

Co-kriging 기법을 이용한 일강우량 공간분포 모델링

Spatial Distribution Modeling of Daily Rainfall Using Co-kriging Method

황 세 운* / 박 승 우** / 장 민 원*** / 조 영 경****

Hwang, Sye woon / Park, Seung Woo / Jang, Min Won / Cho, Young Kyoung

Abstract

Hydrological factors, especially the spatial distribution of interpretation on precipitation is often topic of interest in studying of water resource. The popular methods such as Thiessen method, inverse distance method, and isohyetal method are limited in calculating the spatial continuity and geographical characteristics. This study was intended to overcome those limitations with improved method that will yield higher accuracy. The monthly and yearly precipitation data were produced and compared with the observed daily precipitation to find correlation between them. They were then used as secondary variables in Co-kriging method, and the result was compared with the outcome of existing methods like inverse distance method and kriging method.

The comparison of the data showed that the daily precipitation had high correlation with corresponding year's average monthly amounts of precipitation and the observed average monthly amounts of precipitation. Then the result from the application of these data for a Co-kriging method confirmed increased accuracy in the modeling of spatial distribution of precipitation, thus indirectly reducing inconsistency of the spatial distribution of hydrological factors other than precipitation.

keywords : geostatistical analysis, Co-kriging, spatial distribution

요 지

수문 인자, 특히 강우량의 공간 분포 해석은 수자원 분야에서 중요한 관심사 중 하나이다. 기존의 티센법(Thiessen), 역거리법, 등우선법이 공간적 연속성과 지형 특성을 고려하지 못하는 한계를 지니고 있는데, 본 연구에서는 일강우량에 대한 강우 공간분포 해석의 정확도 향상을 위해 월평균 자료와 평년 강우량 자료를 산출하여, 이들과 수집한 일강우량 자료 간의 상관성 분석하였으며 이를 근거로 지구통계학적 분석방법인 코크리깅(Co-kriging) 기법의 이차변수로 적용하여 공간 분포 해석을 실시하였으며, 기존의 역거리법과 단순 크리깅 기법에 의한 분석결과와 비교하였다.

구축한 강우량 자료간의 상관성을 조사한 결과, 일강우량은 당 해의 월평균 강우량 및 전체 자료기간의 월평균 강우량 자료와 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 이 자료들을 Co-kriging 기법에 적용한 결과, 강우 공간 분포

* 서울대학교 농업생명과학연구원 연구원
Researcher, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
(e-mail: aceace1@snu.ac.kr)
** 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 교수
Prof., Dept. of Rural Systems Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
*** 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원
Senior Researcher, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
**** 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 석사과정
Graduate Student, Dept. of Rural Systems Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea

의 해석 정확도가 향상되었으며, 향후 다른 기상 상관 인자를 적용함으로써 강우량을 비롯한 수문인자의 공간 분포 해석상 문제가 되는 불확실성을 줄일 수 있을 것이다.

핵심용어 : 지구통계학, 코크리깅, 공간분포

1. 서론

강우는 시간과 공간 변동성 모두가 수문 모델링에 있어 중요한 의미를 내포하고 있어서 관측 자료에 대한 시·공간적인 해석과 연구가 여러 분야에서 다양하게 이루어지고 있다. 또한 연속적으로 분포한 강우에 대한 정량적 해석은 수자원 분야에서 분포형 수문 모델 등의 핵심적인 입력 자료로 제공되기 때문에 강우의 공간분포에 대한 추정은 매우 중요하며(Entekhabi et al., 1999), 강우의 시·공간적 분포가 유출수문곡선에 미치는 영향은 선행 연구(Wilson et al., 1979; Nicks, 1982; 최계훈 등, 1992)에서 증명되어 왔다. Milly and Eagleson(1988)은 강우의 공간적 분포와 지속기간을 단순하게 가정하여 비교적 큰 유역에 적용할 경우 유출 총량은 강우의 공간적인 분포에 따라 매우 민감하게 반응함을 보였다. 이종태 등(1997)은 유역의 유출특성 및 홍수량 산정에 있어 강우의 공간적 분포를 고려함으로써 오차를 줄일 수 있다고 하였다.

수자원 분야에서 대부분의 수문해석은 지점 강우량으로부터 면적 평균강우량을 추정하거나 결측치의 자료를 보완하는 기법들을 사용하게 되며, 강우자료의 공간 분포를 작성하는 방법으로는 레이다 영상을 이용하는 직접적인 방법과 AWS 등과 같은 지상의 기존 강우 계측망으로부터 관측한 자료를 내삽(interpolation) 혹은 외삽(extrapolation)하여 매핑(mapping)하는 간접적인 방법으로 구분된다. 그 중 강우관측 자료에 기초한 강우량의 통계학적 보간은 강우분포도를 작성하는 기본적인 기법이며, 기존에 사용되어온 티센법이나 단순거리 가중치법 등은 매개변수의 특성이 단순히 관측소간의 거리에만 의존하고 공간적인 연속성을 나타낼 수 없다는 단점을 가지는데 비해, 기본적인 통계학적 보간법인 크리깅(Kriging) 기법은 관측점들 간의 상호관계를 통계적으로 해석함으로써 강우의 공간적 분포를 격자단위로 산정할 수 있으므로 분포형 수문모델링 및 향후 원격탐사와 기상레이더 기술에도 기여할 수 있는 기법이다. 이에 대한 적용성은 Tabios and Salas(1985), Phillips(1992) 등에 의해 증명된 바 있다. 지구통계학적 분석방법(Geo-statistical Analysis)은 지질통계학 분야에서 널리 이용되었던 기법으로 현재는 많은 분야에서 폭넓게 활용되고 있고, 국내 수자원 분야에서 이 기법

은 강우 관측망 최적설계(이재형, 윤양규, 2002), 강우의 공간분포 해석(윤강훈 등, 2004)과 면적평균강우량의 추정(유철상, 정광식, 2001) 등에 활용되었으며, 윤용남 등(2002)은 크리깅(Kriging) 기법으로 산출한 강우 분포 자료를 이용하였을 경우의 오차가 유출 계산에 미치는 영향을 분석하였다. 이와 같이 강우량 공간분포의 의의와 그 해석에 대한 지구통계학적 기법 적용에 대한 연구는 여전히 국내에서 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 일강우량 자료와 상관성을 가지는 지역별 평년 강우량, 월평균 강우량과 같은 다른 통계 자료들을 강우 공간 분포 해석에 적용함으로써 그 오차를 최소화하는 방법을 제시하고자 한다. 목적달성을 위하여 선정된 대상유역으로부터 수집한 일강우량 자료와 통계 자료 집합을 추출·분석하고, 이로부터 서로 높은 상관성을 가지는 주변인자들을 적절히 이용하여 주요 인자의 공간적 분포를 결정하는 지구통계학적 보간 방법인 Co-kriging 기법을 적용한 공간분포 해석을 실시하고, 기존의 공간 해석 기법인 역거리법과 크리깅 분석 결과와 비교함으로써 그 정확도를 검증하였다.

2. 크리깅(Kriging) 이론

강우량 관측의 경우와 같이 소수의 기지점으로부터 주변의 미지값을 추정하는 경우에 가장 널리 사용된 방법으로 내삽(interpolation) 혹은 외삽(extrapolation)하는 방법이 있다. 가중치나 최소사승법과 같은 기존 추정방법들은 자료들 간의 상호 연관성을 무시한 채 독립적인 요소들을 취합하여 일정한 관계를 구성하는 것이므로 이웃하는 관측점들 사이의 고유특성을 반영하지 못하는 한계를 가진다. 크리깅 기법은 이 관측점들 간의 공간적인 상관성을 정량적으로 나타낼 수 있으며 공간상 오차를 최소화할 수 있다. 남아프리카 광산학자 D.G. Krige에 의해 처음 소개되었고 프랑스인 Georges Matheron(1970)에 의해 발전한 크리깅 기법은 확률변수의 공간적 변화성을 설명하는 베리오그램(variogram)에 따라 선택된 가중치와 자료간의 선형결합형태로 임의의 공간상 위치에서의 값을 추정하는 선형 추정 방법 중의 하나인데 가중치는 모형의 평균오차라는 가정에서 오차의 분산이 최소가 되도록 모델링하게 된다. 베리오그램은 공간적으로 분포한 자료들 간의 거리에 대한 상

관성 관계를 해석하기 위한 통계적 분석 방법으로 본 연구에서 강우량 자료의 공간적 분포 특성과 상관성을 규명하기 위해 사용되었다. 등방성 조건일 때 Eq. (1)과 같이 반베리오그램을 산출한다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x) - z(x+h)]^2 \quad (1)$$

여기서, $\gamma(h)$ 는 반베리오그램이며, h 는 분리거리, $z(x)$ 는 x 지점에서의 관측치를 의미한다.

Eq. (1)에서 보듯이 베리오그램은 공간상에 분포하는 임의의 두 관측지점의 자료 값 차이의 분산으로 구해진다. 각 표본간의 거리 및 이들 관측값의 상관성을 나타내는 것으로, 각 표본들을 나열한 후 추정이 필요한 지점에서 거리가 가까운 표본위치 지점부터 가장 먼 표본위치 지점까지 거리에 포함된 표본들간의 상관관계를 나타내게 된다. 베리오그램으로부터 표본자료의 공분산은 Eq. (2)와 같다.

$$C(h) = sill - \gamma(h) \quad (2)$$

여기서, $C(h)$ 는 거리가 h 인 자료들 간의 공분산이며, $sill$ 은 일정한 영향 범위(range)를 넘어 베리오그램의 상관성이 없어지고 안정된 상태의 베리오그램 값을 의미한다.

크리깅 기법 중의 하나인 코크리깅(Co-kriging) 기법은 주 변수(primary variable)와 상관성을 가지는 이차 변수(secondary variable)들을 이용하여 공간 지점에 대한 가중치를 결정하고 주변수의 분포를 결정하는 방법이다. 코크리깅에 사용하는 변수들은 반드시 공간적 상호관계가 있어야 하며 이차변수들을 사용함으로써 주변수 예측값의 불확실성을 줄일 수 있다. 이 기법을 이용하여 계측밀도가 낮은 광범위한 지역에 대해 지형과 기후자료(습도, 풍속) 등을 이용한 강우공간분포 해석을 실시하는 연구가 이루어진 바 있다(Kyriakidis et al., 2001). 코크리깅을 위해서는 각 변수들에 대한 베리오그램과 더불어 주변수와 이차변수들 사이의 교차베리오그램(cross variogram)이 필요하다. 서로 다른 두 변수 u, v 의 교차베리오그램은 분리거리 h 에 n 개의 자료 쌍에 대하여 Eq. (3)으로 계산된다.

$$\gamma_c(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [u(x_i) - u(x_i+h)][v(x_i) - v(x_i+h)] \quad (3)$$

여기서 만약에 사용된 두 변수가 동일하다면 베리오그램은 Eq. (1)과 같게 된다. 베리오그램의 계산에 사용된 거리와 방향에 대한 분리거리와 완화된 분리거리의 적용 기법이 교차베리오그램에도 동일하게 적용된다. 교차베리오그램의 모델은 각 변수의 베리오그램과 상관거리를 동일하게 사용한다.

Eq. (1)과 Eq. (3)과 같이 실험적 베리오그램(experimental variogram)이 작성되면 대상 자료의 공간분포를 추정하기 위해서 이론적 베리오그램(theoretical variogram) 모델을 설정하여야 한다. 대부분의 이론적인 베리오그램 모델에는 동일한 위치의 표본간에 존재하는 분산인 문턱값(nugget), 반베리오그램이 더 이상 증가되지 않는 때의 값으로 분산을 나타내는 sill과 더 이상 상관성이 없어지는 거리인 상관거리와 같은 몇몇의 모수들이 사용된다. sill의 유무에 따라 여러 가지 반베리오그램 모델로 구분되어지며, 대표적으로 아래 Eq. (4)의 구형 모델과 Eq. (5)의 가우스 모델을 들 수 있다. Eq. (4)는 3차 다항식 형태로 표현되는 구형 모델의 베리오그램 관계식이고 Eq. (5)는 문턱값의 95%에 해당하는 분리거리를 상관거리 a 로 표현하는 지수형태의 가우스 모델 관계식이다.

$$\gamma(h) = C_0 Sph_a(h) = C_0 \left(1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right), \quad (4)$$

for $h \leq a$

$$= C_0, \quad \text{for } h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 Gauss_a(h) = C_0 \left[1 - \exp \left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right] \quad (5)$$

이 두 모델은 분리거리가 증가하면서 자료들의 상관관계가 감소하여 베리오그램 값이 sill까지 증가하다가 일정 분리거리 이상에서는 그 값이 일정한 경우에 적용되는 모델로서 C_0 는 문턱값을 나타내며, a 와 h 는 각각 상관거리와 분리거리를 의미한다.

이상의 내용에 따라 강우량의 공간적 분포를 추정하기 위한 코크리깅 분석의 일반적인 절차를 정리하면 Fig. 1과 같다.

3. 대상구역 선정 및 자료 구축

3.1 대상구역

한강상류지역의 충주댐과 춘천댐 상류를 비롯하여 소양강과 남한강 상류를 포함하는 유역을 대상지역으로 선정하였다. 대상지역의 총면적은 11,103km²이고, 유역

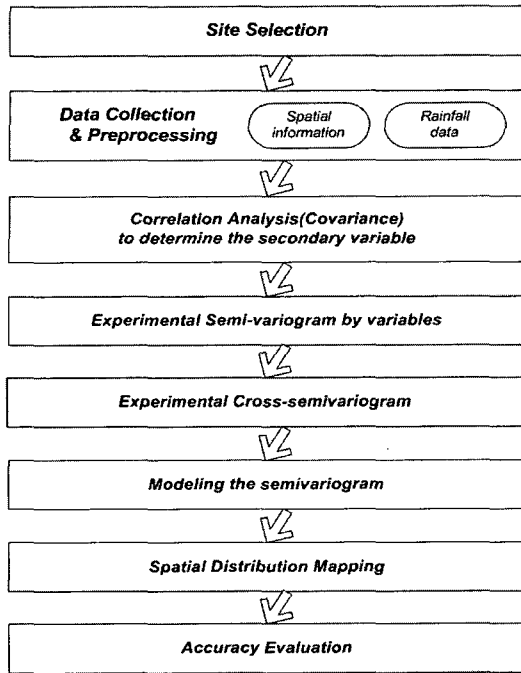


Fig. 1. Co-kriging analysis procedure for spatial distribution of daily rainfall

내에 수자원공사와 건교부 관할의 T/M 우량 관측소가 각각 47개소, 4개소가 설치되어 있으며 강우 계측밀도는 약 1개소/210km² 이다. 그 외에도 20개소가 넘는 건교부 관할의 자기 우량 관측소가 설치되어 있지만 평창강 권역에만 밀집되어 있어서 본 연구에 반영하지 않았다. 자료의 일관성 등을 고려하여 수자원공사 관할 47개 측정만을 고려하였고, Fig. 2와 같이 분포한다.

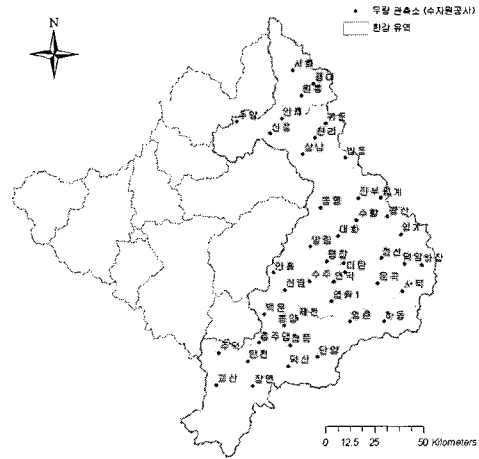


Fig. 2. Location of study area and T/M rainfall observation stations

3.2 자료 수집 및 전처리

3.2.1 강우자료의 수집

대상지역 내 47개 T/M관측소의 일별 강우자료를 각 관측소별 관측개시일로부터 2003년까지로 한정하여 수집하였다. 대상 관측소와 자료기간은 Table 1과 같다. 이 중 1998~2003년까지의 우기(6월~9월)동안에 대상 관측소의 50% 이상에서 강우량이 5.0mm/day 이상인 기록들만 추출하여 공간분포 해석과 비교를 수행하였다. 이들 관측소들 중에서 32개소에 대해서만 모델링의 입력 자료로 사용하였고 나머지 15개 관측소 자료는 공간분포 해석 결과의 정확도를 평가하는데 이용하였다.

Table 1. TM observation stations and the recording period

Station	Observation period		Station	Observation period		Station	Observation period	
	Starting date	Period of data (year)		Starting date	Period of data (year)		Starting date	Period of data (year)
For application								
GuiDun	1992. 8	11	ShinRim	1992. 6	11	JeongSeon	1985. 8	18
DanYang	1985. 8	18	ShinPung	1987. 5	16	JinBu	1985. 8	18
DaeHwa	1985. 8	18	EoSangChon	1992. 6	11	ChangChon	1972. 8	31
DeokSan	1992. 6	11	YeonDeog	1992. 6	11	CheongOkSan	1992. 6	11
DeokAm	1992. 6	11	YeongWol	1985. 8	18	ChuYang	1972. 8	31
MunGok	1992. 6	11	YeongChun	1985. 8	18	ChungJu	1958. 8	45
BangDong	1992. 8	11	WonTong	1972. 8	31	HaDong	1992. 6	11
BangRim	1985. 8	18	InJe	1972. 8	31	HaJang	1986. 5	17
BackUn	1985. 8	18	ImGye	1985. 8	18	HyeonRi	1972. 8	31
SeoHwa	1972. 8	31	JangYeon	1991.11	12	HyeongGye	1985. 8	18
SuJu	1985. 8	18	SuHang	1992. 6	11			
For verification								
KoiSan	1985. 8	18	BongPyong	1985. 8	18	WangSan	1986. 5	17
GunRyang	1987. 5	16	SaBuk	1985. 8	18	YongDae	1987. 5	16
DalCheon	1991.11	12	SangNam	1987. 5	16	JeCheon	1986. 5	17
MiTan	1992. 6	11	SangDong	1985. 8	18	CheongPung	1985. 8	18
BongYang	1992. 6	11	AnHeung	1986. 5	17	PyongChang	1985. 8	18

3.2.2 강우자료의 전처리

코크리깅의 이차변수를 결정하기 위하여 매월 평균 강우량 AMR(average monthly rainfall, mm/day)과 평년 강우량 NR(normal rainfall, mm/day)을 후보 자료로 선정하였다. AMR은 일강우량 자료를 월 단위로 평균하여 산정하였으며, NR은 과거 30년간 자료를 이용하여 산출하지만 일부 자료기간이 30년 미만인 축점에 대해서는 기왕 자료만의 평균값으로 해당 월의 평년값을 결정하였다. 그리고 코크리깅 분석을 위하여 각 결과들을 미리 작성한 T/M관측소 위치도에 속성자료로 조인(join)하였다.

4. 코크리깅(Co-kriging) 분석

4.1 이차변수의 선정

일강우량 자료의 공간분포 해석 방법과 코크리깅 분석에 사용할 2차 변수를 결정하기 위하여 각 자료 조합의 상관관계 분석을 시행하였다. 일강우량과 월평균 강우량, 평년 강우량을 각각 정규화한 후에 도시하면 Fig. 3과 Fig. 4의 예와 같다. 14개 대상 자료 집합에 대한 상관분석 결과는 Table 2와 같고, 일강우량과 비교하여 평년 강우량보다는 월평균 강우량이 상관성이 더 높게 나타났다. 대상 자료간의 상관성은 Eq. (6)의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용하여 평가하였다. 자료간의 상관성이 높을수록 피어슨 상관계수는 +1이나 -1에 가까운 값을 가지게 된다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1) s_X s_Y} \quad (6)$$

여기서, n 은 표본의 크기(자료의 개수), s_X 와 s_Y 는 각

변수 X, Y 의 표준편차를 의미한다.

분석 대상 중 2000/07/31, 2000/08/27, 2000/09/15일의 세 개 사상을 제외하고는 일강우량과 평년 강우량 그리고 월평균 강우량은 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 특히 월평균 강우량이 평년 강우량보다 일강우량과 더 높은 상관계수를 보여주었다. 결정계수 R^2 값에서도 월평균 강우량이 평년 강우량보다 일강우량과의 관계에서 약 0.1정도 높은 것으로 계산되었다. 따라서 본 연구 지역에서는 코크리깅 분석의 이차변수로 월평균 강우량(AMR)을 사용한 것이 타당한 것으로 판정하였다. 그러나 상관성이 낮은 강우사상에 대하여는 코크리깅 기법을 적용하는 것이 적절하지 않으며, 이 경우에 공간분포의 해석은 기존의 내삽법이나 이차변수가 필요 없는 단순 크리깅 기법(simple kriging method) 등의 방법을 고려해야 할 것이다.

4.2 반베리오그램의 작성과 모델링

코크리깅 분석에는 상업용 GIS 소프트웨어인 ArcGIS 8.1의 Geostatistical Analyst 모듈을 사용하였다. 베리오그램은 표본자료의 공간적 분포 특성을 나타내며 임의의 두 자료 값의 차에 대한 분산으로 구해진다. 32개 관측점에 대하여 11개 강우에 대한 반베리오그램을 작성하였고 각각의 상관거리와 sill을 해석하였다. 산정한 각 상관거리와 sill은 이론적 반베리오그램을 모델링하기 위하여 사용되었으며, 본 연구에서는 일반적으로 가장 많이 사용되는 구형모델(Spherical model)과 실측치와 예측치 사이의 오차가 최소로 나타난 가우스모델(Gaussian model)을 선정하여 적용하였다. 구형모델을 적용하는 경우가 가우스모델을 사용하는 것보다 10~20% 정도 높은 반베리오그램 값을 나타냈고, 짧은 분리거리에서 나타나는 자료의 불확실성인 너깃(nugget)

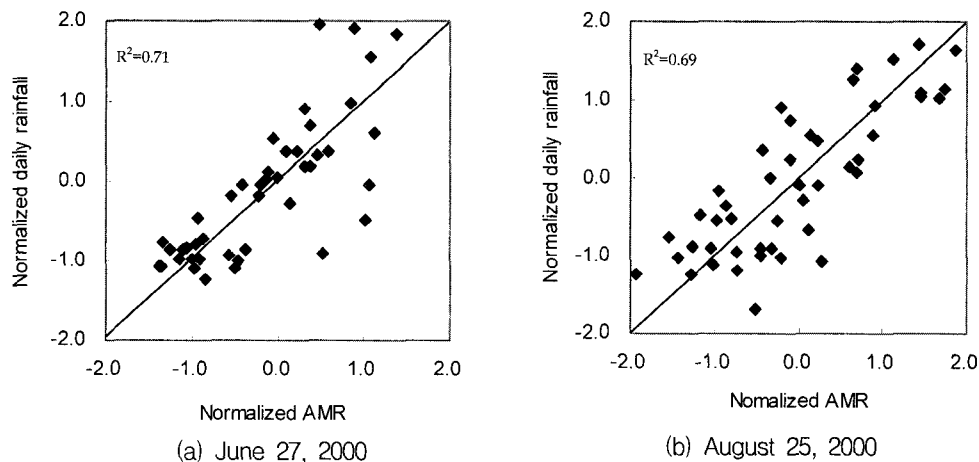


Fig. 3. Scatter diagrams between DR and AMR

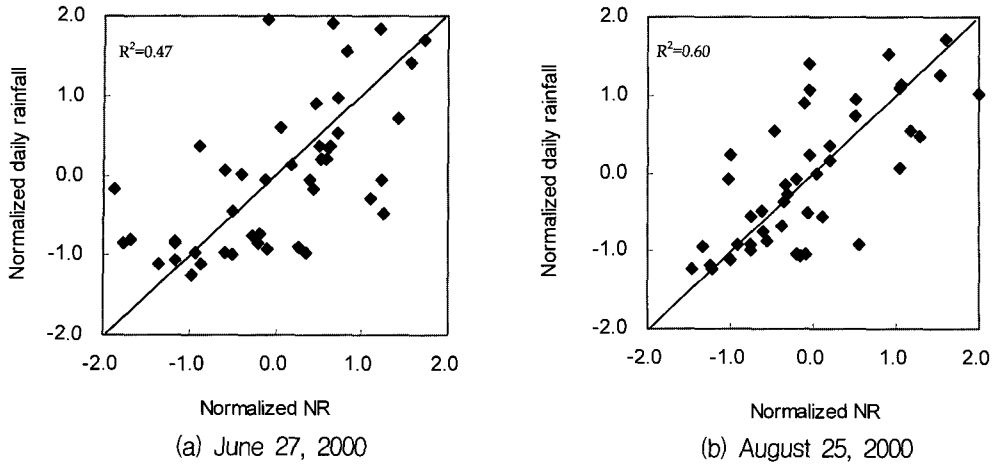


Fig. 4. Scatter diagrams between DR and NR

Table 2. Correlation between target data

No.	Date	Average daily rainfall (mm/day)	Average monthly rainfall		Normal rainfall	
			R ²	Pearson correlation coefficient	R ²	Pearson correlation coefficient
1	2000. 06. 27	53	0.706	0.840	0.466	0.683
2	07. 22	90	0.638	0.799	0.096	0.309
3	07. 31	38	0.020	0.143	0.296	0.546
4	08. 20	46	0.661	0.813	0.483	0.696
5	08. 25	64	0.694	0.833	0.598	0.775
6	08. 27	33	0.028	0.166	0.048	0.220
7	09. 13	34	0.747	0.864	0.594	0.771
8	09. 14	85	0.836	0.914	0.302	0.550
9	09. 15	37	0.042	-0.205	0.032	0.178
10	09. 16	27	0.463	0.681	0.116	0.342
11	2001. 06. 29	39	0.614	0.784	0.467	0.683
12	06. 30	59	0.338	0.581	0.129	0.361
13	07. 15	68	0.556	0.746	0.172	0.415
14	09. 30	18	0.523	0.723	0.369	0.607
Average		49	0.591	0.620	0.411	0.510

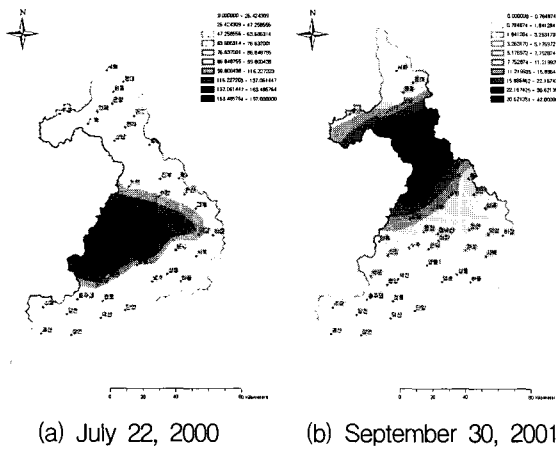


Fig. 5. Simulated rainfall distribution maps by a spherical model

값은 작게 나타났다. 그러므로 일강우량의 공간분포는

구형모델을 사용하는 것이 타당한 것으로 판단하였으며, Fig. 5는 구형 모델을 적용하여 산출한 강우량 공간 분포를 해석한 예를 보이고 있다.

5. 공간분석 기법별 정확도 비교

상관분석으로부터 DR과 AMR 및 NR 간의 상관성을 확인하고, 상관계수가 일반적으로 뚜렷한 양의 선형관계를 의미하는 0.3 이상(원태연과 정성원, 2001)으로 비교적 높게 나타난 자료 집합을 선정하여 Co-kriging을 실시하였으며, 분석에 적용하지 않은 15개 측정점의 실측 자료를 이용하여 예측된 공간 분포의 오차를 산정하였다. Fig. 6은 (a) Kriging기법, (b) AMR을 이차 변수로 사용한 Co-kriging, (c) NR을 이차변수로 한 Co-kriging, 그리고 (d) 두 이차변수를 함께 적용하여 Co-kriging 분석을 실시하여 얻은 강우 분포도이다. Kriging

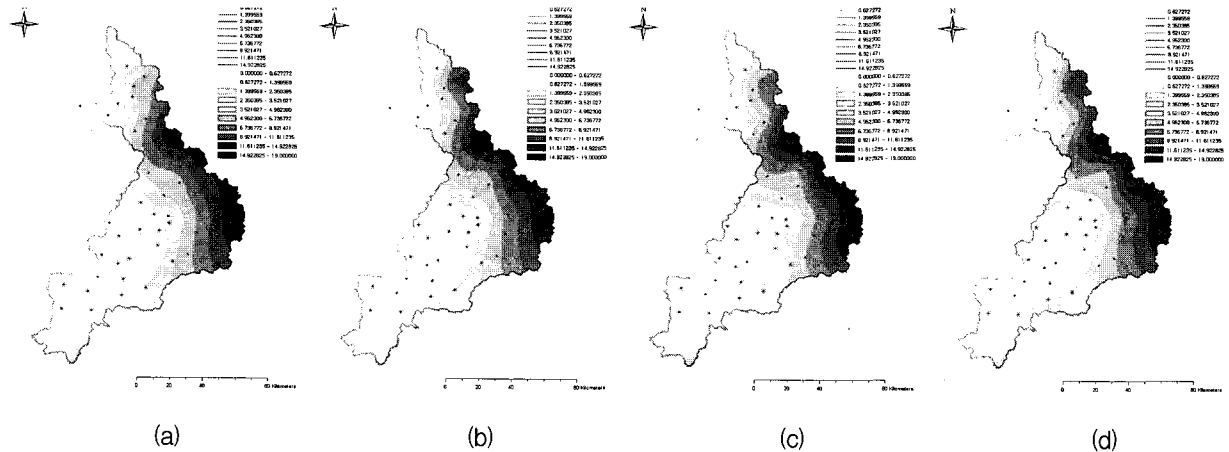


Fig. 6. Maps of precipitation estimates using (a) Kriging, (b) Co-kriging with data set of average monthly rainfall, (c) Co-kriging with data set of normal rainfall, (d) Co-kriging with both of them

Table 3. RMSE by each method

No.	Date	Inverse distance	Kriging	Co-kriging		
				AMR	NR	AMR & NR
1	2000. 06. 27	12.01	10.51	7.64	9.04	7.09
2	07. 22	25.12	25.52	21.57	24.92	20.93
3	08. 20	11.81	10.43	8.76	9.61	8.06
4	08. 25	11.06	7.89	7.65	7.62	8.08
5	09. 13	9.71	6.75	5.31	5.82	6.19
6	09. 14	11.77	8.97	6.80	8.74	7.04
7	09. 16	9.98	9.46	8.63	7.50	6.22
8	2001. 06. 29	9.92	10.09	8.97	10.15	9.19
9	06. 30	13.69	13.04	12.87	14.83	14.00
10	07. 15	20.94	20.32	16.87	20.69	17.07
11	09. 30	4.29	4.15	2.85	3.58	2.69
Average		12.75	11.56	8.99	11.14	9.69

기법을 이용하여 얻은 강우 분포도가 Co-kriging 분석 결과에 비해 단조로운 분포도를 보이는 것을 확인할 수 있다.

기존의 보간법으로 역거리법(Inverse Distance Weighting Interpolation Method)을 적용한 경우와 함께 오차의 정도를 RMSE(root mean square error)를 이용하여 평가하였으며, Eq. (7)은 이를 산정하는 함수이며, 다음 Table 3은 결과를 정리한 표이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Q_m(t) - Q_o(t))^2} \quad (7)$$

여기서, Q_m 은 추측값, Q_o 는 실측값, T 는 자료수이다.

Co-kriging 기법을 적용한 결과가 Kriging의 경우보다 실측치와의 오차가 작게 나타났으며, NR자료보다 DR자료와의 상관성이 크게 분석되었던 AMR자료를 이용한 Co-kriging 분석 결과가 10~20%정도 높은 정확도를 보였다. 그리고 대체적으로 대상구역 내 일강우

량이 클수록 큰 오차를 보였으며, 주변수와 상관성을 가진 이차변수 두 가지를 모두 적용하여 Co-kriging 분석을 한 결과가 과반수이상의 경우, 가장 작은 오차를 보이는 것으로 나타났다.

6. 결론

일강우량의 공간분포를 해석하기 위해 지점별 월평균 강우량과 평년 강우량 집합을 산출하였으며, 이들을 이차변수로 활용함으로써 지구통계학적 기법중 하나인 Co-kriging 기법을 적용하여 강우 공간분포 해석을 실시하였다.

수집한 일강우량 자료와 언급한 통계량 자료간의 상관관계를 분석한 결과, 일강우량은 지점별 해당 년의 월평균 강우량 및 전체 자료기간의 해당 월평균 강우량 자료와 상관계수가 0.47~0.84로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났고, 48시간 이상 지속되는 강우의 경우, 최대 일강우량을 기록한 날의 자료 상관성은 높은 반면, 그 전후의 비교적 적은 일강우량은 월평균 자료와

낮은 상관성을 보였으며, Co-kriging 분석의 오차도 높게 나타났다. 그러므로 언급한 조건을 만족하는 일강우량 공간분포 예측에 월평균 강우 자료를 이용한 Co-kriging 분석은 합당하나, 이외의 일강우량 자료에 대해서는 일반적인 산술적 보간법이나 Kriging 기법을 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 그리고 해당 년의 월평균 강우량자료와 선정된 자료기간의 월평균 자료를 Co-kriging 기법에 적용한 결과, 일반적인 Kriging 기법에 비해 Co-kriging 기법을 적용한 결과가 실측과의 오차가 작게 나타났으며 공간분포 예측의 정확도를 향상시킬 수 있다는 결론을 얻었다.

일강우량 자료를 이용한 공간 분포 해석에 있어서, 강우자료와 상관성을 갖는 기후인자를 이용한 Co-kriging 기법의 적용은 실측치에 보다 가까운 근사치를 추정할 수 있게 하며, 이로부터 보다 정확한 영역의 평균 강우량 및 면적강우량 등을 산출하고 이들이 유출 모델링에 미치는 영향을 분석하여 적용성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고 문헌

원태연, 정성원 (2001). 통계조사분석, 자유아카데미, pp. 297~304.

유철상, 정광식 (2001). 면적평균강우량의 추정 및 추정 오차, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제 34권, 제4호, pp. 317~326.

윤강훈, 서봉철, 신현석 (2004). 크리깅 기법을 이용한 낙동강 유역 홍수강우의 공간해석 연구, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제2호, pp. 233~240.

윤용남, 김종훈, 유철상, 김상단 (2002). 공간분포된 강우를 사용한 유출 매개변수 추정 및 강우오차가 유출계산에 미치는 영향분석, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제1호, pp. 1~12.

이재형, 유양규 (2002). 면적강우량 산정을 위한 관측망 최적설계 연구, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제 35권, 제 2호, pp. 187~194.

이종태, 이상태 (1997). 도시유역에서의 강우 공간분포 및 소유역분할이 유출특성에 미치는 영향, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제2호, pp. 177~191.

Abtew W., Obeysekera J., and Shih G. (1993).

Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida, *Water Resources Bulletin*, Vol. 29, No. 2, pp. 179~188.

Goovaerts P. (1999). Using Elevation to Aid the Geostatistical Mapping of Rainfall Erosivity, *Catena*, Vol. 34 (3-4), pp. 227~242.

Goovaerts P. (2000). Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall, *Journal of Hydrology*, Vol. 228 (1-2), pp. 113~129.

Kyriakidis, P.C., J.W. Kim, and Miller, N.L. (2001). Geostatistical Mapping of Precipitation from Rain Gauge Data Using Atmospheric and Terrain Characteristics, *American Meteorological Society*, pp. 1855~1877.

Matheron, G. (1970). "The Theory of Regionalized Variables and its Applications", *Cah Centre Morphol. Mathl.*, 5.

Milly, P.P.D., Eagleson, P.S. (1988). Effect of Storm Scale on Surface Runoff Volume, *Water Resour. Res.*, Vol. 24, No. 4, pp. 249~260.

Nicks, A.D. (1982). Space-Time Quantification of Rainfall Inputs for Hydrological Transport Models, *Journal of Hydrology*, Vol. 59, pp.

Phillips, D.L., J. Dolph and D. Marks (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain, *Agric. and Forest Meteor.*, 58, pp. 119~141.

Subyani AM (2004). Geostatistical Study of Annual and Seasonal Mean Rainfall Patterns in Southwest Saudi Arabia, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 49 (5), pp. 803~817.

Tabios, G.Q., and Salas J.D. (1985). A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation, *Water Resources Bulletin*, Vol. 21 (3), pp. 365~380.

Trevor C. Bailey and Anthony C. Gatrell (1995). Interactive Spatial Data Analysis, *Longman Scientific & Technical.*, pp. 208~217, 166~199.

Willson, C. B., Valdes, J. B., and Rodrigues-Itube, I. (1979). On the Influence of the Spatial Distribution of Rainfall on Storm Runoff, *Water Resour. Res.*, Vol. 15 (2), pp. 321~328.

(논문번호:06-19/접수:2006.01.24/심사완료:2006.01.24)