52
760	609.00	701.19	807.32
870	660.73	767.26	890.97
1105	819.23	960.54	1126.22
1035	794.25	933.84	1097.96
1120	817.27	966.36	1142.64
1420	1391.15	1691.60	2056.95

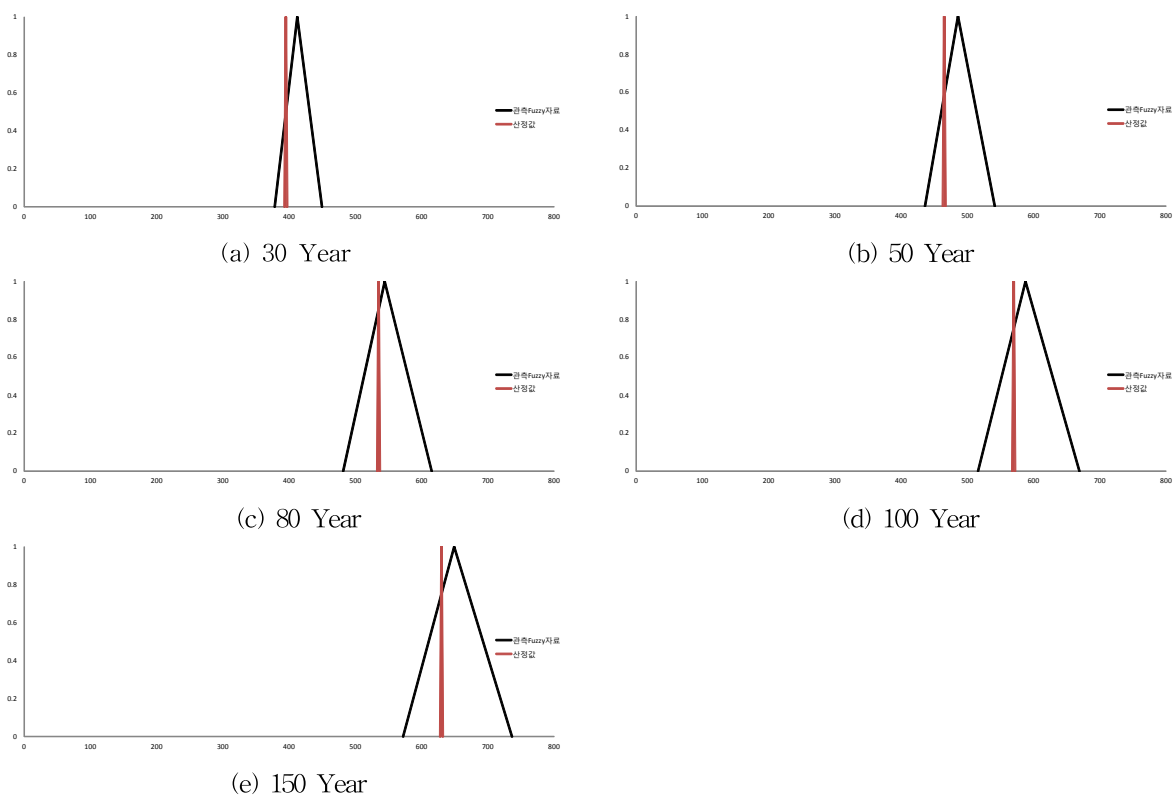


Fig. 10. Actual and Estimated Frequency Floods

실성을 정량화하기 어려운 등의 어려움이 있다. 평창강 유역에 대한 설계홍수량 산정식을 개발하기 위해 유역의 특징을 잘 나타낼 수 있으며 홍수량에 직접적으로 영향을 미치는 유역면적, 하천경사를 유역특성인자로 선정하여 지역회귀분석을 수행하였다. 평창강 유역을 9개 소유역으로 구분하고 유역 특성인자로 유역면적과 하도경사를 사용하였다. 또한 이러한 매개변수에 내재된 불확실성을 포함하고, 자료 부족을 극복하기 위해 지역회귀분석식을 fuzzy

회귀분석을 통해 산정하였다.

fuzzy 회귀분석모형은 자료들을 적절히 포함하는 조건 하에서 스프레드를 최소화함으로써 모형을 최적화하며, 선형계획법을 이용하여 모형의 매개변수들을 산정하였다. 또한 fuzzy 회귀분석에서 신뢰도의 정도를 나타내는 h-certain 인자를 변화시키면서 회귀계수를 산정하였다. h-certain 인자와 e값이 0.1일 경우 스프레드가 최소화될 것 같고, 이때의 빈도홍수량을 산정하였다. 산정 결과, h-

certain 인자에 의해 조정된 관측 fuzzy 자료가 h-certain 인자에 의해 조정된 추정 fuzzy 결과 내에 포함되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

fuzzy 회귀분석을 사용하여 지역회귀분석을 수행하고 빈도홍수량을 산정하는 기법을 이용한다면 자료 관측에서 발생하는 불확실성을 정량화하고, 불확실성의 전과를 파악할 수 있다. 또한 fuzzy 회귀분석을 통해 특정 h-certain 인자에 대한 불확실성에 대한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

강원도 (2008). 평창강하천기본계획보고서.
 박상덕, 신승숙 (2011). “산지하천 만곡수충부의 특성과 편수위 저감방안.” **물과 미래**, 한국수자원학회, 제44권, 제 11호, pp. 2430.
 Chen, H.W., and Chang, N.B. (2002). “A comparative analysis of methods to represent uncertainty in estimating the cost of constructing wastewater treatment plants.” *J. Environ. Manage*, Vol. 65, No. 4, pp. 383-409.
 Heshmaty, B., and Kandel, A. (1985). “Fuzzy Linear Regression and Its Applications to Forecasting in Uncertain Environment.” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 15, pp. 159-191.

Mousavi, S.J., Ponnambalam, K., and Karray, F. (2004). “Deriving reservoir operating rules via fuzzy regression and ANFIS.” *International Journal of Computing Anticipatory Systems*, Vol. 14, pp. 216-223.
 Shikasho, S., Tohara Y., and Hiramatsuh K. (1992). “Parameter identification of runoff model using fuzzy regression model (in Japanese).” *Appl. Hydrol.*, Vol. 4, No. 5, pp. 5-12.
 Sujono, J., Shikasho, S., and Hiramatsuh, K. (2003). “Vagueness ratio of storage function model parameters and its relation to the accuracy of hydrograph prediction.” *Paddy Water Environ*, Vol. 1, pp. 201-206.
 Tanaka, H, Uejima, S., and Asai, K. (1982). “Linear regression analysis with fuzzy model.” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 12, No. 6, pp. 903-907.
 Wen, C.G., and Lee, C.S. (1999). “Development of a cost function for wastewater treatment systems with fuzzy regression.” *Fuzzy Sets Syst*, Vol. 106, pp. 143-153.
 Westberg, I., Guerrero, J.-L., Seibert, J., Beven, K.J., and Halldin, S. (2011). “Stage-discharge uncertainty derived with a non-stationary rating curve in the Choluteca River, Honduras.” *Hydrological Processes*, Vol. 25, pp. 603- 613.
 Zahraie, B., and Hosseini, S.M. (2009). “Development of reservoir operation policies considering variable agricultural water demands.” *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 4980-4987.

논문번호: 12-051	접수: 2012.05.16
수정일자: 2012.07.12/07.17	심사완료: 2012.07.17