지구통계학적 기법을 이용한 설계호우깊이 공간분석

Spatial analysis of Design storm depth using Geostatistical

안상진*, 이종형**, 윤석환***, 곽현구****
Sang Jin Ahn, Hyeong Jong Lee, Seok Hwan Yoon, Hyun Goo Kwark

Abstract

The design storm is a crucial element in urban drainage design and hydrological modeling. The total rainfall depth of a design storm is usually estimated by hydrological frequency analysis using historic rainfall records. The different geostatistical approaches (ordinary kriging, universal kriging) have been used as estimators and their results are compared and discussed. Variogram parameters, the sill , nugget effect and influence range, are analysis. Kriging method was applied for developing contour maps of design storm depths in bocheong stream basin. Effect to utilize weather radar data and grid-based basin model on the spatial variation characteristics of storm requires further study.

Key words : Geoststistical, Kriging, Spatial variation

1. 서 론

강우현상의 공간적 변동성에 대한 해석은 수자원 계획 및 관리의 중요한 관심사이며, 수문변수의 공간적 변동 해석은 한정된 범위의 관측자료로부터 미계측 지점 및 유역평균강우량을 추정하는데 필요하다. 이러한 분석들은 물수지, 강우-유출 분석을 통한 홍수예보, 그리고 수문 관측망 설계 등과 같은 다양한 수문학적 연구에 응용되고 있다. 홍수량은 면적우량에 의해 계산되어야 하지만 관측되는 것은 점 강우량이므로 면적강우량을 측정하는 것과 같은 효과를 나타낼 수 있는 격자망으로 구성된 강우자료를 통한 유출 해석의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 공간강우분포 특성 및 유역 공간강우량을 산정하기 위해 우수성이 증명된 바 있는 지구통계학(Geostatistics) 기법중 크리깅 기법을 이용하여 이를 이용한 결측치 보완 및 미계측 지점의 설계 호우를 결정하는데 있어서의 공간함수의 유형 및 매개변수를 산정하였다. 또한 공간상관도 및 반분산도의 결과로부터 대상유역의 격자시스템에 대한 크리깅 분석을 수행하여 격자기반 공간강우량을 산정하고자 한다.

* 정회원・충북대학교 토목공학과 교수・E-mail : hydrosys@trut.chungbuk.ac.kr
** 정회원・천안공업대학 토목과 교수・E-mail : jhlee@cntc.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 토목공학과 박사과정수료・E-mail : yun4918@empal.com
**** 정회원・충북대학교 토목공학과 박사과정・E-mail : hgmook@empal.com

2. Kriging 이론

2.1 Variogram

Kriging 기법은 자료를 추정하는데 있어서 경험적(experimental) 베리오그램과 이론적(theoretical) 베리오그램은 중요한 역할을 한다. 경험적 베리오그램은 실제 물리량을 거리의 상관성으로 나타내어준 것이며 이론적 베이오그램은 경험적 베리오그램을 이상적 형태의 함수에 적합시켜 수학적으로 취급하기 용이하도록 나타낸 것이다.

베리오그램은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도로서 식(1)과 같이 정의된다.

$$2\gamma(h) = E[(z(x) - z(x+h))^2] \tag{1}$$

여기서, h는 두 자료간에 떨어져 있는 거리이다.

식(1)에서 알 수 있듯이 베리오그램은 일정거리 h만큼 떨어진 두 자료들 간의 차이를 제곱한 것의 기대값이다. 따라서 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타나는 것이 일반적 경향이다.

표 1은 본 연구에서 이용된 이론적 함수의 유형을 나타내고 있다.

표 1. 이론적 반베리오그램 함수의 유형

Model type	Formula
구형모델(spherical model)	$\gamma(h) = C_0 Sph_a(h) = \begin{cases} C_0\left[1.5(\frac{h}{a}) - 0.5(\frac{h}{a})^3\right], & h \leq a \\ C_0, & h > a \end{cases}$
지수모델(exponential model)	$\gamma(h) = C_0 Exp_a(h) = C_0\left[1 - \exp(-\frac{3h}{a})\right]$

2.2 Kriging

Kriging 방법은 미지점을 주변관측점들의 가중 선형 조합으로 그 값을 예측하는 방법이며 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z_i \tag{2}$$

여기서, Z^*는 위치가 알려진 지점에서 크리깅을 이용한 예측치, z_i는 이미 알고 있는 위치와 관측값을 알고 있는 주위의 점이고, λ_i는 사용된 주위의 각 자료의 가중치이며, n은 크리깅 예측을 위해 사용된 자료의 총수이다.

본 연구에서는 정규크리깅과 일반크리깅의 방법을 적용하였으며 일반크리깅은 공간적으로 변화하거나 특정한 경향을 갖는 평균을 제거하지 않고 크리깅 가중치를 계산할 때 이를 고려하여 자료 분포의 불변성을 가정하지 아니한 크리깅 방법이며, 단순 크리깅은 오차분산을 최소로 하는 가중치를 구하기 위하여 주위의 알려진 값들의 선형조합으로 미지의 값을 예측하는 기법이다. 하지만 단순 크리깅 추정식은 편향되어 있어 추정식의 평균이 모집단의 평균과 일치하지 않는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위해 크리깅 추정식이 편향되지 않으면서 오차분산을 최소로 하는 경우

의 크리깅을 정규크리깅(ordinary kriging, OK)이라 한다.

식 (3)은 본 연구에서 사용한 정규크리깅의 방정식이며 이를 행렬방정식으로 표현하면 식(4)와 같은 방정식을 얻게 된다.

$$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\sigma_{il}^2-\omega=\sigma_{0l}^2 \quad , \quad l=1,2,\cdots,n$$

$$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1 \tag{3}$$

$$\begin{pmatrix}\sigma_{11}^2 & \sigma_{12}^2 & \cdots & \sigma_{1n}^2 & -1\\ \sigma_{21}^2 & \sigma_{22}^2 & \cdots & \sigma_{2n}^2 & -1\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ \sigma_{n1}^2 & \sigma_{n2}^2 & \cdots & \sigma_{nn}^2 & -1\\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\lambda_1\\ \lambda_2\\ \cdots\\ \lambda_n\\ \omega\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\sigma_{01}^2\\ \sigma_{02}^2\\ \cdots\\ \sigma_{0n}^2\\ 1\end{pmatrix} \tag{4}$$

3. 대상유역 및 적용절차

본 연구의 대상유역은 국내의 여러 유역 중 수문자료의 계측기간이 오래되었고, 관리가 비교적 양호한 유역인 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 보청천 유역을 연구 대상유역으로 선정하였다. 보청천 유역은 금강수계의 동부에 위치하고 있으며 유역면적은 476.5km^2, 하천연장 49km의 중소유역으로, 건설교통부에서 설치한 12개의 우량관측소와 5개의 수위관측소가 설치되어 자료의 습득이 용이하고 결측자료의 보완이 잘 이루어져 있는 곳이다. 자기우량관측소에 대한 정보는 표 2와 같다

표 2 우량관측소 정보

Gauging Station	Height Above M.S.L(m)	Location	
		Longitude	Latitude
No.1 묘금	140.0	127°44′05″	36°16′25″
No.2 청산	120.0	127°47′45″	36°20′40″
No.3 능월	180.0	127°44′09″	36°22′15″
No.4 증눌	180.0	127°52′42″	36°23′48″
No.5 관기	160.0	127°49′24″	36°25′59″
No.6 평온	200.0	127°54′05″	36°26′43″
No.7 삼가	380.0	127°51′44″	36°29′21″
No.8 송죽	130.0	127°44′13″	36°26′08″
No.9 삼산	150.0	127°43′07″	36°28′58″
No.10 동정	210.0	127°40′00″	36°28′16″
No.11 이원	220.0	127°40′47″	36°32′26″
No.12 안내	80.0	127°39′52″	36°33′29″

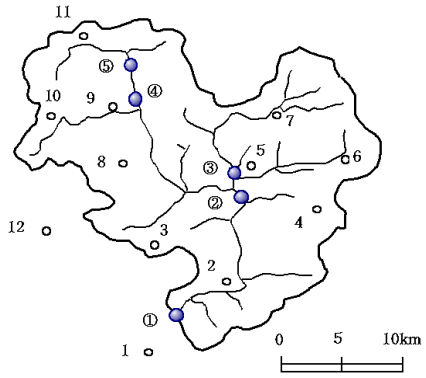


그림 1. 우량관측소 현황

보청천 유역의 공간적 강우특성, 즉 강우 관측소간의 거리에 따른 강우량의 상관성 및 공간 강우량 추정오차를 분석하기 위해 12개 우량관측소로부터의 자료를 수집하여 확률강우량을 산정하였다. 산정된 확률강우량을 이용하여 구해진 semivariance에 의해 semivariogram을 그리고, 그려진 semivariogram을 이용하여 여러 가지 수학적 함수모델중의 하나를 선택하고 sill과 range, nugget effect의 유무를 판단한 후, 선택된 수학적 모델을 이용하여 보간하고자 하는 미지점과 대상유역안의 모든 다른 기지점들간의 공간적인 상호관계를 산정하였다. 그 결과로부터 격자 간격으로 구성된 보청천 유역의 격자 시스템에 대해여 크리깅 분석을 수행하여 격자기반 공간 확률강우량 산정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 확률강우량 산정

연 최대치 강우량을 산정하여 기본통계분석 및 매개변수 추정과정을 거쳐 적정확률분포형을 선정하였으며 본 연구에서 확률가중 모멘트법으로 추정한 GUMBEL분포형을 중심으로 지점별 확률강우량을 산정하였으며 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. 빈도별 지속기간별 확률강우량

구분	재현기간별 강우량					
	30년	50년	70년	80년	100년	200년
NO.1	220.1	240.3	253.5	258.8	267.5	294.7
NO.2	208.5	226.4	238.1	242.8	250.5	274.6
NO.3	272.2	295.1	310.1	316.1	326	356.8
NO.4	208.9	226.8	238.5	243.2	250.9	274.9
NO.5	240.4	264.8	280.7	287.1	297.6	330.4
NO.6	245.3	268.2	283.2	289.1	299	329.8
NO.7	336.9	372.7	396.2	405.5	421	469.2
NO.8	269.2	296.7	314.7	321.8	333.7	370.6
NO.9	279.6	309	328.3	335.9	348.6	388.1
NO.10	283.5	314.2	334.4	342.3	355.6	396.9
NO.11	250.5	274.1	289.6	295.7	305.9	337.6
NO.12	310.5	340.4	360.1	367.9	380.9	421.1

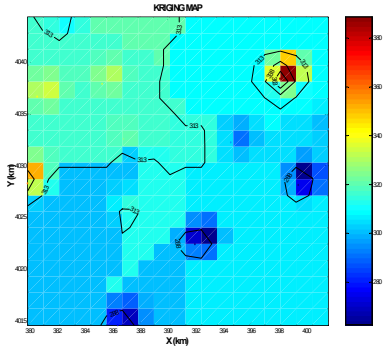
4.2 Kriging 적용 결과

확률강우량 산정 결과를 이용하여 보청천 유역에 적합한 공간 상관 및 반분산 분석을 실시하여 보청천 유역에 적합한 공간상관 함수 및 반분산도를 결정하였다. 이러한 결과를 가지고 2가지의 Kriging 기법에 적용하여 확률강우량의 공간적 분포를 나타내기 위해 Ordinary kriging(OK) 기법과 Universal kriging(UK)기법을 적용하여 유역의 공간적 확률강우량 분포를 나타내었다. .

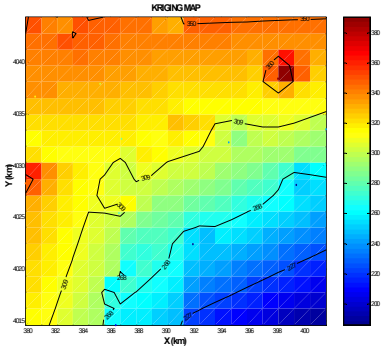
적용결과는 Cross-validation을 이용하여 베리오그램 모델의 검증 또는 비교였었다. 표 4에서와 같이 Universal kriging 방법을 이용하여 적용한 결과가 모형이 우수한 것으로 나타났다.

표 4 Cross-validation 결과

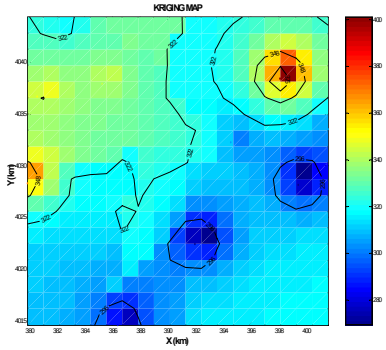
재현기간	Kriging	Variogram	ME(mean error)	표준편차
80년	Ordinary kriging	spherical model	-0.574	15.53
		exponential model	-0.558	17.59
	universal kriging	spherical model	-0.426	9.86
		exponential model	-0.303	11.92
100년	Ordinary kriging	spherical model	-0.765	16.25
		exponential model	-0.574	16.99
	universal kriging	spherical model	-0.002	6.22
		exponential model	-0.30	11.44



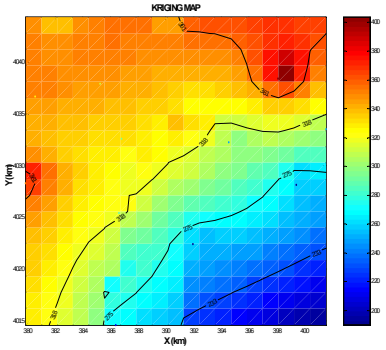
(a) 80년빈도(OK-spherical)



(b) 80년빈도(UK-spherical)



(c) 100년빈도(OK-exponential)



(d) 100년빈도(UK-exponential)

그림 2 크리깅 예측 결과

5. 결론

공간강우분포 특성 및 유역 공간강우량을 산정하기 위해 우수성이 증명된 바 있는 지구통계학(Geostatistics) 기법중 2가지의 크리깅 기법을 이용하여 이를 이용한 결측치 보완 및 미계측 지점의 설계 호우를 결정하는데 있어서의 공간함수의 유형 및 매개변수를 산정하였다. 또한 공간상관도 및 반분산도의 결과로부터 대상유역의 격자시스템에 대한 크리깅 분석을 수행하여 격자기반 공간강우량을 산정하고자 한다. 이는 차후 다양한 홍수강우의 공간분석을 통하여 기상레이더 자료로 제공 될 수 있는 공간 강우 자료의 해석을 위한 기초적인 연구가 될 수 있을 것이며 격자기반의 유출해석을 위한 시·공간적인 변화를 효과적으로 고려할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Ke Sheng Cheng, Chiang Wei, Yen Ben Cheng and Hui Chung Yeh(2003). "Effect of spatial variation characteristics on contouring of desing storm depth", Hydrological Process, Vol.17, pp.1755-1769.
2. 김홍태, 신현석, 박용운(2003). 크리깅기법을 이용한 유역평균강우량 산정 방법에 관한 연구 -낙동강 유역을 중심으로-, 대한토목학회 학술발표회, pp. 2148-2152.