

수공구조물의 적정설계를 위한 유출모형 매개변수의 민감도 분석

Sensitivity Analysis of the Runoff Model Parameter for the Optimal Design of Hydrologic Structures

이정훈*, 김창성**, 김문모***, 여운광****

Jung Hoon Lee, Chang Sung Kim, Mun Mo Kim, Woon Kwang Yeo

요 지

현재 도시화로 인한 유출량의 증가 및 도달시간의 단축은 도시 재해의 한 원인이 되고 있으며 그에 따라 수공구조물에 대한 적정 설계가 필요하다. 하지만 계획단계에서부터 설계에 필요한 값을 예측하기는 매우 어려운 실정이다. 더구나 개발로 인해 매개변수가 변화함에 따라 유출 영향 분석이 어려울 뿐 아니라 이에 따른 연구가 미흡한 실정이기 때문에 모형매개변수의 민감도 분석을 통해 유출영향 분석 및 수공구조물 적정설계의 중요 기반자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 민감도 분석방법 중 절대 및 상대 민감도 분석 방법을 사용하여 각 유역의 지형학적 수문학적 매개변수들의 민감도 분석을 통해 상관관계를 확인하였다. 특히 대표적인 매개변수로서 유출계수 CN의 변화에 따른 유출량 및 유출 용적의 관계를 통해 CN의 증감에 따른 유출량 및 유출용적의 변화량을 산정하고, 또한 각 매개변수들간의 회귀분석을 통해 경험식을 작성, 제안하였다. 한편 현재 국내에서 사용중인 HEC-HMS를 모의하여 매개변수의 민감도 분석을 실시하였다. 본 연구의 결과로 CN값이 개발 전후 5% 증가시 유출량은 약 10%정도 증가한다는 것을 HEC-HMS모의와 자료의 분석을 통해 확인 할 수 있었다. 본 연구의 결과에 대해 검토 및 추가적인 자료수집을 통한 분석이 이루어지고, 매개변수 민감도 분석을 통한 국내 실정에 맞는 매개변수도출을 위한 연구가 계속적으로 수행된다면 미계측 유역에 대한 수공구조물의 적정설계에 상당부분 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 민감도 분석, 모형 매개변수, 유출계수, CN, 첨두유출량, 유출용적, 민감도비율

1. 서 론

유역에 개발이 이루어져 토지이용이 고도화되고 나면, 우수지의 확보, 우·오수관거의 제공사, 우수저류시설 확보 등과 같은 치수대책과 도시하천의 건천화방지, 쾌적한 주거환경의 제공 등과 같은 이수대책을 계획하기 어렵다. 따라서 개발시 유역의 치수 및 이수대책에 필요한 기본 수문자료의 획득은 무엇보다 우선해서 이루어져야 한다. 그러나 우리나라의 개발과정은 아쉽게도 그렇지 못해왔다. 유역의 개발이 토지의 효율적 이용과 편익에만 급급하여 개발로 인해 변화될 주변환경 및 수문현상에 대해서는 심각한 주의를 기울이지 않아 이에 대한 대책이 미비한 실정이다. 즉 유역의 개발로 인한 유출량의 증가 및 도달시간의 단축은 도시재해의 한 원인이 되고 있으며 그에

* 유량조사사업단 유량조사실 연구원 E-mail : ljh0817@kict.re.kr
** 명지대학교 토목환경공학과 박사과정 E-mail : csckim@mju.ac.kr
*** 신구대학 공간디자인학부 건설정보과 교수 E-mail : munm0310@shingu.ac.kr
**** 명지대학교 토목환경공학과 교수 E-mail : yeo@mju.ac.kr

따른 치수 및 이수 구조물의 적절한 설계가 필요하지만 계획단계에서부터 적절한 값을 예측하기는 어려울 뿐 만 아니라 개발로 인해 변화하는 수문 매개변수들에 대한 연구가 미흡한 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 개발에 따른 수문 매개변수의 변화를 살펴보고 각 매개변수들간의 민감도 분석을 통해 유출영향 분석 및 수공구조물 적정설계의 중요 기반 자료로 활용하고 또한 미계측 유역에서 유출량을 계산할 수 있도록 회귀분석을 통한 적정 식을 제시하고자 한다.

2. 민감도 분석 방법

민감도분석방법을 분류하면 매개변수민감도와 성분민감도 및 절대민감도와 상대민감도 등이 있으며, 이러한 민감도분석을 이용하여 모형의 상대적 수행능력을 알 수 있다. 특히, 모형의 매개변수민감도는 모형구조의 정량적 지표와 유역의 수문반응을 나타내기 위한 모형능력의 지표로 사용될 수 있다. 즉, 민감도분석에 의한 평가로 모형의 제한사항 및 모형 적용시 고려사항 파악과 예측치의 결과에 대한 합리성의 판단기준을 제공한다. 또한 민감도분석을 통하여 오차분석을 실시하여 의사결정에 사용되기도 한다.

본 연구에 사용된 매개변수의 절대민감도 및 상대민감도의 내용을 간단히 정리하면 다음과 같다.

2.1 절대민감도와 상대민감도

민감도는 절대민감도와 상대민감도로 나눌 수 있다. 식 (2.1)의 정의에 의하여 계산된 민감도값은 절대민감도이다. 이와 같은 정의는 식 (2.1)을 이용하여 계산된 값들은 F_0 또는 F_i 의 어느 한 요인의 크기에 따라 일정하지 않기 때문에 민감도값의 비교에 적절하지 못하다. 그러나 일반식의 분자를 F_0 로, 분모를 F_i 로 각각 나누면 F_i 의 상대적 변화에 대한 F_0 의 상대적 변화를 식 (2.2)와 같이 추정할 수 있다.

$$S_{P_i} = \frac{\partial \Phi}{\partial P_i} = \frac{f(P_i + \Delta P_i, P_j, j \neq i) - f(P_1, P_2, \dots, P_n)}{\Delta P_i} \quad (2.1)$$

$$R_s = \frac{\partial F_0 / F_0}{\partial F_i / F_i} = \frac{\partial F_0}{\partial F_i} \frac{F_i}{F_0} \quad (2.2)$$

상대민감도값은 F_0 와 F_i 의 크기에 따라 일정하기 때문에 민감도비교를 위한 유용한 수단을 제공한다.

3. 유출모형의 매개변수 선정

현재 국내의 경우에는 개발에 따른 수문량의 변화 관측이 지속적으로 이루어지고 있는 경우가 극히 적고, 모니터링이 이루어지고 있는 지역도 수문 변화를 분석하기 위한 실적자료의 획득이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2003년 이후부터 2006년 말까지 작성된 재해영향평가서(소방방재청) 62건을 바탕으로 본 연구에 필요한 매개변수들을 추출하였다. 연구에 사용된 62건의 개발사업에 대한 재해영향 평가서를 기본으로 각 개발지역에 대해 지형학적 매개변수로는 면적, 유로연장, 유역경사 등의 자료를 수집하고,

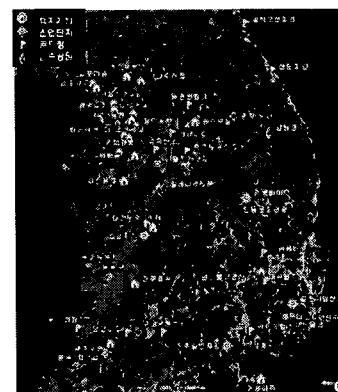


그림 2. 선정지역 위치도

수문학적 매개변수로는 총강우량, 유효강우량, CN, 강우강도, 임계지속시간, 도달시간, 침투유출량, 유출용적 등에 대한 자료를 수집하여 분석 자료로 활용하였다. 분석대상으로 결정한 매개변수들과 선정된 지역은 그림2에서 볼 수 있다.

4. 매개변수 상관성 및 모형 민감도 분석 결과

본 연구에서는 앞서 조사한 자료를 바탕으로 각 매개변수의 관계를 알아보기 위한 각 매개변수간의 분석을 실시하였다. 각 매개변수들 간의 유출특성을 확인하기 위해 먼저 개발전의 조사 자료를 바탕으로 분석을 실시하여 각 매개변수 사이의 관계를 알아보고, 최종적으로 CN값의 변화에 따라 유출 변화의 특성을 파악하기 위해 개발전-후의 자료를 가지고 무차원화시켜 비율을 계산함으로써 변수의 변화에 따라 유출특성 변화를 쉽게 확인할 수 있게 하였다.

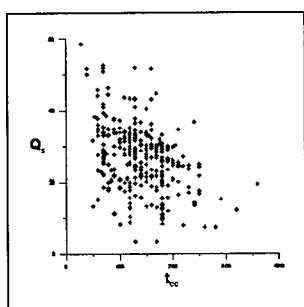


그림 3. 비유량
-임계지속시간 관계비교

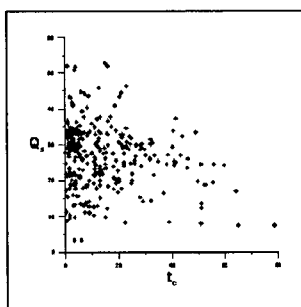


그림 4. 비유량
-도달시간 관계비교

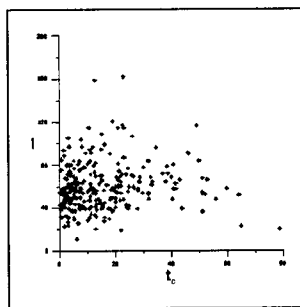


그림 5. 강우강도
-도달시간 관계비교

분석결과 위 그림 3~5에서 확인 할 수 있는 것과 같이 많은 경우에 각 매개변수들간의 관계에 있어서 일관성을 찾기 어렵고 또한 편차가 심하게 나타났음을 확인 할 수 있다. 이는 수문학적 불확실성이 가장 큰 이유이고, 각 매개변수의 편차가 계산하는 사람에 따라 생길 수 있는 즉 주관적인 경향이 크게 나타나며, 계산하는 여러 공식 중에 특별한 가이드라인 없이 최대값을 취하는 공식을 택하는 문제점, 계산된 값이 정확하게 맞는지에 대한 사후 검정 및 평가가 미비되어 있기 때문에 위 그림 3~5와 같은 결과가 나타나는 것으로 판단된다.

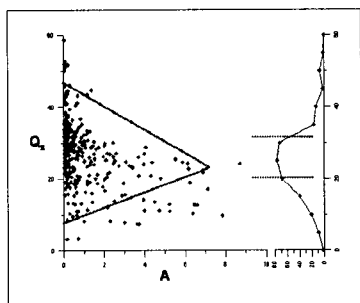


그림 6. 비유량-면적
관계비교

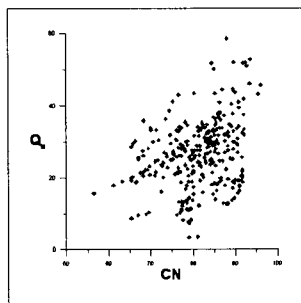


그림 7. 비유량-CN
관계비교

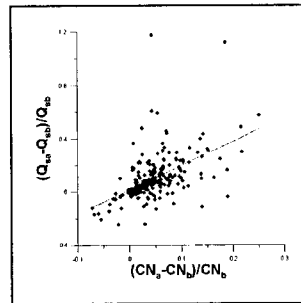


그림 8. 비유량-CN
(무차원화)

비유량은 침투유출을 면적으로 나눈 값으로 유출에 가장 크게 작용하는 면적을 나눔으로써 단위면적당 유출량을 확인 할 수 있는 변수이다. 일반적으로 비유량의 평균값은 25~35 사이에 값을 가진다. 유역 면적이 증가하면 비유량이 감소하는 형태임을 그림 6에서 확인 할 수 있고, 소유역에서 비유량의 편차가 크다는 것도 확인 할 수 있다.

비유량과 선행도양지수인 CN(AMC-III)과의 관계도 앞서 분석한 다른 매개변수들과 마찬가지로 일관성이 적고 편차가 심하게 나타났다. 단위면적당 유출량인 비유량이 같은 CN값을 가질 경우 최대 8배이상의 편차가 나타남을 그림 7을 통해 확인 할 수 있다.

그림 8은 개발후의 값을 개발전의 값으로 빼고 다시 개발전의 값으로 나누어서 각각의 비유량과 CN을 무차원화 시켜 그린 그림으로 앞서 비교 분석한 결과보다 일관성은 찾을 수 있으나 편차도 또한 작아졌다. 분석결과 개발전후로 CN이 약 10% 정도 증가할 때, 비유량은 약 20% 증가함을 확인 할 수 있다.

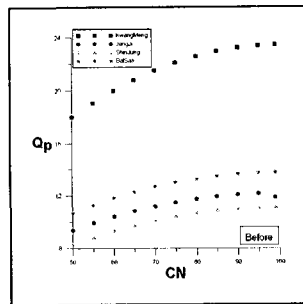


그림 9.
첨두유량-CN(개발전)

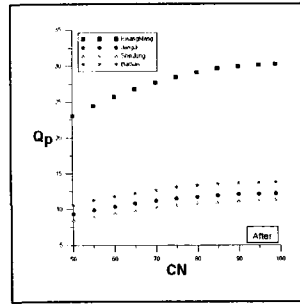


그림 10.
첨두유량-CN(개발후)

위 그림 9, 10은 각 지역의 개발전후에 대한 HEC-HMS의 모의 결과이다. 각 지역에 따라 유출량의 차이는 있지만 전체적으로 CN이 증가할수록 유출량도 같이 증가하는 것을 개발 전후 그래프에서 확인 할 수 있다. 또한 개발전에 비해 개발후의 유출량의 증가가 CN이 증가할수록 커진다는 것 즉, 개발전에 비해 개발후의 그래프의 기울기가 크다는 것도 확인 할 수 있다. 또한 개발 전후를 비교해본 결과 앞서 비유량과 CN을 개발전후로 무차원화 시킨 자료의 분석결과와 같은 CN이 약 10% 증가하면 첨두유량도 약 20% 증가함을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 현재 법령 등을 통해 실시중인 재해영향평가를 바탕으로 분석을 실시하였다. 그 결과 수문 매개변수의 주관적인 적용으로 인하여 유출량 산정에 미치는 영향이 분석결과 상당히 큰 것으로 나타났다. 이에 주관적인 적용을 막기 위한 가이드라인의 제시가 필요하다고 판단된다. 또한, 유출량 계산 시 가장 중요한 변수중 하나인 도달시간 산정에 있어서 합리적인 방법을 통한 산정이 필요하다. 즉 현재 사용하고 있는 공식들은 외국의 사례에 맞는 경험 공식으로 국내 상황과는 맞지 않는 부분이 상당수 존재하고 있다. 따라서 본 연구의 결과로 회귀분석을 통한 도달시간과 유출량에 관한 식을 제안하면 다음 식 5.1, 5.2와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_c = L^{0.749} / S^{0.622} \quad (5.1)$$

$$Q_p = 0.393A^{0.85} R^{0.56} \quad (5.2)$$

여기서, t_c : 도달시간(min),
 S : 유역경사,
 A : 유역면적(km²),

L : 유로연장(km)
 Q_p : 첨두유량(m³/s)
 R : 1일강우량(mm)

매개변수를 분석한 결과 개발 전후에 CN값이 5% 증가시 비유량이 10% , 도시유출모형인 HEC-HMS 모의 결과도 앞서 실시한 분석의 결과와 마찬가지로 개발전후 CN값이 5% 증가하면 유출량이 10% 증가하는 것으로 나타났다.

마지막으로 이러한 결과들에 대한 검 보정 및 추가적인 자료수집을 통한 분석이 이루어지고, 매개변수 민감도 분석을 통한 국내 실정에 맞는 매개변수도출을 위한 연구가 계속적으로 수행된다면 미계측 유역에 대한 수공구조물의 적정설계에 상당부분 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 IHP 사업의 연구비 지원(과제명 : 대규모 택지개발 등으로 인한 유출변화 특성 및 유출저감 방법에 대한 연구)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 내무부(행정자치부, 소방방재청)(2000~2006). 각종 개발사업 재해영향평가서.
2. 서규우, 배덕효, 심재현, 이재준(1996b). "유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구." 한국수자원학회지, 제29권, 제3호, pp. 207-216
3. 서규우, 허준행, 조원철(1996c). "도시화에 따른 유출영향분석 및 침수저감대책에 관한 연구." 대한토목학회 논문집, 제16권, 제II-5호, pp. 421-431.
4. 서규우, 허준행, 조원철, (1997). "도시하천유역 저지대 택지개발로 인한 침수영향분석." 대한토목학회 논문집, 제17권, 제II-2호, pp. 137-146.
5. 서규우(1998). "도시유출모형의 매개변수 결정을 위한 민감도 분석 연구" 연세대학교 대학원 박사학위논문.
6. 서규우, 조원철(1998). "유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석(I) -민감도 분석방법의 개발-" 한국수자원학회논문집, 제31권 제3호, pp. 243-252.
7. 서규우, 허준행(1998). "유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석(II) -모형의 검정 및 적용-" 한국수자원학회논문집, 제31권 제3호, pp. 253-267.
8. 윤여진(1998). "설계홍수량에 미치는 매개변수 민감도 분석: 자연유역을 중심으로" 한국수자원학회논문집, 제31권 제6호, pp. 695-708.
9. McCuen, R. H. (1973). "The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling." Journal of Hydrology, Vol. 18, pp. 37-53.