

강우자료의 확률분포함수를 이용한 강우강도식의 이론적 유도

Theoretical Derivation of IDF curve Using Probability Distribution Function of Rainfall Data

김규태*, 김수영**, 김태순***, 허준행****

Kewtae Kim, Sooyoung Kim, Taesoon Kim, Jun-Haeng Heo

요 지

수공구조물의 설계를 위해서 주로 사용되는 강우강도식은 연최대치 강우자료를 이용하여 빈도별 혹은 지속기간별 확률강우량을 구한 후 이 값들을 선형 혹은 비선형식의 형태로 회귀분석하여 구하게 된다. 그러나, 이와 같이 회귀분석을 이용하여 추정된 강우강도식은 원래의 강우자료가 가지고 있는 확률적인 특성을 재현한다고 하기는 어렵기 때문에, 본 연구에서는 연최대치 강우자료에 대한 적정 확률분포형으로부터 직접 강우강도식을 유도하는 방법을 적용하여 대상지역 강우강도식의 매개변수를 산정하였다. 선정된 적정 확률분포형을 이용하여 강우강도식의 매개변수를 추정하는데 있어서, 평균제곱오차의 제곱근을 최소화하는 형태의 목적함수를 구성한 후 유전자알고리즘을 이용하여 적절한 매개변수를 산정하였다. 산정된 매개변수를 사용한 강우강도식으로 구한 결과값과 기존의 강우강도식에 의한 결과값 그리고 지점빈도해석에 의한 결과값을 비교하여 본 연구에서 산정된 강우강도식의 적용성을 평가해 보았다.

핵심용어 : 강우강도-지속기간-발생빈도, 강우강도식, 적정 확률분포형, 유전자 알고리즘

1. 서 론

강우강도식은 연최대치 강우자료를 이용하여 빈도별 혹은 지속기간별 확률강우량을 구한 후, 이 값을 선형 혹은 비선형 회귀분석하여 추정해 왔다. 그러나, 이와 같은 방법으로 추정된 강우강도식은 단순히 확률강우량 자료를 회귀분석하기 때문에 원래의 강우자료가 가지는 확률적인 특성을 반영하기에는 무리가 따른다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같이 기존 강우강도식의 유도과정이 가지는 이론적인 단점을 개선하기 위해 Koutsoyiannis et al.(1998)이 제시한 방법론을 적용하여 연최대치 강우자료에 대한 적정 확률분포형을 직접 이용한 강우강도식을 제시하였다. 또한, 적정 확률분포형으로부터 강우강도식을 유도할 때 사용되는 매개변수를 보다 쉽게 산정할 수 있도록 유전자알고리즘을 사용하였다.

2. 기본이론

2.1 IDF-curve

강우강도(Rainfall Intensity), 지속기간(Duration), 발생빈도(Frequency)사이의 관계를 구성하여 나타내는 것이 IDF(Intensity-Duration-Frequency)-curve이며, 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$i = f(T, d) \quad (1)$$

* 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail: oruback@yonsei.ac.kr

** 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail: sykim79@yonsei.ac.kr

*** 정회원 · 세종대학교 토목공학과 BK21 교수 · 공학박사 · E-mail: chaucer@yonsei.ac.kr

**** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수 · E-mail: jhheo@yonsei.ac.kr

여기에서 i 는 강우강도(mm/hr)이며 재현기간 $T(\text{year})$ 과 지속기간 $d(\text{hr})$ 의 함수로 표현할 수 있고, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (2)$$

여기서, 식 (2)는 i 에서 d 와 T 의 함수의 종속성을 분리하여 $a(T)$ 와 $b(d)$ 의 분리된 방정식으로 구성할 수 있는 이점이 있다. 함수 $a(T)$, $b(d)$ 에 대해서 Koutsoyiannis et al.(1998)은 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$b(d) = (d+\theta)^\eta \quad (3)$$

$$y_T \equiv a(T) = \lambda \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

여기서, 식 (3)의 θ 와 η 는 지속시간에 관련된 매개변수이고, 식 (4)의 λ , ψ 는 각 확률분포함수에 따른 매개변수이다. 또한, 식 (4)는 Gumbel 분포인 경우의 함수 $a(T)$ 를 나타낸 것으로서 Gumbel 누가분포함수 (Cumulative Distribution Function, CDF)이다(Koutsoyiannis et al., 1998).

2.2 매개변수 추정방법

본 연구에서 적용한 강우강도식의 매개변수 추정방법은 one step least square method로서, Koutsoyiannis et al.(1998)이 제안한 방법이다. One step least square method에 의한 매개변수 추정 절차는 다음과 같다. 먼저 관측된 강우강도 자료를 지속기간 별로 오름차순 정렬하고, 두 번째로 Gringorten 도시위치공식(Chow, 1964)을 이용하여 재현기간(T_{ij}) 값을 구하며 식은 다음과 같다.

$$T_{ij} = \frac{n_j + 0.12}{l - 0.44} \quad (5)$$

여기서, n_j 는 지속기간별 자료의 개수를 말하며, l 은 자료의 시작 년도부터 마지막 년도까지의 순번을 말한다. 세 번째 단계는 구한 값을 자료의 적정 확률분포형에 해당하는 강우강도식에 대입하여 추정치 강우강도(\hat{i}_{lj})를 구하는 단계이며 다음과 같다.

$$\hat{i}_{lj} = \frac{a(T_{jl})}{b(d_j)} = \lambda \frac{\psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_{lj}} \right) \right]}{(d_j + \theta)^\eta} \quad (6)$$

여기서, \hat{i}_{lj} 는 추정된 강우강도 값이며, θ 와 η 는 지속시간과 관련된 매개변수이고, λ , ψ 는 확률분포함수에 따른 매개변수이다. 위의 식 (6)은 적정 확률분포형이 Gumbel 분포형 일 때의 식으로써 Koutsoyiannis et al.(1998)가 제안한 것이다. 마지막 단계로 관측한 강우강도와 추정된 강우강도의 평균제곱오차(e^2)를 구하여 제곱근(e)이 최소가 될 때의 매개변수(η , θ , λ , ψ)를 시산법(trial and error)으로 구하는 방법이며, 그에 관한 식은 다음과 같다.

$$e_{jl} = \ln i_{jl} - \ln \hat{i}_{jl} = \ln (\ln i_{jl} / \ln \hat{i}_{jl}) \quad (7)$$

$$e^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{1}{n_j} \sum_{l=1}^{n_j} e_{jl}^2 \quad (8)$$

$$\text{minimize } e = f_2(\eta, \theta, \lambda, \psi, \dots) \quad (9)$$

여기서, 식 (7)의 e_{jl} 은 j 번째 재현기간의 l 번째 년도에서 구한 관측치 강우강도(i_{jl})와 추정치 강우강도(\hat{i}_{lj})의 차이를 말한다. 식 (8)의 k 는 재현기간의 총 개수를 말한다.

2.3 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)

유전자 알고리즘은 자연선택의 법칙인 자연진화 이론으로부터 나온 탐색기법으로 Darwin의 적자생존이론에 바탕을 둔 진화이론의 한 방법이다. 즉 생명체의 자연선택을 기계적인 학습영역에 적용한 탐색 알고리즘으로써 생물체의 유전이나 진화과정을 모방하여 최적화 모형에 적용하는 추계학적인 탐색모형이며 Holland(1975)에 의해 최초로 제안되었다. 본 연구에서는 매개변수 추정시 시산법(trial and error)을 사용하는 대신 유전자 알고리즘을 사용하여 보다 쉽게 매개변수를 추정하였다.

3. 강우강도식 유도

본 연구에서는 기상청 지점 중 자료 기간이 비교적 길고 결측년 수가 적은 지점인 부산을 선택하였다. 부산 지점은 1942년부터 2003년까지 61개 자료와 1개의 결측치를 가지고 있으며, 10개의 지속기간(1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 48 시간)으로 구성되어 있다. 건설교통부(2000)에서는 1999년까지의 기상청자료를 이용하여 부산의 적정 확률분포형을 Gumbel 분포형으로 제시하였다. 본 연구에서도 1999년까지의 기상청자료를 이용하였고, Gumbel 분포로 적용하여 강우강도식을 유도해 내어, 방법론의 적용성을 검토해 보았다.

Gumbel 분포형인 경우 식 (6)를 적용하고, 매개변수 추정은 one step least square method를 이용한다. 매개변수 추정 시 유전자 알고리즘을 이용하였으며, 식 (6)을 목적함수로 하여 제곱근(e)이 최소가 될 때의 매개변수(η , θ , λ , ψ)를 한 번에 찾아내었다. 그 결과 1999년까지의 강우자료에 대한 부산지역의 강우강도식은 다음과 같다.

$$i = 38.194 \frac{2.0035 - \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]}{(d + 1.882)^{0.8409}} \quad (10)$$

여기서, T 는 재현기간(year)이고, d 는 지속기간(hr)이다. One step least square method로 구한 식 (10)과 기존에 제시된 통합형식(이원환, 1980), 이원환식(이원환, 1993), 허준행식(건설교통부, 2000)을 빈도해석프로그램인 FARD2006를 통해 얻은 지점빈도해석 결과에 비교해 본 결과는 다음과 같다.

표 1. 부산지역 회귀계수값 비교표

복합형		이원환식		허준행식		ONE STEP	
RMSE	결정계수	RMSE	결정계수	RMSE	결정계수	RMSE	결정계수
5.8993	0.9437	3.9621	0.9746	1.5403	0.9962	2.8758	0.9866

검토 결과 표 1에서 one step least square method에 의한 강우강도식은 결정계수 0.9866으로 비교적 높고, RMSE는 2.8758로 비교적 작아 통합형식, 이원환식 보다 높고, 허준행식 보다 낮은 정확도를 보임을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 다음 그림 1을 통해서 확인할 수 있다. 그림 1은 1999년 자료에 대한 FARD2006를 이용한 지점빈도해석 결과와 각 강우강도식, 그리고 one step least square method를 이용하여 산정한 강우강도를 비교한 것이다. 그래프에서 보이는 것과 같이 유도한 결과가 지점빈도해석을 수행한 결과의 IDF-curve와 잘 일치함을 알 수 있다. 이와 같은 결과가 나온 것으로 보아 one step least square method로 구한 강우강도식이 적용 가능하다고 판단된다.

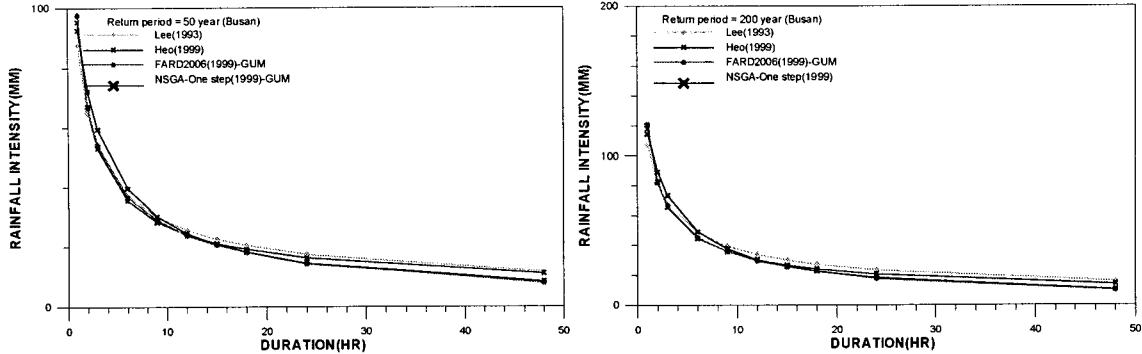


그림 1. IDF-curve 비교 (1999년까지 자료)

지금까지의 결과를 근거로 하여 2003년까지의 기상청자료를 추가로 구축하고 그에 대해 유도한 부산지역의 새로운 강우강도식은 다음과 같다.

$$i = 38.387 \frac{2.0427 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + 1.9095)^{0.8459}} \quad (11)$$

4. 결 론

본 연구에서는 Koutsoyiannis et al.(1998)이 제안한 이론적인 유도방법을 통하여 강우강도식을 유도하고, one step least square method의 평균제곱오차 제곱근을 목적함수로 한 유전자 알고리즘을 이용하여 매개변수를 산정하였다. 지점빈도해석 한 결과와 유도한 결과, 실무에서 범용적으로 쓰이는 통합형식, 이원환식, 허준행식 사이의 RMSE, 결정계수를 구하여 정확도를 비교해 보았다. 그 결과 유도한 강우강도식이 통합형식, 이원환식 보다는 높고, 허준행식 보다 낮은 정확도를 보였고, IDF-curve를 도시하여 확인해 본 결과 유도한 강우강도식이 지점빈도해석결과와 잘 일치함을 보여 Koutsoyiannis et al.(1998)이 제안한 방법이 적용 가능함을 알 수 있었다. 이를 토대로 2003년까지의 기상청자료를 이용하여 적용 가능한 부산지역의 강우강도식을 제안하였다.

감 사 의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문헌

1. 건설교통부(2000), 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제1권 한국확률강우량도 작성.
2. 이원환(1980). 도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석, 대한토목학회지, 대한토목학회, 제28권, 제4호, pp. 81-93.
3. 이원환, 박상덕, 최성열(1993), 한국 대표확률강우강도식의 유도, 대한토목학회, 제13권 제1호, pp. 115-120
4. Chow, V.T.,(1964). Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill, New york.
5. Holland, J. H. (1975), Adaptation in natural and artificial systems, University of Michigan Press.
6. Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., and Manetas, A.(1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, J. of Hydrology, 206, 118-135.