(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0048205
(43) 공개일자 2022년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/14 (2006.01) *G01W 1/00* (2006.01)
G06F 17/15 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/14 (2013.01)
G06F 17/15 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0131079
(22) 출원일자 2020년10월12일
심사청구일자 2020년10월12일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
경북대학교 산학협력단
대구광역시 북구 대학로 80 (산격동, 경북대학교)
(72) 발명자
유철상
경기도 과천시 별양로 111, 507동 1004호(별양동,주공아파트)
노용훈
제주특별자치도 서귀포 중문상로 82번 길 15, 105동 303호
이규원
대구광역시 북구 대학로 80, 제2과학관 411호(산격동)
(74) 대리인
특허법인남촌

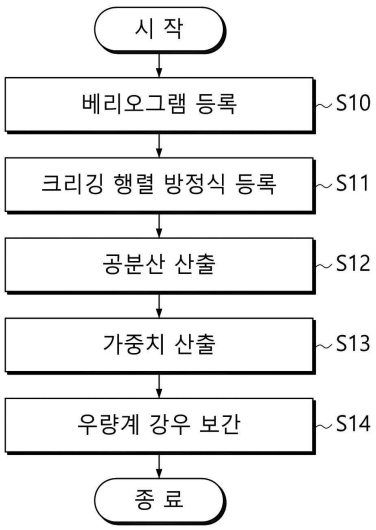
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법**

(57) 요 약

본 발명은 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법에 관한 것으로, 베리오그램이 등록되는 단계와, 크리깅 행렬 방정식이 등록되는 단계, 우량계 강우 자료가 상기 베리오그램이 적용되어 상기 크리깅 행렬 방정식을 구성하는 공분산이 산출되는 단계와, 상기 공분산이 상기 크리깅 행렬 방정식에 적용되어 가중치가 산출되는 단계와, 상기 가중치에 기초하여 우량계 강우가 보간되는 단계를 포함하며; 상기 베리오그램을 구성하는 상관계수에 상기 우량계 강우 자료의 간헐성 및 비정규성이 반영되는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 우량계 강우의 비정규성 및 간헐성이 반영된 단순 크리깅 비법이 적용되어, 보다 정확한 강우 예측이 가능하게 된다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01W 2001/006 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2396157
과제번호	G2396157
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	물관리 연구사업
연구과제명	앙상블 수문예측 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법에 있어서,

베리오그램이 등록되는 단계와,

크리깅 행렬 방정식이 등록되는 단계,

우량계 강우 자료가 상기 베리오그램이 적용되어 상기 크리깅 행렬 방정식을 구성하는 공분산이 산출되는 단계와,

상기 공분산이 상기 크리깅 행렬 방정식에 적용되어 가중치가 산출되는 단계와,

상기 가중치에 기초하여 우량계 강우가 보간되는 단계를 포함하며;

상기 베리오그램을 구성하는 상관계수에 상기 우량계 강우 자료의 간헐성 및 비정규성이 반영되는 것을 특징으로 하는 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 상관계수는 이량 혼합 대수정규분포가 적용되어 산출되는 것을 특징으로 하는 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 상관계수는 두 곳의 강우 관측소에서 측정된 상기 우량계 강우 자료 간에 대해 산출되고;

상기 상관관계는 두 곳의 강우 관측소 모두에서 양의 관측값을 갖는 제1 케이스와, 두 곳의 강우 관측소 중 적어도 하나가 양의 관측값을 갖는 제2 케이스와, 두 곳의 강우 관측소 모두 '0' 이상의 관측값을 갖는 제3 케이스로 구분되어 산출되는 것을 특징으로 하는 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1 케이스의 상관계수는 수학식

$$\rho_A = \frac{\exp(\rho\sigma_1\sigma_2 - 1)}{\sqrt{[\exp(\sigma_1^2) - 1][\exp(\sigma_2^2) - 1]}}$$

(ρ_A는 상기 제1 케이스의 상관계수이고, ρ는 이변량 대수정규분포의 상관계수이고, σ_1^2 및 σ_2^2는 두 곳의 강우 관측소 각각의 이변량 대수정규분포의 분산이다)에 의해 산출되고; 상기 제2 케이스의 상관계수는 수학식

$$F(x) = \Lambda_1(x|\mu_1^*, \sigma_1^{*2}) \quad \text{if} \quad (x > 0)$$

$$G(y) = \Lambda_1(y|\mu_2^*, \sigma_2^{*2}) \quad \text{if} \quad (y > 0)$$

$$H(x, y) = \Lambda_2(x, y|\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho) \quad \text{if} \quad (x > 0,\ y > 0)$$

(F 및 G는 단변량 대수정규 분포함수이고, H는 이변량 대수정규 결합분포함수이고, $\Lambda_1(\cdot|\mu,\sigma^2)$는 대수정규분포의 평균($\mu$)과 분산($\sigma^2$)이고, $\Lambda_2(\cdot,\cdot|\mu_1,\mu_2,\sigma_1^2,\sigma_2^2,\rho)$는 이변량 대수정규분포의 평균($\mu_1$, μ_2)과 분산(σ_1^2, σ_2^2)이고, ρ는 상관계수이다)에 의해 산출되며; 상기 제3 케이스의 상관계수는 수학식

$$E(X|X>0,\ Y=0)=\exp(\mu_1^*+\sigma_1^{*2}/2)$$

$$E(X^2|X>0,\ Y=0)=\exp(2\mu_1^*+2\sigma_1^{*2})$$

$$E(Y|X=0,\ Y>0)=\exp(\mu_2^*+\sigma_2^{*2}/2)$$

$$E(Y^2|X>0,\ Y=0)=\exp(2\mu_2^*+2\sigma_2^{*2})$$

의 모멘트와, 수학식

$$E(Y^k)=p_{01}E(Y^k|X=0,Y>0)+p_{11}E(Y^k|A)=(1-p_{00})E(Y^k|B)$$

$$E(X^kY^k)=p_{11}E(X^kY^k|A)=(1-p_{00})E(X^kY^k|B)$$

의 모멘트 사이의 관계에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 우량계 강우의 비정규성 및 간헐성이 반영된 단순 크리깅 비법을 통한 우량계 강우의 보간 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 크리깅(Kriging)은 지구통계학 분야에서 널리 사용되는 국지적인 보간 기법 중 하나로 주변 관측지점 값을 가중선형조합하여 임의 지점의 값을 추정하는 경험적 방법이다.

[0003] 1950년대 남아프리카공화국의 채광공학자인 Krige는 새로운 광맥을 찾기 위해 기존 광맥의 분포특성을 이용하는 경험적인 방법을 소개하였고, 이는 프랑스의 지질수학자인 Matheron에 의해 체계적으로 정립되면서 크리깅이라 불리어졌다.

[0004] 그 후 크리깅 기법은 Sacks 등에 의해 전산실험에 적합하도록 통계적, 수학적으로 정립되면서 공학 분야에 적용되었으며, 설계변수가 많고 비선형성이 강한 모형에 대해 우수한 예측 성능이 있다는 것이 확인되었다.

[0005] 근래에 들어 크리깅 기법은 환경과학 분야에서 가장 많이 사용되고 있으며, 토양도, 지하수 지도 작성, 기온 및 강수 추정 등과 같이 수문/기상 분야에서도 다양하게 사용되고 있다.

[0006] 수문/기상 분야에서 크리깅 기법은 주로 관측자료나 원격탐사 자료 등의 다양한 부가 자료를 통합하여 대상 인자의 공간 분포를 파악하거나 예측하는데 이용되었다.

[0007] 국외의 경우 기상 레이더 자료나 수치표고모델을 이용한 강수 분포 추정, 토양 수분 분포 파악, 토양 유기물 분포 파악, 지하수에 포함된 화학 성분 분석, 지하수 수리전도도 분석 등에 크리깅 기법이 이용되었다.

[0008] 국내의 경우 강우의 공간분포를 추정하거나 면적강우량 산정과 관련된 연구에 크리깅 기법이 주로 적용되었다. 또한, 지상기온 추정, 가뭄지수의 공간분포 파악, 강우의 공간 분포에 따른 유출 분석, 수치표고모델을 이용한 지하수위 분포도 작성, 풍속 예측지도 작성, 신적절심 지도 작성 등의 연구에도 크리깅이 이용되었다.

[0009] 크리깅 기법을 이용한 강우 강도 측정과 관련하여, 한국등록특허 제10-1352568호에 개시된 '강우강도 측정 장치 및 그 방법'에서는 공동크리깅에 의해 레이더 강우강도 오차 분포를 산출하여, 레이더 강우량을 오차 분포를 이

용하여 레이더 강우강도 데이터를 조정하는 기술이 개시되어 있다.

[0010] 이와 같은 크리깅 기법에서는 일반적으로 다음과 같은 두 가지 가정이 적용되고 있다. 먼저, 크리깅 기법을 적용할 대상 자료가 정규분포를 따라야 된다는 것이다. 대상 자료가 정규분포를 따르지 않을 경우 예측변수와 종속변수가 선형이 되도록 변수 변환이 이루어진다. 이 때, 크리깅 기법으로 추정된 값은 쉽게 역변환 될 수 있지만, 분산의 추정치는 그렇지 못하는 문제가 있다.

[0011] 다음으로 크리깅 기법을 적용할 자료가 연속적이고 정상(Stationarity)적이어야 한다. 대부분의 공간 자료는 특정 경향을 나타내거나 위치가 변함에 따라 평균이 바뀌는 문제가 있다. 경향성이 강하게 나타나는 자료에 크리깅 기법을 적용할 경우 공간적 의존성에 모형설정오류(Mis-specification)가 발생하여 예측값이 편향될 수 있다. 따라서 자료의 경향성을 제거하여 크리깅 기법을 적용해야 대상 자료의 공간적 특성을 반영한 예측값을 산정할 수 있다.

[0012] 강우 자료에 크리깅 기법을 적용하는 경우의 가장 큰 문제는 강우 자료가 크리깅 기법의 상기 가정을 만족하지 못한다는 점이다. 강우 자료는 일반적으로 강한 양의 왜곡도를 나타내며, 간헐성도 강하게 나타난다. 경우에 따라 방향성도 크게 나타난다. 이로 인해 강우 자료를 이용하여 크리깅 기법을 수행할 경우 예측값이 편향되어 나타나거나 왜곡될 가능성이 크다.

[0013] 따라서 크리깅 기법을 이용하여 정량적인 강우장을 추정하기 위해서는 정규분포가 아닌 왜곡된 분포를 따르는 강우 자료의 특성과 무강우의 시공간적 분포 특성, 즉 간헐성을 반영하여야 하는데, 상기 한국등록특허를 비롯한 기존의 기법에서는 이를 반영하지 않아, 정확한 강우 예측이 어려웠다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 우량계 강우의 비정규성 및 간헐성이 반영된 단순 크리깅 비법을 통한 우량계 강우의 보간 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기 목적은 본 발명에 따라, 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법에 있어서, 베리오그램이 등록되는 단계와, 크리깅 행렬 방정식이 등록되는 단계, 우량계 강우 자료가 상기 베리오그램이 적용되어 상기 크리깅 행렬 방정식을 구성하는 공분산이 산출되는 단계와, 상기 공분산이 상기 크리깅 행렬 방정식에 적용되어 가중치가 산출되는 단계와, 상기 가중치에 기초하여 우량계 강우가 보간되는 단계를 포함하며; 상기 베리오그램을 구성하는 상관계수에 상기 우량계 강우 자료의 간헐성 및 비정규성이 반영되는 것을 특징으로 하는 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법에 의해서 달성된다.

[0016] 여기서, 상기 상관계수는 이량 혼합 대수정규분포가 적용되어 산출될 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 상관계수는 두 곳의 강우 관측소에서 측정된 상기 우량계 강우 자료 간에 대해 산출되고; 상기 상관관계는 두 곳의 강우 관측소 모두에서 양의 관측값을 갖는 제1 케이스와, 두 곳의 강우 관측소 중 적어도 하나가 양의 관측값을 갖는 제2 케이스와, 두 곳의 강우 관측소 모두 '0' 이상의 관측값을 갖는 제3 케이스로 구분되어 산출될 수 있다.

[0018] 그리고, 상기 제1 케이스의 상관계수는 수학식

[0019] $$\rho_A = \frac{\exp(\rho\sigma_1\sigma_2 - 1)}{\sqrt{[\exp(\sigma_1^2) - 1][\exp(\sigma_2^2) - 1]}}$$

[0020] (ρ_A는 상기 제1 케이스의 상관계수이고, ρ는 이변량 대수정규분포의 상관계수이고, σ_1^2 및 σ_2^2는 두 곳의 강우 관측소 각각의 이변량 대수정규분포의 분산이다)에 의해 산출되고; 상기 제2 케이스의 상관계수는 수학식

$$F(x) = \Lambda_1(x|\mu_1^*, \sigma_1^{*2}) \quad \text{if} \quad (x > 0)$$

$$G(y) = \Lambda_1(y|\mu_2^*, \sigma_2^{*2}) \quad \text{if} \quad (y > 0)$$

[0021] $$H(x, y) = \Lambda_2(x, y|\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho) \quad \text{if} \quad (x > 0,\ y > 0)$$

[0022] (F 및 G는 단변량 대수정규 분포함수이고, H는 이변량 대수정규 결합분포함수이고, $\Lambda_1(\cdot|\mu, \sigma^2)$는 대수정규 분포의 평균($\mu$)과 분산($\sigma^2$)이고, $\Lambda_2(\cdot,\cdot|\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$는 이변량 대수정규분포의 평균($\mu_1$, μ_2)과 분산(σ_1^2, σ_2^2)이고, ρ는 상관계수이다)에 의해 산출되며; 상기 제3 케이스의 상관계수는 수학식

$$E(X|X > 0,\ Y = 0) = \exp(\mu_1^* + \sigma_1^{*2}/2)$$

$$E(X^2|X > 0,\ Y = 0) = \exp(2\mu_1^* + 2\sigma_1^{*2})$$

$$E(Y|X = 0,\ Y > 0) = \exp(\mu_2^* + \sigma_2^{*2}/2)$$

[0023] $$E(Y^2|X > 0,\ Y = 0) = \exp(2\mu_2^* + 2\sigma_2^{*2})$$

[0024] 의 모멘트와, 수학식

$$E(Y^k) = p_{01}E(Y^k|X = 0, Y > 0) + p_{11}E(Y^k|A) = (1 - p_{00})E(Y^k|B)$$

[0025] $$E(X^k Y^k) = p_{11}E(X^k Y^k|A) = (1 - p_{00})E(X^k Y^k|B)$$

[0026] 의 모멘트 사이의 관계를 통해 산출될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면, 우량계 강우의 비정규성 및 간헐성이 반영된 단순 크리깅 비법이 적용되어, 보다 정확한 강우 예측이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 2 내지 도 8을 참조하여 본 발명에 따른 우량계 강우의 보간 방법의 효과를 검증하기 위한 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0030] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 강우 특성이 반영된 우량계 강우의 보간 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 도 1을 참조하여 설명하면, 먼저 우량계 강우의 보간을 위한 베리오그램(Variogram)이 등록된다(S10).

[0033] 베리오그램은 일정한 거리만큼 떨어진 자료들의 차를 제곱한 것의 기대값으로 자료들의 유사성을 나타내는 척도

이다. 베리오그램은 [수학식 1]과 같이 정의되며, [수학식 1]을 이용하여 주어진 자료에 대해 유도한 베리오그램을 경험적 베리오그램이라 한다.

[0034] [수학식 1]

[0035] $$\gamma(h) = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}[R(x_i) - R(x_i + h)]^2$$

[0036] [수학식 1]에서, $\gamma(h)$는 베리오그램, n은 관측 지점의 수, 즉 강우 관측소의 수이고, $R(x_i)$는 관측 지점에서의 관측 강우량이다. 그리고, h는 자료 간 떨어진 거리, 즉 관측 지점 간의 거리로 분리거리(Separation distance)라고 한다. 관측 자료간 거리가 가까우면 관측 자료의 유사성이 커져 베리오그램은 작아지고, 거리가 멀수록 크게 나타나는 특성을 갖는다.

[0037] 경험적 베리오그램을 모델링하기 위해서는 문턱값(Sill height), 상관거리(Correlation length), 너깃(nugget) 성분을 결정해야 한다. 여기서, 상관거리는 관측 자료들이 상관관계를 나타내는 최대 분리거리를 의미하고, 문턱값은 상관거리에서 베리오그램이 가지는 일정한 값으로 관측 자료의 분산을 나타낸다. 너깃은 분리거리가 0일 때 베리오그램이 0이 되지 않는 경우로 짧은 분리거리에 대한 관측 자료들의 불확실성을 나타낸다.

[0038] 상기와 같이 경험적 베리오그램이 유도되면, 이를 대표할 수 있는 이론적 베리오그램을 결정되어야 한다. 이후에 설명할 크리깅 기법의 예측 결과에 직접적으로 영향을 미치므로, 본 발명에 따른 우량계 강우의 보간 방법에 최적의 모형으로 결정되어야 한다.

[0039] 본 발명에서는 선형 모델(linear model), 구형 모델(spherical model), 지수 모델(exponential model), 가우시안 모델(Gaussian model), 너깃모델(nugget model) 중 정규분포를 따르는 관측 자료에 적합한 가우시안 모델이 적용되는 것을 예로 한다.

[0040] 가우시안 모델은 작은 분리거리에서 관측 자료들이 강한 상관성을 나타내거나 연속성이 강한 자료를 분석하는데 이용된다. 이는 정규분포를 따르는 관측자료에 적합하다. 가우시안 모델은 문턱값의 95%에 해당하는 분리거리를 실제적인 상관거리로 결정한다. 가우시안 모델은 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0041] [수학식 2]

[0042] $$\gamma(h) = C_0 Gauss(h) = C_0\left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right)\right]$$

[0043] [수학식 2]에서, C_0는 문턱값, a는 상관거리, h는 분리거리다.

[0044] 상기와 같이, 이론적 베리오그램이 결정되어 등록되면, 크리깅 기법의 적용을 위한 크리깅 행렬 방정식이 등록되는데, 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 우량계 강우 보간 방법에 적용되는 크리깅 기법에 대해 설명한다.

[0045] 일반적으로 크리깅 기법의 주요 목적은 미지점의 값을 예측하기 위해 적용할 가중치를 결정하는 것이다. 가중치 결정에는 예측값과 참값 사이의 오차가 최소가 되도록 하며, 추정값이 편향되지 않는다는 조건이 가정된다. 또한 크리깅 기법에서의 추정식이 항상 편향되지 않기 위해서는 가중치의 합이 1이 되어야 한다.

[0046] 여기서, 가중치를 결정하는 방법에는 다양한 방법이 있으며, 본 발명에서는 오차분산을 최소로 하여 가중치를 결정하는 단순 크리깅 기법이 적용되는 것을 예로 한다.

[0047] 보다 구체적으로 설명하면, 이미 알려진 n개의 관측 자료를 이용하여 단순 크리깅 기법으로 관측 지점 x_0에서 미지값을 예측하는 방법은 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있으며, 오차 분산식은 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0048] [수학식 3]

[0049] $$z_0^* = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i z_i$$

[0050] [수학식 4]

[0051] $$\sigma_{SK}^2 = E[(z_0 - z_0^*)^2]$$

[0052] 여기서, z_0는 예측하고자 하는 참값이고, z_0^*는 단순 크리깅 기법에 의한 예측값이고, n은 관측 자료의 총 개수이고, σ_{SK}^2는 오차 분산이다. 여기서, z_0는 x_0 지점에서의 특성값으로 $z(x_0)$를 나타낸다. x는 위치벡터로 기하학적 차원에 따라 위치성분을 모두 포함한다.

[0053] [수학식 4]를 살펴보면, 오차 분산은 참값(z_0)과 예측값(z_0^*)의 차의 제곱에 대한 기대값으로 정의되며, 가중치의 함수이다. 이는 참값은 알려져 있지 않지만 상수이고 예측값은 가중치의 함수이기 때문이다.

[0054] [수학식 4]를 전개하여 분산과 공분산의 관계식으로 나타내면, [수학식 5]와 같으며, [수학식 5]에 [수학식 4]를 대입하여 정리하면 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

[0055] [수학식 5]

[0056] $$\sigma_{SK}^2 = Var(z_0) - 2Cov(z_0, z_0^*) + Var(z_0^*)$$

[0057] [수학식 6]

$$\sigma_{SK}^2 = \sigma^2 - 2\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\sigma_{0i}^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\lambda_j\sigma_{ij}^2$$

[0058] $$\sigma^2 = Var(z_0),\ \sigma_{0i}^2 = Cov(z_0, z_i),\ \sigma_{ij}^2 = Cov(z_i, z_j)$$

[0059] 여기서, $Cov(z_i, z_j)$는 $z(x_i)$와 $z(x_j)$ 사이의 분리거리에 따라 결정되는 공분산이다.

[0060] [수학식 6]에서, 오차 분산은 가중치의 함수임을 확인할 수 있다. 오차 분산을 각 가중치에 대하여 편미분하여 0이 되는 극값을 구하고, 두 번 편미분하여 그 값이 0보다 크면 오차 분산을 최소로 하는 가중치를 구하게 된다. 이를 수학식으로 나타내면, [수학식 7]과 같으며, 이를 편미분하여 정리하면 [수학식 8]과 같다.

[0061] [수학식 7]

[0062] $$\frac{\partial \sigma_{SK}^2}{\partial \lambda_l} = 0, (l = 1 \sim n)$$

[0063] [수학식 8]

[0064] $$\frac{\partial \sigma_{SK}^2}{\partial \lambda_l} = 0 - 2\sigma_{0l}^2 + 2\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\sigma_{ij} = 0$$

[0065] [수학식 8]을 다시 λ_l에 대하여 편미분하면 $2Cov(z_l, z_l)$이 되고, 이는 분산을 나타내므로 양의 값이 된다. 따라서 [수학식 8]을 만족시키는 가중치들이 오차 분산을 최소로 한다. [수학식 8]을 정리하면, [수학식 9]로 나타낼 수 있으며, [수학식 9]가 크리깅 방정식으로 정의된다.

[0066] [수학식 9]

[0067] $$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\sigma_{li}^2 = \sigma_{0l}^2, (l - 1 \sim n)$$

[0068] 크리깅 방정식인 [수학식 9]를 보다 쉽게 풀기 위해서는 [수학식 10]과 같이 행렬 방정식으로 나타내는 것이 바람직하다. 보다 구체적으로 설명하면, 이미 알려진 관측 자료가 n개 있을 때 각 관측 지점 사이의 공분산과 예측지점 및 각 자료의 공분산으로 구성된 크리깅 방정식을 풀어 가중치를 구하게 된다. [수학식 10]에 주어진 행

렬의 대각성분은 동일한 지점에 존재하는 관측 자료의 공분산이므로 분산이 된다.

[0069] [수학식 10]

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

[0070] $$\sigma_{ij}^2 = Cov(z_i, z_j), \sigma_{\alpha}^2 = Cov(z_0, z_i)$$

[0071] [수학식 10]에서 행렬의 성분은 공분산으로 구성되어 있으며, 크리깅 행렬방정식의 성분인 공분산은 이론적 베리오그램을 이용하여 [수학식 11]과 같이 산출할 수 있다.

[0072] [수학식 11]

[0073] $$Cov(h) = \sigma^2 - \gamma(h)$$

[0074] [수학식 11]에서, $Cov(h)$는 관측 자료간 거리 h에 따른 공분산이고, σ^2는 분산이고, $\gamma(h)$는 앞서 설명한 이론적 베리오그램이다.

[0075] 상기와 같이, 크리깅 행렬방적식이 등록되면, [수학식 11]을 통해 크리깅 행렬 방정식의 공분산을 산출할 수 있고, 크리깅 행렬방정식의 성분, 즉 공분산을 대입하여 크리깅 행렬방정식을 풀면 크리깅 기법에 적용될 가중치가 산출된다(S13). 그리고, 산출된 가중치를 크리깅 기법에 적용하여 우량계 강우를 보간하게 된다(S14).

[0076] 여기서, 본 발명에 따른 우량계 강우 보간 방법은 베리오그램을 구성하는 상술한 상관계수에 우량계 강우 자료의 간헐성 및 비정규성이 반영된다. 본 발명에서 베리오그램의 상관계수에 간헐성 및 비정규성을 반영하는 과정의 설명에 앞서 비정규성과 간헐성과 상관계수의 연관성을 먼저 설명한다.

[0077] **비정규성을 고려한 경우의 상관계수**

[0078] 크리깅 기법의 적용 과정 중 [수학식 10]의 크리깅 행렬방정식을 구성하기 위해서는 행렬성분의 기본이 되는 관측소 사이의 공분산이 산출이 필요하다. 일반적으로 확률변수 X의 증감에 따른 확률변수 Y의 증감의 방향과 정도를 정규화하지 않고 나타낸 것이 공분산이고, 이를 정규화한 것이 상관계수이다. 따라서, 공분산과 상관계수 간의 관계는 [수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

[0079] [수학식 12]

[0080] $$Cov(X, Y) = \rho \sigma_X \sigma_Y$$

[0081] [수학식 12]에서 $Cov(X,Y)$는 관측 자료 X와 Y에 대한 공분산이고, ρ는 두 관측 자료의 상관계수이고, σ_X, σ_Y는 각각의 관측 자료의 표준편차이다.

[0082] [수학식 12]를 통해 공분산은 관측 자료 간 상관계수에 직접적으로 영향을 받음을 확인할 수 있다. 상관계수는 관측 자료가 어떤 분포를 따르는가에 따라 다르게 나타난다. 예를 들어 관측 자료가 정규분포를 따르는 경우와 대수정규분포를 따르는 경우에 대해 상관계수는 다르게 결정된다. 이를 대수정규분포에 관한 이론을 기반으로 설명하면 아래와 같다.

[0083] 먼저, 대수정규분포를 따르는 변량 X의 평균과 분산은 [수학식 13] 및 [수학식 14]와 같이 나타낼 수 있다.

[0084] [수학식 13]

[0085] $$\mu_X = \exp(\lambda + \frac{1}{2}\zeta^2)$$

[0086] [수학식 14]

[0087] $$Var(X) = E(X^2) - \mu_X^2 = \mu_X^2(e^{\zeta^2} - 1)$$

[0088] 여기서, λ와 ζ는 대수정규분포의 모수로 $\ln X$의 평균과 표준편차를 나타낸다. 평균과 분산에 대한 상기와 같은 관계를 이용하면, [수학식 12]와 같은 공분산은 기대값 정리에 의해 결정될 수 있다. 공분산에 대한 기대값 정리는 [수학식 15]와 같이 나타낼 수 있고, 이를 평균과 분산에 대한 [수학식 13] 및 [수학식 14]로 나타내면 [수학식 16]과 같이 표현될 수 있다.

[0089] [수학식 15]

[0090] $$Cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$$

[0091] [수학식 16]

[0092] $$Cov(X, Y) = \mu_X\mu_Y e^{\rho\zeta_X\zeta_Y} - \mu_X\mu_Y = \mu_X\mu_Y(e^{\rho\zeta_X\zeta_Y} - 1)$$

[0093] 상기 관계식을 [수학식 12]에 적용하면, 대수정규분포를 따르는 관측 자료의 상관계수를 결정할 수 있다. 먼저, 두 변량 Z_1, Z_2가 대수정규분포를 따른다고 가정하고, 대수를 취한 변량 X_1, X_2가 정규분포를 다른다고 가정한다. 또한, X_1, X_2의 평균과 분산을 각각 μ_1, μ_2 및 σ_1^2, σ_2^2라 하고, 두 관측 자료 사이의 상관계수를 ρ라고 하면, Z_1과 Z_2사이의 상관계수는 [수학식 17]과 같이 유도될 수 있다.

[0094] [수학식 17]

[0095] $$\frac{Cov(Z_1, Z_2)}{\sqrt{\{var(Z_1) \cdot var(Z_2)\}}} = \frac{\exp(\rho\sigma_1\sigma_2) - 1}{\sqrt{[\exp(\sigma_1^2) - 1][\exp(\sigma_2^2) - 1]}}$$

[0096] [수학식 17]에서 좌측의 식은 [수학식 12]를 상관계수에 관해 정리한 것으로, 일반적으로 정규분포를 따라는 자료의 상관계수를 나타낸다. 반면, 자료가 대수정규분포를 따르는 경우, [수학식 17]의 우측의 식과 같이 상관계수가 정규분포를 따르는 자료의 경우와 다르게 나타난다.

[0097] 따라서 자료가 대수정규분포를 따르는 경우와 정규분포를 따르는 경우에 상관계수의 형태가 다르게 나타난다는 것을 알 수 있다. 이는 결과적으로 베리오그램의 형태를 결정하게 되고 공분산 계산에 영향을 주어, 크리깅 가중치에 영향을 미치게 되는 바, 우량계 강우 자료의 비정규성이 반영되어야 보다 정확한 보간이 가능하게 된다.

[0098] **<u>간헐성을 고려한 경우의 상관계수</u>**

[0099] 상관계수는 관측 자료에 '0'이 어떠한 형태로 포함되어 있느냐에 따라 크게 달라진다. 강우의 특성에 따라 두 강우 관측소에서 측정된 관측 자료는 $(0,0)$, $(x^*,0)$, $(0,y^*)$ 그리고 (x,y)로 분류될 수 있다. 여기서 x^*, y^*, x, 및 y는 양의 관측 자료를 나타낸다. 따라서, 3가지 형태의 관측 자료의 구조에 대해 두 강우 자료 사이의 상관관계를 정의하는 것이 가능하다.

[0100] 제1 케이스는 두 곳의 강우 관측소 모두에서 양의 관측값을 갖는 경우, 즉 $A = \{X > 0 \text{ and } Y > 0\}$로, 관측 자료 (x,y)를 이용하는 경우이고, 제2 케이스는 두 곳의 강우 관측소 중 적어도 하나가 양의 관측값을 갖는 경우, 즉 $B = \{X > 0 \text{ or } Y > 0\}$로, 관측 자료 $(x^*,0)$, $(0,y^*)$ 및 (x,y)를 이용하는 경우이다. 마지막으로 제3 케이스는 두 곳의 강우 관측소 모두 '0' 이상의 관측값을 갖는 경우, 즉 $C = \{X \geq 0 \text{ and } Y \geq 0\}$로, 모든 관측 자료를 이용하는 경우이다.

[0101] 상기와 같이 3가지 케이스에 대한 강우 관측소 간의 상관계수들은 $\rho_i (i = A, B, C)$로 나타낼 수 있다. 이 때 상관계수 ρ_A와 ρ_B는 조건 A와 B에 대한 조건부(Conditional) 상관계수가 되고, ρ_C의 경우는 전체 관측 자료를

사용하므로 비조건부(Unconditional) 상관계수가 된다.

[0102] 만약, 조건 A와 B하에서의 조건부 확률분포함수를 알고 있다면, 평균, 분산 또는 강우 관측소 사이의 상관계수와 같은 통계치들을 산출하는 것이 가능하다. 이와 같은 통계치들의 유도를 위해서는 [수학식 18]과 같은 전확률공식(Total probability theorem)의 적용이 필요하다.

[0103] [수학식 18]

[0104] $$E[h(Y)] = \sum E[h(Y)|X=x]\,P(X=x)$$

[0105] 먼저 $E(X^k)$로 나타나는 조건 C하에서의 모멘트를 유도할 수 있으며, 아울러 $E(X^k|A)$ 또는 $E(X^k|B)$로 표시된 조건 A와 B하에서의 모멘트를 구하는 것도 가능하다. 각각의 경우 중 먼저 $E(X^k)$와 $E(X^k|B)$의 관계를 유도하면 다음과 같다.

[0106] $B=\{X>0 \text{ or } Y>0\}$이며, 이에 대한 여집합은 $B^c=\{X=0 \text{ and } Y=0\}$이다. B의 확률은 $P(B)=1-P(B^c)=1-p_{00}$이다. 따라서 [수학식 18]을 이용하면 [수학식 19]와 같은 관계식을 유도할 수 있다.

[0107] [수학식 19]

[0108] $$E(X^k) = E(X^k|B)P(B) + E(X^k|B^c)P(B^c) = (1-p_{00})E(X^k|B)$$

[0109] 그리고, $E(X^k)$와 $E(X^k|A)$의 관계 또한 [수학식 20]과 같이 유도될 수 있다.

[0110] [수학식 20]

[0111]
$$\begin{aligned} E(X^k) &= E(X^k|X=0,Y=0)P(X=0,Y=0) \\ &\quad + E(X^k|X>0,Y=0)P(X>0,Y=0) \\ &\quad + E(X^k|X=0,Y>0)P(X=0,Y>0) \\ &\quad + E(X^k|X>0,Y>0)P(X>0,Y>0) \\ &= E(X^k|X>0,Y=0)P(X>0,Y=0) \\ &\quad + E(X^k|X>0,Y>0)P(X>0,Y>0) \\ &= \delta_1 E(X^k|X>0,Y=0) + \delta_3 E(X^k|A) \end{aligned}$$

[0112] 동일한 방법으로, [수학식 21] 및 [수학식 22]와 같은 관계식의 유도가 가능하다.

[0113] [수학식 21]

[0114] $$E(Y^k) = p_{01}E(Y^k|X=0,Y>0) + p_{11}E(Y^k|A) = (1-p_{00})E(Y^k|B)$$

[0115] [수학식 22]

[0116] $$E(X^kY^k) = p_{11}E(X^kY^k|A) = (1-p_{00})E(X^kY^k|B)$$

[0117] 따라서 [수학식 19] 내지 [수학식 22]에 주어진 모멘트를 이용하면 강우 관측소 간 상관계수인 ρ_A, ρ_B, ρ_C의 산출이 가능하게 된다. [수학식 19] 내지 [수학식 22]의 모멘트는 서로 관계되어 있기 때문에 어떤 조건에서의 모멘트로부터 다른 조건에서의 모멘트를 산출하는 것도 가능하다.

[0118] 먼저, 상관계수인 ρ_A는 [수학식 23]과 같이 정의될 수 있다.

[0119] [수학식 23]

[0120] $$\rho_A = \frac{E(XY|A) - E(X|A)E(Y|A)}{\left[E(X^2|A) - E^2(X|A)\right]^{1/2}\left[E(Y^2|A) - E^2(Y|A)\right]^{1/2}}$$

[0121] 수학식 19] 내지 [수학식 22]에 주어진 관계식를 이용하면 상관계수 ρ_A는 [수학식 24]와 같이 유도될 수 있다.

[0122] [수학식 24]

[0123]
$$\begin{aligned}\rho_A = & \left[p_{11}E(XY) - \left\{E(X) - p_{10}E(X|X>0,\ Y=0)\right\}\right. \\ & \left.\times\left\{E(Y) - p_{01}E(Y|X=0,\ Y>0)\right\}\right] \\ & \div\left[p_{11}\left\{E(X^2) - p_{10}E(X^2|X>0,\ Y=0)\right\}\right. \\ & \left.-\left\{E(X) - p_{10}E(X|X>0,\ Y=0)\right\}^2\right]^{1/2} \\ & \div\left[p_{11}\left\{E(Y^2) - p_{01}E(Y^2|X=0,\ Y>0)\right\}\right. \\ & \left.-\left\{E(Y) - p_{01}E(Y|X>0,\ Y>0)\right\}^2\right]^{1/2}\end{aligned}$$

[0124] 한 곳의 강우 관측소 또는 두 곳의 강우 관측소가 모두 양의 값을 나타내면 ρ_B는 [수학식 25]와 같이 정의되고, [수학식 21] 내지 [수학식 24]을 이용하면 ρ_B는 [수학식 26]과 같이 나타낼 수 있다.

[0125] [수학식 25]

[0126]
$$\rho_B = \frac{E(XY|B) - E(X|B)E(Y|B)}{\left[E(X^2|B - E^2(X|B)\right]^{1/2}\left[E(Y^2|B - E^2(Y|B)\right]^{1/2}}$$

[0127] [수학식 26]

[0128]
$$\rho_B = \frac{\frac{E(XY)}{(1-p_{00})} - \frac{E(X)E(Y)}{(1-p_{00})^2}}{\left[\frac{E(X^2)}{(1-p_{00})} - \frac{E^2(X)}{(1-p_{00})^2}\right]^{1/2}\left[\frac{E(Y^2)}{(1-p_{00})} - \frac{E^2(Y)}{(1-p_{00})^2}\right]^{1/2}}$$

[0129] [수학식 26]에서 $p_{00} \to 0$일 때, 즉, 두 강우 관측소에 동시에 무강우가 기록되지 않는 경우에는 $\rho_B \to \rho_P$가 된다. 상기와 같은 수학식을 통해 관측 자료에 '0'이 포함된 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 상관계수가 다르게 나타날 수 있음을 확인할 수 있으며, 이는 우량계 강우 자료의 간헐성이 반영되어야 함을 나타낸다.

[0130] 상기와 같이, 강우에 대한 관측 자료의 비정규성과 간헐성이 상관계수에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 본 발명에 따른 우량계 강우의 보간 방법에서는 우량계 강우 자료의 간헐성과 비정규성을 모두 반영하여 상관계수를 결정하게 된다.

[0131] 보다 구체적으로 설명하면, 강우 자료인 관측 자료는 앞서 설명한 바와 같이, 정규분포를 따르지 않으며, 일반적으로 정규분포보다 대수정규분포로 설명될 수 있음은 공지되어 있다. 따라서, 강우 자료인 관측 자료의 상관계수는 정규분포를 따르는 자료에 0이 포함된 경우의 상관계수와는 다르게 나타날 것이다.

[0132] 본 발명에서는 대수정규분포를 따르는 자료에 '0'이 포함된 경우에 해당하는 관측 자료에 이변량 혼합 대수정규분포(Bivariate mixed log-normal distribution)을 적용하는 것을 예로 하며, 이에 대한 상관계수는 다음과 같이 설명될 수 있다.

[0133] 이변량 혼합 대수정규분포를 [수학식 27]과 같이 정의된다. 여기서, 혼합의 의미는 불연속과 연속 분포를 모두 고려한 것을 나타낸다.

[0134] [수학식 27]

[0135]
$$\triangle_2(\delta_0, \delta_1, \delta_2, \mu_1^*, \mu_2^*, \mu_1, \mu_2, \sigma_1^{*2}, \sigma_2^{*2}, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$$

[0136] [수학식 27에서, $\delta = P(X=0, Y=0)$, $0 \le \delta \le 1$이다. 일반적으로 단변량 대수정규(Log-normal) 분포함수는 F나 G로 나타낼 수 있고, 이변량 대수정규 결합분포함수는 H로 나타낼 수 있으므로, [수학식 27]은 [수학식 28] 내지 [수학식 30]과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 28]

$$F(x) = \Lambda_1(x|\mu_1^*, \sigma_1^{*2}), \text{if } (x > 0)$$

[수학식 29]

$$G(x) = \Lambda_1(y|\mu_2^*, \sigma_2^{*2}), \text{if } (y > 0)$$

[수학식 20]

[0137] $$H(x,y) = \Lambda_2(x,y|\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho), \text{if } (x > 0, y > 0)$$

[0138] 여기서, $\Lambda_1(\cdot|\mu, \sigma^2)$는 대수정규분포의 평균 μ와 분산 σ^2을 나타내고, $\Lambda_2(\cdot, \cdot|\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$는 이변량 대수정규분포의 평균 μ_1, μ_2, 분산 σ_1^2, σ_2^2, 상관계수 ρ를 나타낸다. 따라서 이변량 혼합 대수정규분포의 모수는 [수학식 31] 내지 [수학식 39]와 같이 나타낼 수 있다.

[0139] [수학식 31]

[0140] $$\mu_1 = E(\log X | X > 0,\ Y > 0)$$

[0141] [수학식 32]

[0142] $$\mu_1^* = E(\log X | X > 0,\ Y = 0)$$

[0143] [수학식 33]

[0144] $$\mu_2 = E(\log X | X > 0,\ Y > 0)$$

[0145] [수학식 34]

[0146] $$\mu_2^* = E(\log X | X = 0,\ Y > 0)$$

[0147] [수학식 35]

[0148] $$\sigma_1^2 = Var(\log X | X > 0,\ Y > 0)$$

[0149] [수학식 36]

[0150] $$\sigma_1^* = Var(\log X | X > 0,\ Y = 0)$$

[0151] [수학식 37]

[0152] $$\sigma_2^2 = Var(\log Y | X > 0,\ Y > 0)$$

[0153] [수학식 38]

[0154] $$\sigma_2^* = Var(\log Y | X = 0,\ Y > 0)$$

[0155] [수학식 39]

[0156] $$\rho = Corr(\log X, \log Y | X > 0,\ Y > 0)$$

[0157] X 또는 Y가 대수정규분포를 따를 때 $A = (X > 0 \text{ and } Y > 0)$인 경우에 대하여 모멘트는 [수학식 40] 내지

[수학식 43]과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 40]

$$E(X|A) = \exp(\mu_1 + \sigma_1^2/2)$$

[수학식 41]

$$E(X^2|A) = \exp(2\mu_1 + 2\sigma_1^2)$$

[수학식 42]

$$E(Y|A) = \exp(\mu_2 + \sigma_2^2/2)$$

[수학식 43]

$$E(Y^2|A) = \exp(2\mu_2 + 2\sigma_2^2)$$

[0158]

[0159] 이변량 대수정규분포로 주어진 (X, Y)의 결합분포에서 제1 케이스의 조건 A에 대한 XY의 기댓값은 [수학식 44]와 같이 나타낼 수 있다.

[0160] [수학식 44]

$$E(XY|A) = \exp[\mu_1 + \mu_2 + (\sigma_1^2 + 2\sigma_1\sigma_2\rho + \sigma_2^2)/2]$$

[0161]

[0162] [수학식 40] 내지 [수학식 44]를 이용하면, [수학식 12]에 따라 제1 케이스의 상관계수 ρ_A를 [수학식 45]와 같이 산출할 수 있다.

[0163] [수학식 45]

$$\rho_A = \frac{\exp(\rho\sigma_1\sigma_2 - 1)}{\sqrt{[\exp(\sigma_1^2) - 1][\exp(\sigma_2^2) - 1]}}$$

[0164]

[0165] 제2 케이스 및 제3 케이스에 대한 상관계수 ρ_B, ρ_C를 산출하기 위해서는 $E(X^k|X>0, Y=0)$과 $E(Y^k|X=0, Y>0)$, $(k=1,2)$의 조건이 필요하다. $X>0$과 $Y=0$인 경우에 X의 분포가 평균과 분산 μ_1^*와 σ_1^{*2}를 갖는 대수정규분포를 따르므로 [수학식 46] 및 [수학식 47]의 관계를 도출할 수 있다.

[수학식 46]

$$E(X|X>0, Y=0) = \exp(\mu_1^* + \sigma_1^{*2}/2)$$

[수학식 47]

$$E(X^2|X>0, Y=0) = \exp(2\mu_1^* + 2\sigma_1^{*2})$$

[0166]

[0167] 또한, [수학식 48] 및 [수학식 49]와 같은 관계식의 유도가 가능하다.

[수학식 48]

$$E(Y|X=0,\ Y>0)=\exp(\mu_2^*+\sigma_2^{*2}/2)$$

[수학식 49]

[0168] $$E(Y^2|X>0,\ Y=0)=\exp(2\mu_2^*+2\sigma_2^{*2})$$

[0169] [수학식 21] 및 [수학식 22]와, [수학식 46] 및 [수학식 49]의 모멘트 사이의 관계를 이용하면, 제3 케이스의 상관계수 ρ_C를 산출할 수 있다. 또한, $B=\{X>0 or Y>0\}$ 의 조건으로 주어지는 제2 케이스의 상관계수 ρ_B는 [수학식 28] 내지 [수학식 30]을 통해 산출할 수 있다.

[0170] 상기와 같은 과정을 통해, 비정규성과 간헐성을 갖는 우량계 강우 자료를 크리깅 기법을 적용하여 보간하는데 있어, 제1 케이스, 제2 케이스 및 제3 케이스에 따라 상관계수를 산출하여, 비정규성 및 간헐성이 반영된 크리깅 기법의 적용이 가능하게 된다.

[0171] 이하에서는, 도 2 내지 도 8을 참조하여 본 발명에 따른 우량계 강우의 보간 방법의 효과에 대해 설명한다.

[0172] 본 발명의 실시예에 따른 우량계 강우 자료의 보간 기법을, 도 2에 도시된 바와 같이, 관악산 레이더 관측 범위 내 분포한 기상청 45개 관측소의 우량계 강우 자료에 적용하는 시뮬레이션이 수행되었다. 그리고, 시뮬레이션 결과를 관악산 레이더 강우의 분포와 비교한다. 이는 레이더 강우가 우량계 강우보다 정도는 낮지만 강우의 공간분포를 비교적 정확하게 관측할 수 있기 때문이다.

[0173] 2010년 9월 11일에 발생한 호우사상 중 많은 양의 강우가 기록된 2010년 9월 11일 4시 30분(Event 1)과 8시 30분(Event 2) 2개 시점의 관측 자료를 이용하여 단순 크리깅을 수행하였다. 도 3의 (a)는 Event 1의 레이더 강우 분포를 나타낸 것이고, 도 3의 (b)는 Event 2의 레이더 강우 분포를 나타낸 것이다.

[0174] 본 발명의 실시예에 따른 우량계 강우 자료의 보간 방법의 효과를 검증하기 위해, 강우 특성의 고려 여부에 따라 네 개의 케이스로 구분하여 시뮬레이션이 진행되었다. 강우 자료의 특성을 고려하지 않은 경우(Case 1), 간헐성만 고려한 경우(Case 2), 자료의 비정규성만 고려한 경우(Case 3), 본 발명의 실시예에서와 같이 간헐성과 비정규성을 모두 고려한 경우(Case 4)로 구분하였다. Case 1 및 Case 2에서는 우량계 강우의 원자료를 이용하였고, Case 3 및 Case 4에서는 자연로그를 적용한 우량계 강우 자료를 적용하였다. 이는 정규분포를 따르지 않는 자료의 특성을 고려하여 자연로그를 적용한 자료가 정규분포를 따를 것으로 가정하고 접근한 것이다.

[0175] [표 1]은 우량계 강우와 레이더 강우의 평균, 분산, 최대값을 정리한 것이다.

[0176] [표 1]

자료		우량계 강우			레이더 강우		
		평균	분산	최대값	평균	분산	최대값
Event 1	원자료	3.00	19.23	21.00	0.80	3.62	22.23
	자연로그 적용	0.82	0.77	03.04	0.24	0.27	03.10
Event 2	원자료	6.93	80.52	42.00	0.81	17.14	34.77
	자연로그 적용	1.32	1.42	03.74	0.26	0.55	03.55

[0177]

[0178] 도 4 및 도 5는 는 레이더 강우의 경험적 베리오그램(Empirical)과 이론적 베리오그램(Gaussian)을 나타낸 것으로, 도 4는 Event 1의 베리오그램이고, 도 5는 Event 2의 베리오그램이다. 도 4 및 도 5의 (a)는 Case 1, 도 4 및 도 5의 (b)는 Case 2, 도 4 및 도 5의 (c)는 Case 3, 도 4 및 도 5의 (d)는 Case 4이다. 그리고, [표 2]는 베리오그램의 문턱값과 상관거리를 정리한 것이다.

[0179] [표 2]

자료		문턱값(mm^2/hr^2)	상관거리(km)
Event 1	Case 1	5.13	5.86
	Case 2	2.40	14.61
	Case 3	0.31	7.30
	Case 4	0.19	17.53
Event 2	Case 1	11.21	6.60
	Case 2	3.88	13.13
	Case 3	0.42	8.10
	Case 4	0.21	17.22

[0180]

[0181] 도 4 및 도 5, 그리고 [표 2]를 통해 확인할 수 있듯이, 강우 자료의 간헐성이나 비정규성을 고려하여 베리오그램을 유도한 경우, 그렇지 않은 경우와 비교하여 문턱값은 작고 상관거리는 크게 나타남을 확인할 수 있다. 특히, 강우 자료의 간헐성이 비정규성보다 상관거리에 미치는 영향이 더 크게 나타났다. 강우 자료의 간헐성과 비정규성을 모두 고려한 경우에는 다른 모든 경우보다 문턱값은 작고 상관거리는 매우 크게 나타났다. 이는 강우 자료의 간헐성을 고려한 경우 레이더 강우에 포함된 많은 양의 '0'이 분산을 감소시키고 강우 자료간 상관정도를 증가시키기 때문이다. 여기에 강우 자료의 비정규성을 추가로 고려할 경우 자연로그를 적용한 자료를 이용함에 따라 이상치의 영향이 감소하여 자료의 상관도는 더 크게 나타나게 된다. 이는 강우 자료의 특성을 고려할 때 강우 자료의 상관도를 극대화할 수 있음을 나타낸다.

[0182] 한편, 도 6의 (a)는 Event 1에 대한 우량계 강우의 위치이고, 도 6의 (b)는 Event 2에 대한 우량계 강우의 위치이고, 도 6의 (c)는 Event 1에 대한 레이더 강우의 위치이고, 도 6의 (d)는 Event 2에 대한 레이더 강우의 위치이다. 도 6에서 속이 빈 네모는 우량계지점에서 무강우로 기록된 우량계 강우와 레이더 강우를 나타낸다. 도 6에서 확인할 수 있듯이, 레이더 강우와 우량계 강우가 유사하게 나타나는 부분도 있지만, 대부분의 경우 레이더 강우가 우량계 강우보다 작게 관측된 것으로 나타났다.

[0183] 도 7 및 도 8은 각각 도 6에 도시된 우량계 강우 자료와 레이더 강우 자료를 이용한 단순 크리깅 결과를 나타낸 것이다. 도 7 및 도 8의 (a) 내지 (d)는 Event 1, (e) 내지 (h)는 Event 2에 대해 적용한 결과이고, (a) 및 (e)는 Case 1, (b) 및 (f)는 Case 2, (c) 및 (g)는 Case 3, (d) 및 (h)는 Case 4를 나타낸 것이다.

[0184] 도 7 및 도 8을 통해 확인할 수 있듯이, 우량계 강우와 레이더 강우를 이용한 단순 크리깅 결과는 Case 별로 대체로 유사하게 나타난 것을 알 수 있다. 다만, 우량계 강우를 이용한 결과가 레이더 강우를 이용한 결과보다 강우의 크기가 크게 나타났으며, 강우 면적도 더 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.

[0185] 강우 자료의 특성을 고려하지 않고 단순 크리깅을 수행한 경우 우량계 강우와 레이더 강우의 단순 크리깅 결과 모두 강우 면적이 작게 나타났다. 이는 상관거리가 가장 작게 나타났기 때문이다. 강우 자료의 간헐성만 고려하여 단순 크리깅을 수행한 경우 상관거리가 크게 나타나면서 강우 자료의 특성을 고려하지 않은 경우와 비교하여 강우 면적이 크게 나타났다. 강우 자료의 비정규성만 고려하여 단순 크리깅을 수행한 경우에는 우량계 강우와 레이더 강우 모두 앞의 두 결과보다 강우 면적이 더 크게 나타났다. 강우 자료의 간헐성과 비정규성을 모두 고려한 경우에는 강우의 공간분포가 더 크게 나타났다. 특히, Event 1에서 우량계 강우와 레이더 강우를 이용한 결과 모두 다른 결과보다 강우 면적이 가장 크게 나타났다. 이는 상관거리가 가장 크게 나타났기 때문이다.

[0186] [표 3]과 [표 4]는 우량계 강우와 레이더 강우에 대한 단순 크리깅 결과와 관측된 레이더 강우 사이의 검정통계량을 정리한 것이다. 우량계 강우와 레이더 강우에 대한 단순 크리깅 결과와 관측된 레이더 강우를 비교한 결과, 강우 자료의 특성을 고려한 경우가 강우 자료의 특성을 고려하지 않은 경우보다 RMSE이가 작게 나타났다. 특히, 우량계 강우와 레이더 강우를 이용한 단순 크리깅 결과 모두 자료의 간헐성을 고려한 경우에 RMSE가 최소로 나타났다. 이와 같은 결과를 통해 강우 자료의 특성을 고려하여 단순 크리깅을 수행한 경우가 그렇지 않은 경우보다 예측 결과를 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

[0187] [표 3]

자료	Case 1				Case 2			
	평균	최대값	RMSE	BS	평균	최대값	RMSE	BS
Event 1	0.29	21.01	1.965	0.363	0.63	21.00	1.825	0.783
Event 2	0.61	42.00	3.620	0.753	1.11	42.23	3.413	1.370
자료	Case 3				Case 4			
	평균	최대값	RMSE	BS	평균	최대값	RMSE	BS
Event 1	0.55	20.74	1.869	0.687	0.89	23.25	1.883	1.110
Event 2	0.64	41.05	3.492	0.791	1.09	52.66	3.501	1.342

[0188]

[0189] [표 4]

자료	Case 1				Case 2			
	평균	최대값	RMSE	BS	평균	최대값	RMSE	BS
Event 1	0.11	7.25	1.586	0.138	0.41	7.73	1.454	0.513
Event 2	0.23	7.98	1.791	0.289	0.52	7.98	1.553	0.636
자료	Case 3				Case 4			
	평균	최대값	RMSE	BS	평균	최대값	RMSE	BS
Event 1	0.34	7.29	1.487	0.425	0.87	11.55	1.475	1.088
Event 2	0.51	7.97	1.642	0.633	0.92	9.31	1.613	1.141

[0190]

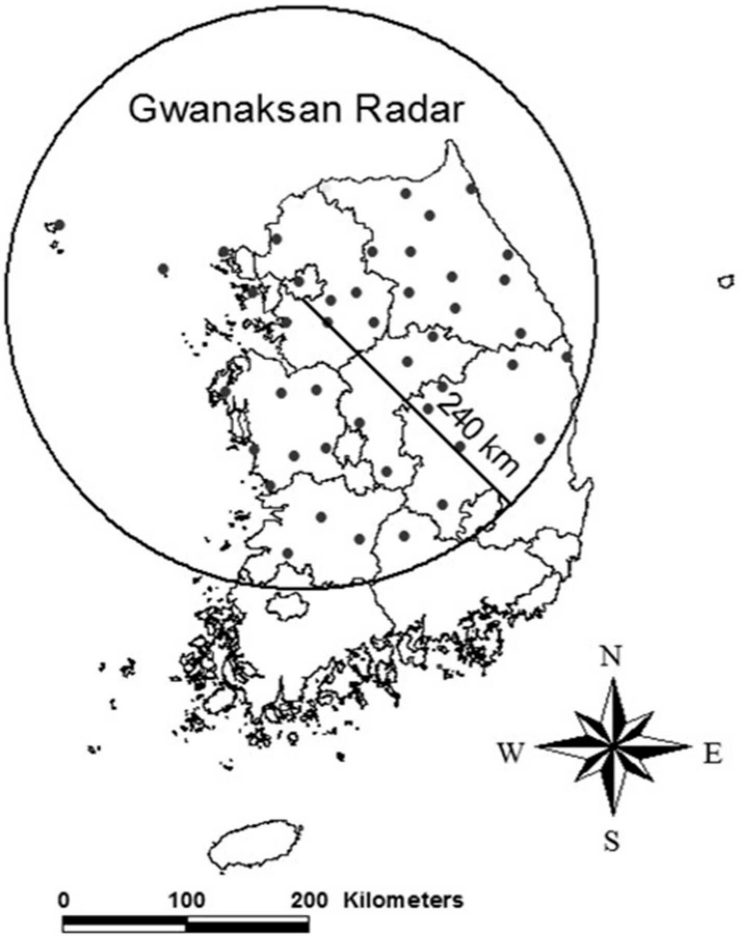
[0191] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

도면

도면1

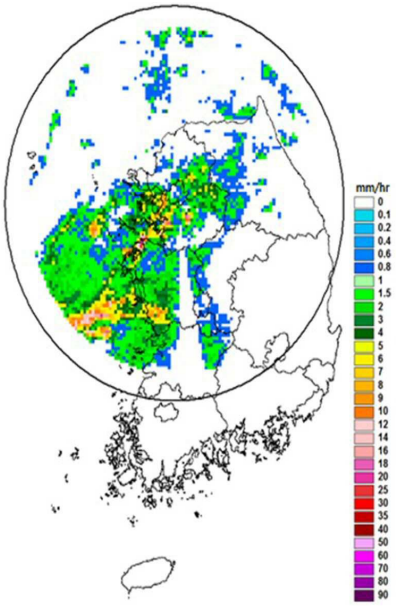

시 작
베리오그램 등록
S10
크리깅 행렬 방정식 등록
S11
공분산 산출
S12
가중치 산출
S13
우량계 강우 보간
S14
종 료

도면2

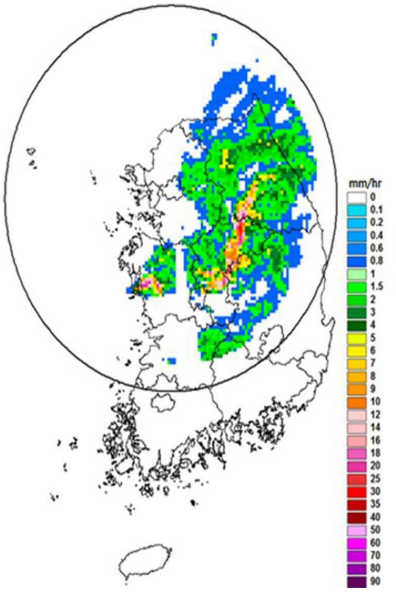

Gwanaksan Radar
240 km
N
W
E
S
0
100
200 Kilometers

도면3

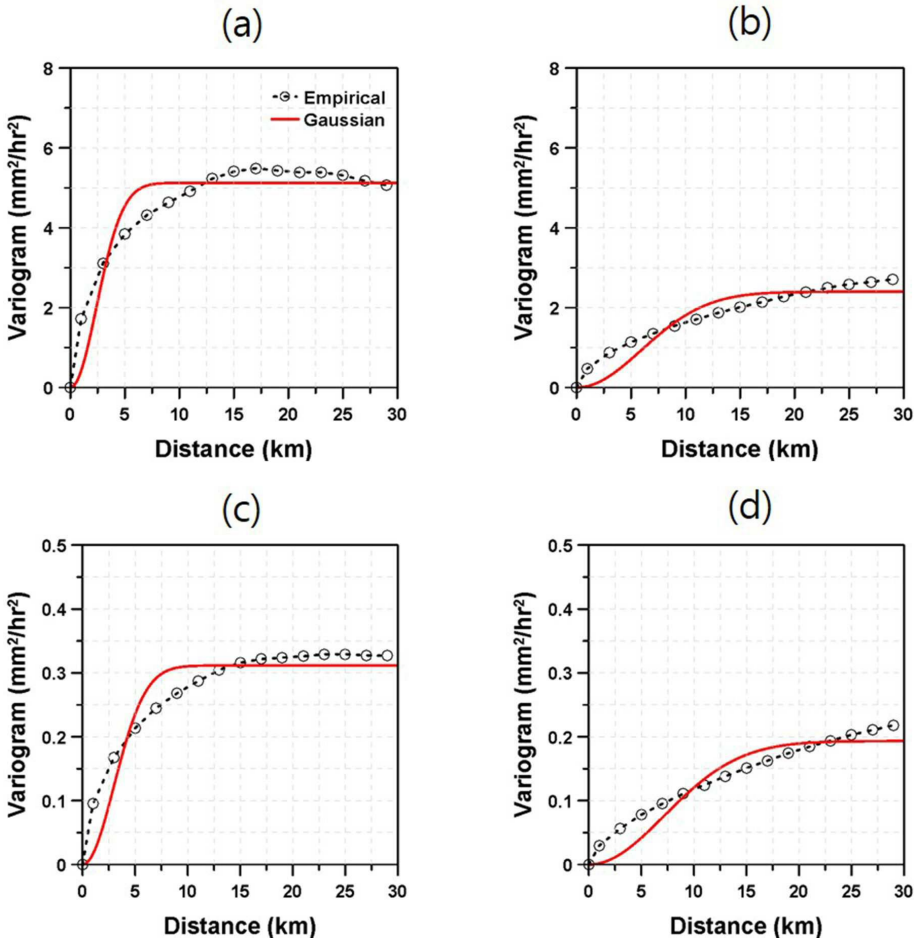
(a)


mm/hr
0
0.1
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.5
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12
14
16
18
20
25
30
35
40
50
60
70
80
90

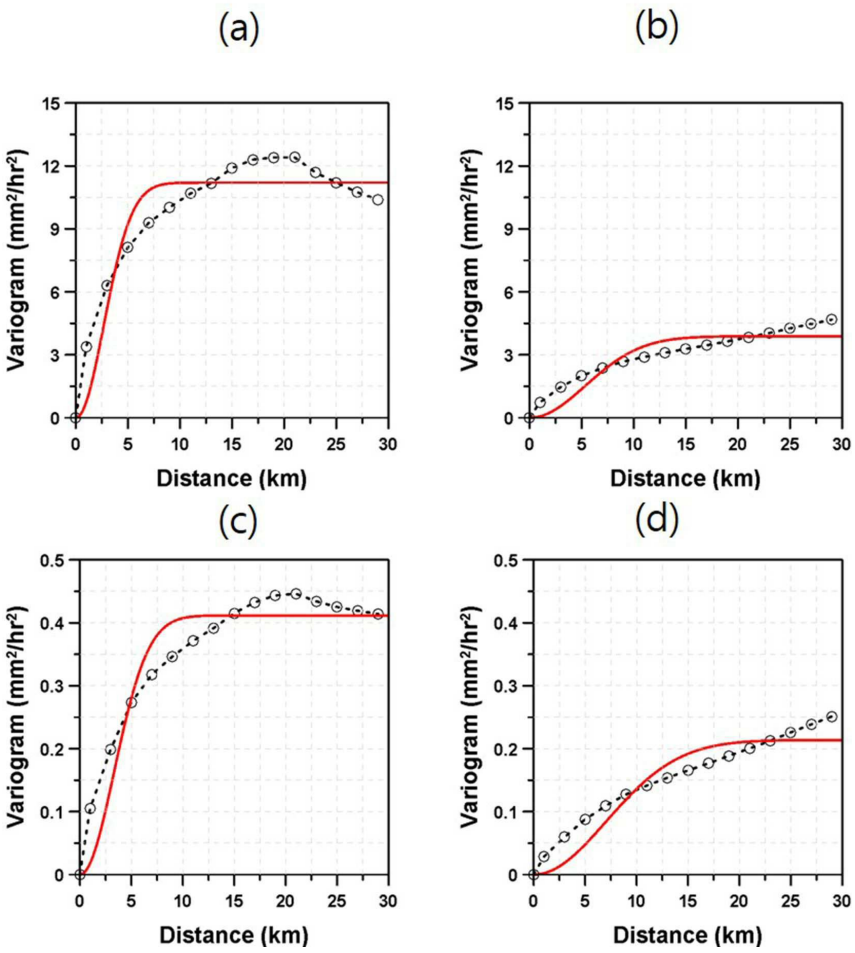
(b)


mm/hr
0
0.1
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.5
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12
14
16
18
20
25
30
35
40
50
60
70
80
90

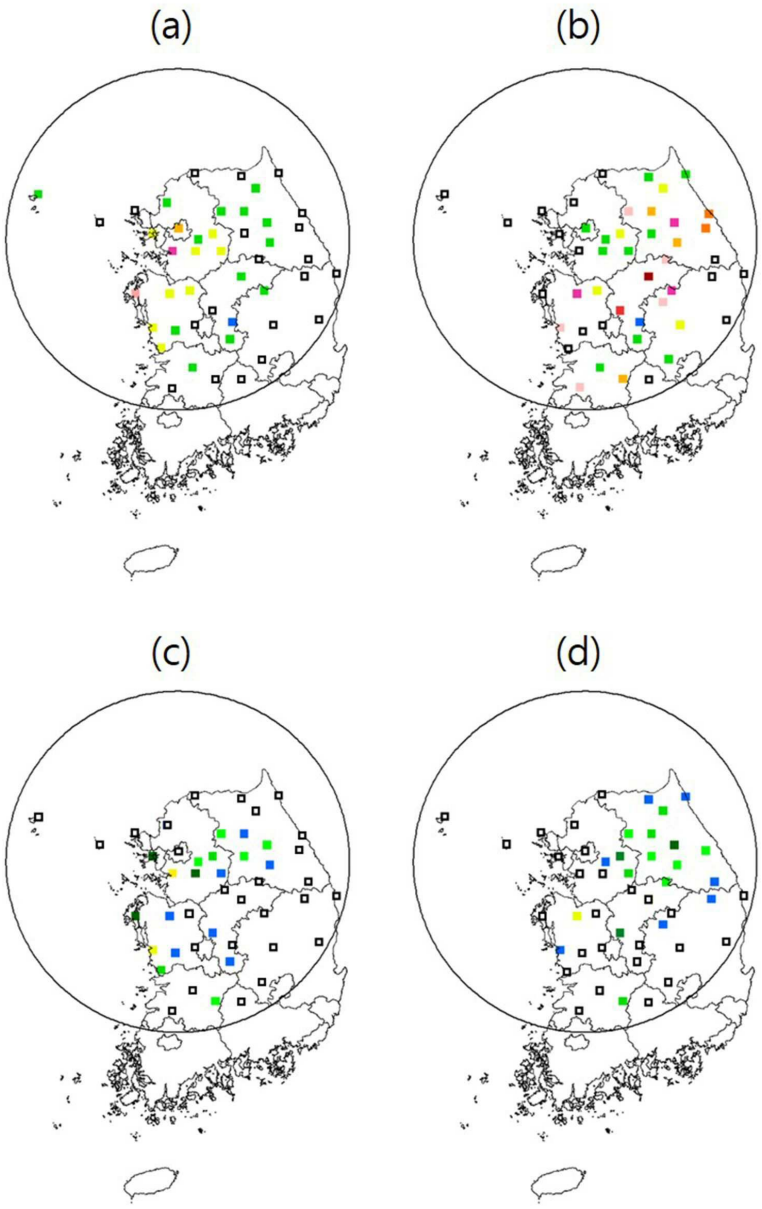
도면4



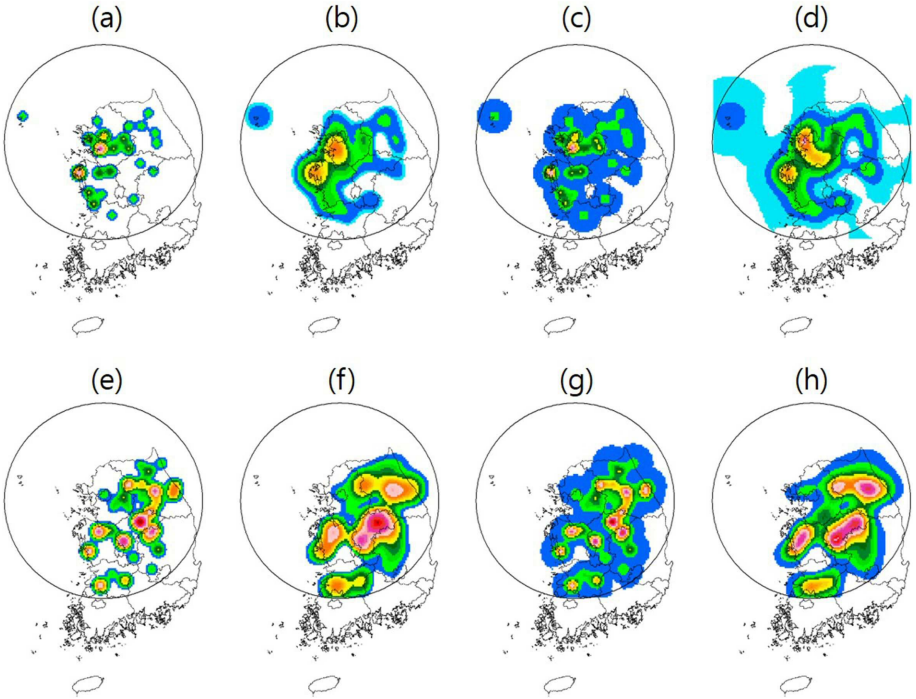
도면5


(a)
(b)
(c)
(d)
Variogram (mm²/hr²)
Distance (km)
0
3
6
9
12
15
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
5
10
20
25
30

도면6



도면7



도면8

