

공간보간법의 매개변수 설정에 따른 평균제곱근 비교 및 평가

이형석^{1*}

Comparison and Evaluation of Root Mean Square for Parameter Settings of Spatial Interpolation Method

Hyung-Seok LEE^{1*}

요 약

본 연구는 미측정점의 값을 모델링하기 위해 사용되는 여러 가지 공간보간방법들의 예측오차를 비교하고 정확성을 검증하였다. 동해안 해안 지역의 표고점을 대상으로 역거리가중법, 크리깅, 지역다항식보간법, 방사기반함수의 공간보간법과 관련된 매개변수들을 동일한 조건하에서 실행하여 평균제곱근을 산출한 결과, 단순 크리깅 방법의 원형 모델이 가장 작은 값으로 나타났다. 래스터의 연산 결과, 방사기반함수의 다중방정식에 의한 예측 지도가 대상 지역의 불규칙삼각망 표현과 일치 정도가 높았다. 또한 공간보간 실행시 선택된 조건하에서 제공되는 최적 파워값을 사용하는 것이 양호한 보간 결과를 얻을 수 있다.

주요어 : 공간 보간, 역거리가중법, 크리깅, 지역다항식보간법, 방사기반함수, 평균제곱근, 래스터 연산

ABSTRACT

In this study, the prediction errors of various spatial interpolation methods used to model values at unmeasured locations was compared and the accuracy of these predictions was evaluated. The root mean square (RMS) was calculated by processing different parameters associated with spatial interpolation by using techniques such as inverse distance weighting, kriging, local polynomial interpolation and radial basis function to known elevation data of the east coastal area under the same condition. As a result, a circular model of simple kriging reached the smallest RMS value. Prediction map using the multiquadric method of a radial basis function was coincident with the spatial distribution obtained by constructing a triangulated irregular network of the study area through the raster mathematics. In addition, better interpolation results can be obtained by setting the optimal power value provided under the selected condition.

2010년 6월 16일 접수 Received on June 16, 2010 / 2010년 7월 19일 수정 Revised on July 19, 2010 / 2010년 8월 11일 심사완료 Accepted on August 11, 2010

1 한중대학교 토목환경공학과 Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanzhong University

* 연락처 E-mail : LHS0815@empas.com

KEYWORDS : *Spatial Interpolation, Inverse Distance Weighting, Kriging, Local Polynomial Interpolation, Radial Basis Functions, Root Mean Square, Raster Mathematics*

서 론

표고, 농도, 밀집도 등의 점 자료 분석에서는 공간보간법을 이용하여 불연속적으로 이루어진 측정값을 연속적인 표면으로 생성한다. 이 공간보간법은 점 자료의 분포 및 상태에 따른 정확한 표면 구현을 위해 표면 결과에 영향을 미치는 다양한 매개변수를 설정하게 되어 있다. 따라서 어떠한 공간보간법을 선택하여 적용하느냐에 따라 예측되는 보간의 결과가 달라지게 된다.

면적과 토공량을 보간 방법별로 구한 경우, 역거리보간기법(inverse distance method)이 면적과 표면적, 그리고 토공량에서 가장 큰 값을 보였고, 최근린기법(nearest neighborhood)이 가장 작은 값을 보였다(박운용 등, 2001). 강수 자료를 기후 변화에 응용하기 위해서 크리깅(kriging) 기법을 이용한 시뮬레이션의 가능성을 제시하였으며(Skelly, 2003), 지수형 크리깅과 보편 크리깅 모델이 일관된 결과를 보여주고 합리적인 평가를 나타냈다(Naoum and Tsanis, 2004). 액상화 평가와 관련된 모든 자료들을 지리정보시스템에 적용하여 공간 보간을 통해 지도화 하였으며(유시동 등, 2005), 호수의 복원에 있어 1m 간격의 등고선을 추출한 경우에는 크리깅보다는 역거리가중방법을 이용하여 얻은 등고선의 연결성이 보다 자연스럽게 나타났다(최광희 등, 2006). 지역경향면모델, 역거리가중법(IDW), 방사기반함수(RBF), 크리깅 등의 공간보간 기법을 서울시의 미세먼지(PM₁₀)의 연평균 농도 보간에 적용하고 정확성을 평가한 바 있다(조홍래와 정종철, 2007). 오염 물질의 공간 분포 추이 및 분포 패턴을 분석하기 위해 역거리가중방법과 크리깅 방법간의 상대적 유효성을 검증한 경우는 측정 지점의 개수가 100개 미만인 경우 크리깅 방법이, 100개 이상인 경우는 역거리가중방법이 우수하게 나타났다(백승아

등, 2008). 역거리가중(inverse distance weight) 보간법, 최근린 보간법, 크리깅 보간법을 수치표고모형 생성에 적용하여 시각적으로 비교한 결과, 지형 특성에 대한 보간법으로 산악지와 구릉지에는 크리깅 보간법, 평지에서는 역거리가중보간법이 적합하였다(이동천 등, 2009). 등우선도의 작성을 위하여 관측소별 강우량을 역거리가중법, 방사기반함수, 크리깅 기법을 이용하여 강우량의 공간보간을 실시하였다(이용신 등, 2009).

이와 같이 점 자료의 공간 보간에 역거리가중기법, 크리깅 등의 여러 방법들을 적용한 많은 연구들이 진행되고 있다. 본 연구는 동해안 해안지역의 표고점을 선정하여 다양한 공간보간 방법을 적용하는 경우 초기 조건 및 매개변수 설정값에 따른 평균제곱근(Root Mean Square; RMS)를 산출하고 래스터 연산의 정량적 분석을 통해 일치 정도를 평가함으로써 양호한 공간보간 방법을 제시하고자 한다.

공간보간법

공간보간에는 결정론적(deterministic) 기법과 지리통계적(geostatistical) 기법으로 나뉘어진다. 결정론적 보간 기법은 수학 함수를 사용하며 전역(global) 보간과 지역(local) 보간의 두 그룹으로 분류된다. 전역 보간법은 전체 데이터 셋을 이용하여 예측값을 계산하는 전역다항식보간법(global polynomial interpolation)이 있으며, 지역보간법은 실험 지역내에 작은 공간 지역인 특정 이웃값내의 측정값에서 예측값을 계산하는 기법으로 역거리가중법, 지역다항식보간법(local polynomial interpolation), 방사기반함수(radial basis function)가 있어 측정된 점들에서 표면들을 생성한다. 지리통계적 보간법은 통계학적 및 수학적 방법에 근거하며 예측값의 오차나 불확실성을 포함하는 보다 진보된 예측 지표면 모델링을 위해 사용된

다. 지리통계적보간기법인 크리깅은 측정된 점들의 통계 성분을 이용하며 측정된 점들 간의 자기상관(autocorrelation)을 정량화한다(ESRI, 2001; ESRI, 2003).

1. 역거리가중법

비교적 간단한 보간법으로서 예측지점으로 부터 가까이 있는 측점이 먼 곳의 측점보다 더 큰 영향을 미치도록 가중치(weight)를 설정한다. 즉 거리에 역비례한다.

2. 크리깅

크리깅은 자료의 경향(trend)을 고려하며 측정값들 간의 통계적 관계인 자기상관을 포함하는 통계적 모델에 근거한다. 역거리가중법과 마찬가지로 보간하고자 하는 점 주위의 측정값에 가중치를 설정하지만, 거리에 근거한 알고리즘을 사용하는 역거리가중법과 달리 크리깅 가중치는 데이터의 공간 구조를 파악하기 위해 반베리오그램(semivariogram)에서 계산한다. 반베리오그램은 데이터 점들의 통계적 상관성을 보여주는데, 일련의 점 데이터에서 공간적 패턴을 특징화하는데 필요한 구조 및 모델을 정량적으로 평가한다. 크리깅에는 정규(ordinary) 크리깅, 단순(simple) 크리깅, 보편(universal) 크리깅, 척도(indicator) 크리깅, 확률(probability) 크리깅, 선연(disjunctive) 크리깅 방법들이 있다. 반베리오그램을 모형화하기 위해 원형(circular), 구형(spherical), 테트라구형(tetraspherical), 지수형(exponential), 가우스형(gaussian), 홀 효과(hole effect) 등을 선택할 수 있다(ESRI, 2001; ESRI, 2003).

3. 지역다항식보간법

지역다항식보간법이 모든 자료를 사용하여 표면을 부드럽게 생성하고 장거리 범위의 경향을 구별하는데 사용되는 반면에, 지역다항식보간법은 지역화된 범위내에서 부분적으로 이루어진 각각의 평면의 중심점을 예측지점으로 사

용하여 국부적 경향을 구분해간다. 결과값은 측정값을 지나가는 표면을 생성하지 않으며 단거리 범위내의 변화를 파악할 수 있다(ESRI, 2003).

4. 방사기반함수

방사기반함수는 전체 경향을 잡아주고 국부적인 변화를 증진시키는 표면을 만든다. 표면이 측정된 값마다 반드시 지나가게 생성되는 정확한 방법으로, 다수의 점들로부터 지표면을 양호하게 곡선화하거나 지표면의 가장자리를 잘 표현할 수 있다. 역거리가중법과 달리 측정된 최대값 이상 또는 최소값 이하의 값을 보간할 수 있다. 커널기능(kernel functions)으로 스플라인(completely regularized spline), Spline with tension, 다중방정식(multiquadric), 역다중방정식(inverse multiquadric), Thin plate spline의 5개 기반 함수가 있다(ESRI, 2003).

연구 방법

공간보간에 적용할 동일 지역으로서 수치지도상의 점 자료로 추출한 239개의 표고점을 사용하고, ArcGIS Desktop 9 소프트웨어에서 제공하는 각 공간보간 기법을 이용하여 매개변수를 설정하게 된다.

우선 역거리가중법은 영역 유형(sector type)과 파워값에 따라 포함할 네이버(neighbors to include) 개수를 2부터 16까지 차례로 변화시킨다. 여기서, 영역 유형(sector type)은 검색에 사용된 영역의 기하학과 수를 말하며 1부채꼴(one sector), 4부채꼴(four sectors), 45도셋의 4부채꼴(four sectors with 45 degree offset), 8부채꼴(eight sectors)의 4가지 영역으로 분류된다. 또한 스무스 계수와 파워값 설정에 따른 평균제곱근을 비교한다. 크리깅 방법 적용은 정규 크리깅, 단순 크리깅, 보편 크리깅, 선연 크리깅에 따른 반베리오그램 모델인 원형, 구형, 테트라구형, 지수형, 가우스형 및 홀 효과에 따라 랙 크기

(lag size)와 락 수(number of lags)를 변화 시킴으로써 평균제곱근의 크기를 비교한다. 락은 어떤 두 위치를 분리하는 선(벡터)으로 길이(거리)와 방향(표정)을 가진다. 모델링 설정 시 락 수는 원형안에 포함되는 양을 말하며, 락 크기는 원형에 포함되는 각 셀의 크기를 나타낸다. 지역다항식보간법 적용은 샘플값 적용의 범위를 고찰하고 포함되는 네이버 수와 파워값에 따라 평균제곱근을 비교한다. 방사기반 함수방법 적용은 스플라인, Spline with tension, 다중방정식, 역다중방정식, Thin plate spline의 5가지 기능을 모두 적용한다.

평균제곱근이 양호한 각 공간보간방법을 비교하고 래스터 연산을 통해 그 공간 분포 결과와 불규칙삼각망 지형과의 일치 정도를 평가한다.

대상 자료

실험 대상 자료로는 그림 1과 같이 강원도 강릉시의 주변 지역을 포함하는 수치지도 (1:5,000) dxf 파일 자료를 사용하였다. 지형의 고도는 5m에서 130m사이에 분포되어 있으며 해안에 접해 있다.

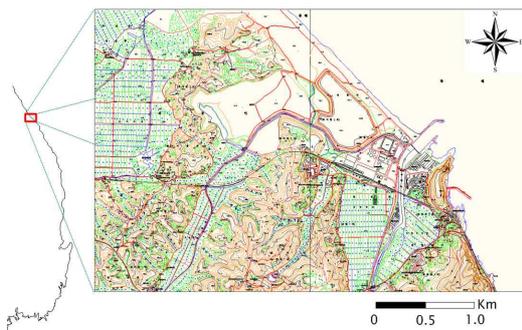
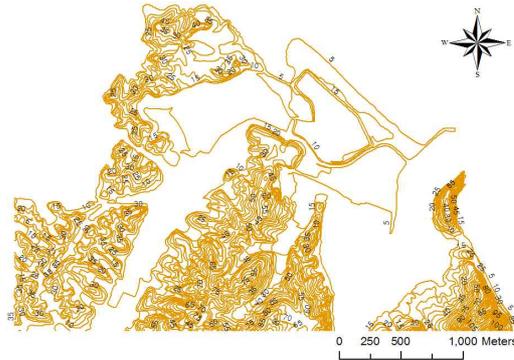


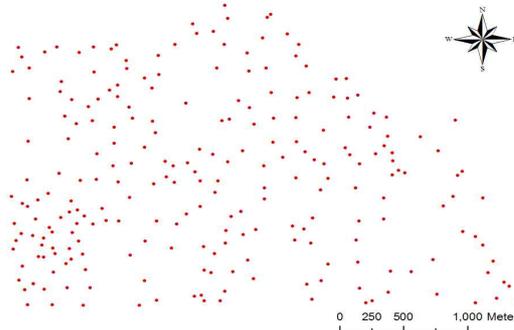
FIGURE 1. 실험 대상 지역의 수치지도 자료

이 수치지도에서 등고선(그림 2(a))과 표고점(그림 2(b))을 별도로 분리하였고 공간보간에 표고점만을 입력 자료로 사용하였다. 기존 지도에서 해안 지역의 경우 표고 자료가 많지 않아 임의의 여러 표고점을 측량하여 정밀하게 보간된 지형을 구현해야 하는 경우가 있어 해

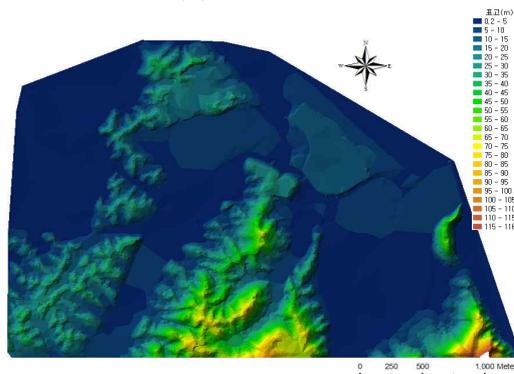
안선 부분이 포함된 이 지역을 선택하였다. 그림 2(c)는 각 공간보간기법들의 결과와 정량적으로 비교하기 위해서 등고선과 표고점 자료를 대상으로 매스 포인트(mass point)를 사용하여 불규칙삼각망(TIN)으로 표현한 것이다.



(a) 등고선도



(b) 표고점 자료



(c) 불규칙삼각망

FIGURE 2. 대상 지역의 등고선도, 표고점 및 불규칙삼각망

공간보간법 적용 및 분석 결과

1. 역거리가중법의 매개변수 설정에 따른 평균 제곱근 결과

역거리가중법 보간법의 매개변수 설정시 포함할 네이버 개수에 따라 최적화된 파워값(power value)이 달라진다. 표준 근린 검색으로 포함할 네이버 개수를 2부터 16까지 설정한 후, 파워값 $p=1$, $p=2$, $p=3$ 및 최적 파워값에 따른 평균제곱근을 표 1과 같이 산출하였다. 최적 파워값은 평균제곱근 예측오차를 최소화할 수 있도록 프로그램상에서 자동으로 제공되는 것이다.

영역 유형의 선택에 따라 평균제곱근의 변화를 보면, 네이버를 많이 포함할수록 1부채꼴 영역 유형에서는 작아지고, 나머지 3개의 영역 유형에서는 전체적으로는 평균제곱근이 커지는 경향이 나타났다. 역거리가중보간법 실행시 임의의 지점에 대한 주변의 네이버의 수와 표고의 예측값이 달라지지만, 영역 유형별 보간점의 위

치가 바뀌어도 평균제곱근은 어느 점이나 동일하게 적용된 결과값이 나타났다. 역거리가중법은 거리가 멀어질수록 오차를 많이 포함하므로 네이버 개수를 적게 하여 최적화된 파워값을 사용하는 것이 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

역거리가중법의 공간보간에서는 표준 근린 검색시 4부채꼴 영역유형에서 3개의 네이버를 포함하고 파워값이 $p=2.3644$ 일 때 가장 좋은 평균제곱근 13.65가 산출되었으며, 보간된 예측 지도(prediction map)은 그림 3(a)와 같다. 또한 파워값의 크기에 따라 최적 파워값에서 최저 기점으로 평균제곱근이 감소하고 증가하였다.

파워값 p 를 증가시키면 가까운 거리의 측정일 수록 가중치는 커지고 먼 거리의 측정일 수록 가중치가 작아진다. 이때 전체 가중치의 합은 1이 된다. 합리적인 파워값은 0.5에서 3사이 에 있으며 기본값은 2이다.

근린 검색(searching neighborhood)은 표준(standard)과 스무스(smooth)로 나뉘어 설정된다. 표준 근린 검색은 타원의 각(angle),

TABLE 1. 역거리가중법의 영역 유형별 네이버와 파워값에 따른 평균제곱근 변화

영역 유형	파워	네이버														
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1부채꼴	$p=1$	15.82	14.63	14.45	14.18	14.41	14.56	14.60	14.75	14.84	14.98	15.06	15.15	15.20	15.21	15.30
	$p=2$	15.77	14.45	14.17	13.89	13.88	13.93	13.91	13.93	13.94	14.00	14.02	14.04	14.05	14.03	14.06
	$p=3$	15.88	14.62	14.36	14.10	14.02	14.01	13.97	13.95	13.93	13.94	13.93	13.92	13.91	13.89	13.89
	$p=최적$	15.76	14.44	14.17	13.92	13.87	13.90	13.87	13.87	13.85	13.88	13.88	13.88	13.87	13.85	13.85
	*최적 p 값	1.6655	1.8634	1.9506	2.3006	2.1793	2.3006	2.3474	2.4315	2.4876	2.5555	2.5924	2.6275	2.6482	2.6462	2.6760
4부채꼴	$p=1$	14.59	14.70	15.14	15.42	15.63	15.81	15.96	16.11	16.22	16.34	16.46	16.57	16.70	16.76	16.82
	$p=2$	13.83	13.71	13.92	14.04	14.14	14.20	14.25	14.31	14.34	14.37	14.40	14.43	14.46	14.48	14.50
	$p=3$	13.98	13.78	13.84	13.85	13.88	13.88	13.88	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89
	$p=최적$	13.81	13.65	13.78	13.82	13.86	13.86	13.87	13.88	13.88	13.88	13.88	13.88	13.89	13.89	13.89
	*최적 p 값	2.2162	2.3644	2.5671	2.6710	2.7446	2.7960	2.8368	2.8767	2.8916	2.9070	2.9223	2.9344	2.9464	2.9561	2.9638
45읍셋의 4부채꼴	$p=1$	14.39	14.76	15.07	15.39	15.69	15.83	16.04	16.14	16.30	16.37	16.45	16.53	16.57	16.64	16.72
	$p=2$	13.84	13.85	13.98	14.09	14.20	14.23	14.29	14.31	14.37	14.40	14.42	14.44	14.45	14.47	14.49
	$p=3$	14.00	13.87	13.89	13.89	13.90	13.89	13.89	13.88	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89
	$p=최적$	13.83	13.78	13.84	13.86	13.89	13.88	13.89	13.88	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89
	*최적 p 값	2.1639	2.4358	2.5882	2.7063	2.7927	2.8230	2.8638	2.878	2.9101	2.9222	2.9338	2.9451	2.9464	2.9528	2.9613
8부채꼴	$p=1$	14.98	15.59	15.92	16.20	16.35	16.54	16.67	16.76	16.85	16.93	17.01	17.07	17.12	17.16	17.20
	$p=2$	13.83	14.11	14.24	14.34	14.38	14.44	14.47	14.50	14.53	14.55	14.57	14.59	14.60	14.61	14.61
	$p=3$	13.80	13.87	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89
	$p=최적$	13.71	13.84	13.88	13.89	13.88	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89
	*최적 p 값	2.5017	2.7315	2.8230	2.8860	2.9129	2.9395	2.9501	2.9656	2.9765	2.9826	2.9894	2.9919	2.9939	2.9959	2.9969

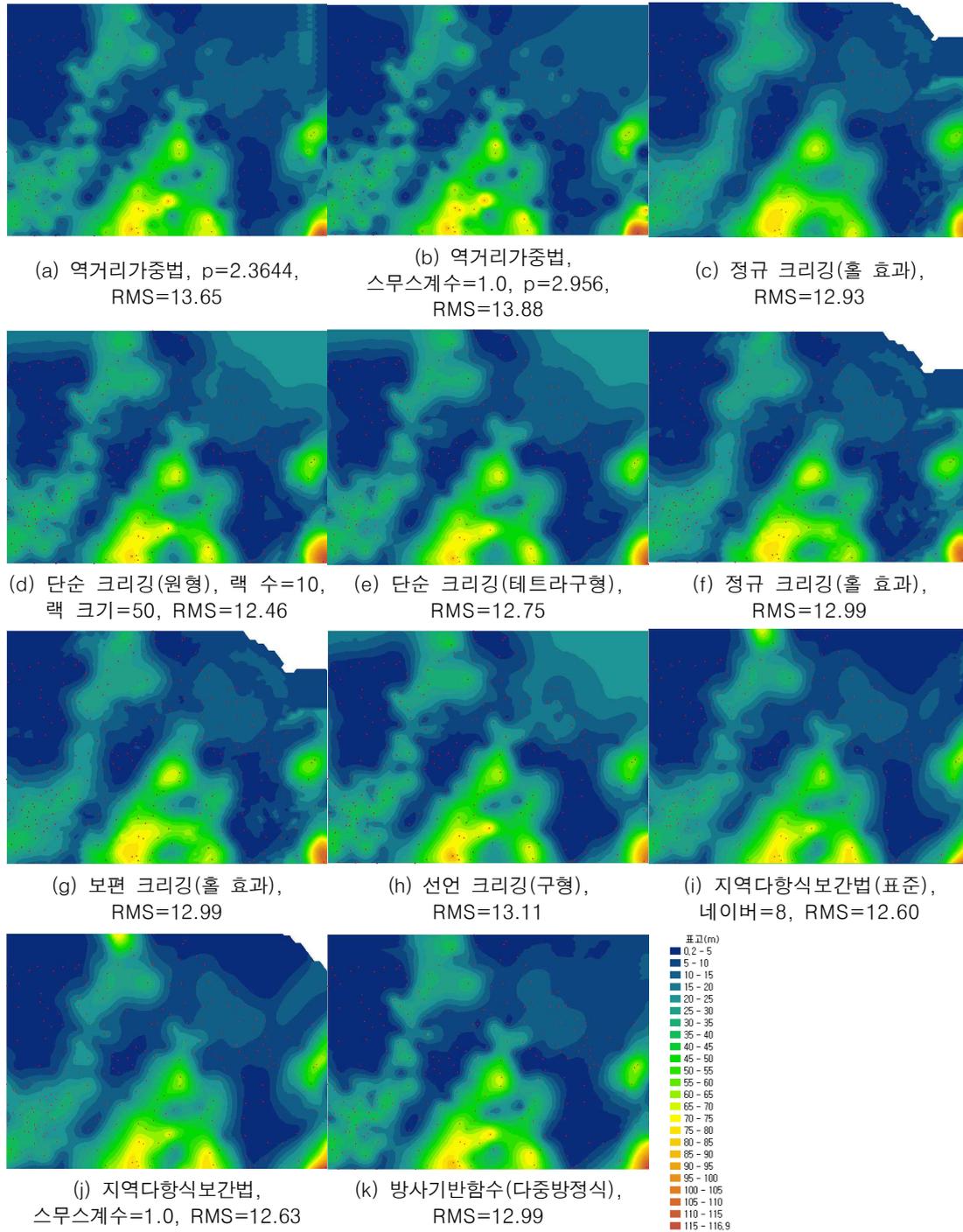


FIGURE 3. 공간보간기법의 매개변수 설정에 대한 평균제곱근 결과와 예측 지도

장축, 단축에 의해 정의된다. 스무스 보간은 스무스 계수(smooth factor)를 곱한 장축과 같은 거리로 외부 타원과 내부 타원을 각각 생성하게 되며, 스무스 계수가 커질수록 타원의 간격도 커지게 된다. 이 세 개의 타원내에 있는 모든 점들이 보간에 사용된다.

표 1이 표준 근린 검색을 이용한 결과를 나타내지만, 표 2와 같이 실행한 스무스 보간방법의 경우에서도 평균제곱근은 달라지게 나타났다. 스무스 보간의 경우 스무스 계수 $sf=1.0$ 일 때 파워값 $p=2.956$ 와 $p=3$ 에서 평균제곱근이 13.88로 가장 양호하였으며 보간 결과 예측 지도는 그림 3(b)와 같다. 표준 근린 검색의 4부채꼴 영역유형으로 최적 파워값 $p=2.3644$ 일 때 평균제곱근이 13.65와 비교하면, 스무스 계수를 적용한 결과값이 0.23 정도 크게 예측오차가 나타났다. 역거리가중법의 보간 결과인 그림 3(a)와 그림 3(b)를 다른 공간보간방법과 비교하여 보면 표고점 주위로 점 자료의 특성을 살려 보간이 이루어지도록 표현되고 있다.

TABLE 2. 역거리가중법의 스무스 계수와 파워 값에 따른 평균제곱근 변화

파워	스무스 계수					
	sf=0	sf=0.2	sf=0.4	sf=0.6	sf=0.8	sf=1.0
p=1	17.27	17.29	17.29	17.29	17.29	17.30
p=2	14.63	14.63	14.63	14.61	14.59	14.56
p=3	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.88
p=4	13.89	14.19	14.19	14.19	14.19	14.20
p=최적	13.89	13.89	13.89	13.89	13.89	13.88
*최적p값	3.0007	3.0022	2.999	2.992	2.978	2.956

2. 크리깅 방법에 의한 평균제곱근 결과

정규크리깅 방법의 반베리오그램 모델과 랭수에 따른 평균제곱근의 변화를 파악하기 위해 랭 크기는 50, 포함할 네이버 개수는 5, 근린 검색은 표준, 영역 유형은 4부채꼴로 설정한 후, 랭 수의 최소값인 7(기본값)부터 시작하여 22까지 설정하여 처리한 결과, 표 3과 같이 홀 효과의 모델에서 랭 수가 13일 때 평균제곱근이 12.93으로 가장 작은 값을 나타냈으며 예측 지도는 그림 3(c)와 같다. 원형, 구형, 테트라구형 및 가우스형 모델의 경우 랭 수가 10에서 13사이에서 대부분 양호한 평균제곱근이 분포하였다. 하지만, 지수형 모델의 경우는 랭 수가 22에서 평균제곱근 13.19로 가장 양호하였다. 전체적으로 크리깅 보간법에서는 평균제곱근이 랭수에 반비례하는 경향을 보였다.

표 3에서와 같이 반베리오그램 설정 모델에 따라 평균제곱근이 양호하게 나타난 랭 수 중 10부터 13까지만을 따로 선정하여 포함할 네이버 수는 5, 근린 검색은 표준, 영역 유형은 4부채꼴로 설정한 후, 표 4와 같이 랭 크기에 따른 크리깅 방법의 모델 유형별 평균제곱근을 산정하였다. 보편 크리깅에서는 100% 지역(local)으로 지정한 경우 100% 전역(global)보다 대체적으로 큰 평균제곱근값이 나타나서 100% 전역을 선택하였고, 선연 크리깅에서 근사값은 직접(direct)으로 설정하였다. 그 결과, 랭 크기 50과 100에서 평균제곱근이 양호하게 나타났으며, 단순 크리깅의 원형에서 랭 수 10일 때 12.46의 가장 작은 평균제곱근이 나타났으며 예측 지도는 그림 3(d)와 같다. 사용된

TABLE 3. 정규크리깅에서 반베리오그램 모델별로 랭수에 따른 평균제곱근 변화

모델	랭 수															
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
원형	13.84	13.63	13.30	13.22	13.26	13.43	13.51	13.54	13.58	13.56	13.59	13.70	13.71	13.90	13.89	13.86
구형	13.79	13.81	13.28	13.25	13.14	13.16	13.25	13.31	13.36	13.41	13.49	13.55	13.64	13.64	13.64	13.63
테트라구형	13.81	13.77	13.34	13.33	13.15	13.07	13.11	13.18	13.21	13.25	13.28	13.34	13.45	13.47	13.47	13.46
지수형	13.62	13.79	13.61	13.68	13.60	13.46	13.41	13.39	13.33	13.28	13.23	13.21	13.23	13.22	13.20	13.19
가우스형	14.54	14.21	13.45	13.43	13.33	13.36	13.47	13.58	13.72	13.68	13.78	13.86	13.90	14.16	14.38	14.60
홀 효과	14.80	14.52	14.01	14.01	13.50	13.07	12.93	13.06	13.13	13.16	13.26	13.43	13.79	13.96	14.06	14.14

반베리오그램은 그림 4와 같다. 크리깅 중 단순 크리깅 방법이 다른 방법보다 비교적 전체적으로 양호하였고 각각의 크리깅 방법 중 락 수가 50정도에서 평균제곱근이 양호하게 나타나는 경향이였다. 일반적으로 락 크기가 클수록 평균제곱근이 증가하였다.

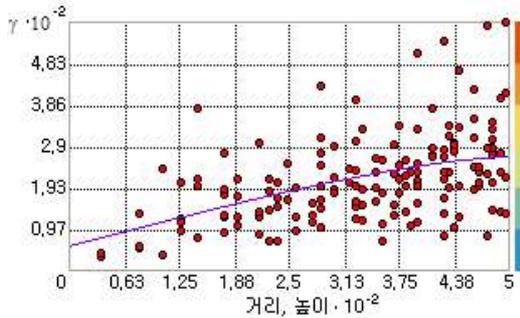


FIGURE 4. 단순크리깅(원형)의 반베리오그램

또한, 100% 전역, 락 수는 12, 락 크기는 50, 영역 유형은 4부채꼴로 설정하고 표 5와 같이 근린검색 표준과 스무스(sf=1.0)에 대하여 크리깅 방법의 모델 유형별 포함할 네이버

개수에 따른 평균제곱근을 산정하였다. 포함할 네이버 개수는 2부터 15까지 설정하였고, 보다 작은 평균제곱근을 확보하기보다 보간된 공간 분포상 지형 구별이 왜곡되지 않고 표면 계산이 보다 양호하게 나타나기 위해서 최소 포함값(include at least)은 공통적으로 설정하지 않았다. 그 결과, 포함할 네이버 개수가 4일 때 단순 크리깅의 테트라구형 모델이 12.75로 가장 작은 평균제곱근을 나타내었다(그림 3(e)). 그 밖에 포함할 네이버 개수가 6일 때 정규 크리깅의 홀 효과 모델이 12.99(그림 3(f)), 보편 크리깅의 홀 효과 모델이 12.99(그림 3(g)), 선언 크리깅의 구형 모델이 13.11(그림 3(h))로서 작은 평균제곱근을 나타내었다.

3. 지역다항식보간법에 의한 평균제곱근 결과

지역다항식보간법에서는 100% 지역으로 지정하고 영역 유형은 4부채꼴, 최소 2점 포함을 설정한 후, 평균제곱근을 최소화하고자 가중치 거리 최적화를 선택하였다.

표준 및 스무스의 근린검색과 파워값 $p=0$

TABLE 4. 베리오그램의 락 수와 락 크기에 따른 크리깅 방법별 모델의 평균제곱근 변화

방법	구분 모델	락 수 = 10					락 수 = 11					락 수 = 12					락 수 = 13								
		50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300
정규 크리깅	원형	13.22	13.95	14.15	14.33	14.37	14.38	13.26	13.93	14.27	14.34	14.36	14.39	13.43	13.99	14.25	14.34	14.34	15.60	13.51	14.04	14.26	14.34	14.36	15.53
	구형	13.25	13.71	13.94	14.17	14.24	14.23	13.14	13.71	14.05	14.18	14.21	14.27	13.16	13.74	14.10	14.18	14.18	14.36	13.25	13.75	14.11	14.18	14.22	15.36
	테트라구형	13.33	13.55	13.75	14.11	14.17	14.16	13.15	13.56	13.84	14.13	14.14	14.20	13.07	13.58	13.94	14.12	14.11	14.30	13.11	13.57	14.06	14.12	14.14	15.20
	지수형	13.68	13.32	13.25	13.39	13.56	13.45	13.60	13.28	13.28	13.44	13.56	13.54	13.46	13.26	13.33	13.51	13.48	13.81	13.41	13.19	13.39	13.64	13.54	14.06
	가우스형	13.43	14.24	15.09	15.31	13.74	15.37	13.33	14.60	15.25	15.35	15.36	15.47	13.36	14.73	15.21	15.34	15.30	15.69	13.47	14.89	15.25	15.35	15.37	15.86
홀 효과	14.01	13.97	14.68	15.56	16.14	16.20	13.50	14.16	15.00	15.82	16.19	16.24	13.07	14.31	15.22	16.02	16.18	16.05	12.93	14.42	15.49	16.17	16.20	16.93	
단순 크리깅	원형	12.46	14.32	14.50	14.63	14.67	14.89	12.76	14.32	14.50	14.63	14.67	14.89	13.12	14.32	14.50	14.63	14.67	14.89	13.42	14.32	14.50	14.63	14.67	14.89
	구형	12.74	14.28	14.35	14.44	14.55	14.67	12.65	14.28	14.35	14.44	14.55	14.67	12.78	14.28	14.35	14.44	14.55	14.67	12.98	14.28	14.35	14.44	14.55	14.67
	테트라구형	13.05	13.94	14.23	14.36	14.44	14.54	12.82	14.17	14.23	14.36	14.44	14.54	12.78	14.17	14.23	14.36	14.44	14.54	12.80	14.17	14.23	14.36	14.44	14.54
	지수형	13.64	13.45	13.37	13.38	13.39	13.37	13.48	13.39	13.34	13.37	13.38	13.37	13.38	13.35	13.33	13.37	13.38	13.37	13.30	13.32	13.32	13.37	13.38	13.37
	가우스형	12.75	14.32	14.37	14.55	14.69	14.84	12.81	14.30	14.37	14.55	14.69	14.84	13.07	14.29	14.37	14.55	14.69	14.84	13.40	14.29	14.37	14.55	14.69	14.84
홀 효과	18.23	14.26	15.46	16.25	16.56	16.73	16.95	14.53	15.78	16.41	16.68	16.74	16.00	14.76	15.99	16.44	16.72	16.74	14.99	15.03	16.21	16.61	16.73	16.69	
보편 크리깅	원형	16.30	17.32	17.48	17.48	17.17	16.99	16.80	17.38	17.42	17.47	17.09	16.80	16.84	17.38	17.45	17.24	17.01	16.61	13.51	14.04	14.26	14.34	14.36	15.53
	구형	16.30	17.32	17.48	17.48	17.20	16.98	16.80	17.38	17.42	17.47	17.10	16.78	16.84	17.38	17.45	17.29	17.01	16.56	13.25	13.75	14.11	14.18	14.22	15.36
	테트라구형	16.30	17.32	17.48	17.48	17.25	16.98	16.80	17.38	17.42	17.47	17.11	16.76	16.84	17.38	17.45	17.39	17.01	16.53	13.11	13.57	14.06	14.12	14.14	15.20
	지수형	16.30	17.32	17.48	17.48	17.39	16.94	16.80	17.38	17.42	17.47	17.20	16.57	16.84	17.38	17.45	17.39	17.00	16.26	13.41	13.19	13.39	13.64	13.54	14.06
	가우스형	16.30	17.32	17.48	17.48	17.27	17.22	16.80	17.38	17.42	17.37	17.24	17.21	16.84	17.38	17.45	17.29	17.23	17.18	13.47	14.89	15.25	15.35	15.37	15.86
홀 효과	14.92	17.32	17.48	17.48	17.39	17.20	14.76	17.38	17.42	17.47	17.25	17.17	16.15	14.45	17.45	17.39	17.20	17.13	12.93	14.42	15.49	16.17	16.20	16.93	
선언 크리깅	원형	12.95	13.88	13.98	14.13	14.30	14.34	12.92	13.88	13.98	14.13	14.30	14.35	13.18	13.88	13.98	14.13	14.30	14.35	13.46	13.88	13.98	14.13	14.30	14.35
	구형	13.42	13.74	13.85	14.00	14.16	14.21	13.15	13.74	13.85	14.00	14.16	14.21	13.11	13.74	13.85	14.00	14.16	14.21	13.19	13.74	13.85	14.00	14.16	14.21
	테트라구형	13.84	13.68	13.78	13.94	14.06	14.14	13.48	13.68	13.78	13.94	14.06	14.14	13.31	13.68	13.74	13.94	14.06	14.14	13.19	13.68	13.78	13.94	14.05	14.14
	지수형	14.37	13.62	13.66	13.66	13.67	13.68	14.13	13.65	13.67	13.66	13.67	13.68	13.97	13.67	13.67	13.67	13.67	13.67	13.66	13.67	13.67	13.67	13.67	13.68
	가우스형	13.27	13.75	13.82	14.01	14.17	14.33	13.08	13.74	13.82	14.01	14.17	14.33	13.24	13.74	13.82	14.01	14.17	14.33	13.52	13.74	13.82	14.01	14.17	14.33
홀 효과	18.40	14.23	15.48	16.05	15.48	15.58	17.10	14.50	15.73	16.18	15.50	15.55	16.14	14.72	15.83	15.50	15.53	15.55	15.10	15.01	15.99	15.44	15.51	15.53	

TABLE 5. 크리깅 기법의 모델 유형별 포함할 네이버 개수에 따른 평균제곱근 변화

방법	모델 유형	표준													스무스 sf=1.0	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
정규 크리깅	원형	13.58	13.41	13.43	13.43	13.52	13.54	13.58	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.43
	구형	13.45	13.23	13.20	13.16	13.18	13.19	13.21	13.20	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	13.30
	테트라구형	13.39	13.18	13.13	13.07	13.05	13.05	13.06	13.05	13.06	13.07	13.06	13.07	13.07	13.07	13.25
	지수형	13.58	13.51	13.53	13.46	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.48	13.48	13.48	13.55
	가우스형	13.67	13.41	13.39	13.34	13.38	13.40	13.41	13.41	13.42	13.42	13.42	13.42	13.42	13.42	13.48
	홀 효과	13.47	13.18	13.15	13.07	12.99	13.01	13.04	13.05	13.04	13.08	13.07	13.07	13.07	13.07	13.30
단순 크리깅	원형	13.25	13.06	13.09	13.12	13.24	13.29	13.34	13.33	13.32	13.31	13.31	13.31	13.31	13.31	13.19
	구형	13.06	12.76	12.74	12.78	12.80	12.83	12.85	12.84	12.85	12.85	12.84	12.84	12.84	12.96	
	테트라구형	13.09	12.77	12.75	12.78	12.76	12.77	12.78	12.77	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	13.01
	지수형	13.51	13.37	13.37	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.38	13.54
	가우스형	13.36	13.08	13.07	13.07	13.10	13.12	13.15	13.14	13.15	13.15	13.15	13.15	13.15	13.15	13.25
	홀 효과	15.17	15.34	15.69	16.00	16.18	16.32	16.34	16.34	16.34	16.35	16.34	16.34	16.35	16.35	15.75
보편 크리깅	원형	13.58	13.41	13.43	13.43	13.52	13.54	13.58	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.43
	구형	13.45	13.23	13.20	13.16	13.18	13.19	13.21	13.20	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	13.30
	테트라구형	13.39	13.18	13.13	13.07	13.05	13.05	13.06	13.05	13.06	13.07	13.06	13.07	13.07	13.07	13.25
	지수형	13.58	13.51	13.53	13.46	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.47	13.48	13.48	13.48	13.55
	가우스형	13.67	13.41	13.39	13.36	13.38	13.40	13.41	13.41	13.42	13.42	13.42	13.42	13.42	13.42	13.48
	홀 효과	13.47	13.18	13.15	13.07	12.99	13.01	13.04	13.05	13.04	13.08	13.07	13.07	13.07	13.07	13.30
선언 크리깅	원형	13.45	13.22	13.21	13.18	13.23	13.26	13.34	13.34	13.35	13.34	13.33	13.34	13.33	13.33	13.35
	구형	13.45	13.17	13.12	13.11	13.11	13.12	13.15	13.14	13.15	13.15	13.14	13.14	13.15	13.15	13.33
	테트라구형	13.61	13.38	13.32	13.31	13.30	13.31	13.31	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.31	13.31	13.54
	지수형	14.09	13.98	13.97	14.13											
	가우스형	13.60	13.33	13.27	13.24	13.25	13.26	13.28	13.28	13.29	13.29	13.29	13.29	13.29	13.29	13.46
	홀 효과	15.55	15.82	15.96	16.14	16.27	16.36	16.37	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	15.93

및 $p=1$ 에 따른 평균제곱근을 산정한 결과는 표 6과 같다. 포함할 네이버가 8이고 파워값 $p=1$ 에서 최소 평균제곱근 12.60을 나타내었고(그림 3(i)), 스무스(sf=1.0)의 경우 파워값 $p=1$ 에서 평균제곱근 12.63을 나타내었다(그림 3(j)). 파워값 $p=2$ 이상은 가중치 거리 최적화 계산이 불가하였다.

4. 방사기반함수에 의한 평균제곱근 결과

방사기반함수의 경우 영역 유형을 4부채꼴, 최소로 포함하는 점 수를 2개로 설정하고 각각의 커널기능을 선택하여 포함할 네이버 개수에 따른 매개변수를 최적화한 후 표 7과 같은 결과를 얻었다. 다중방정식이 다른 커널 기능 방법보다 대체적으로 양호하였고 포함할 네이버가 4일 때 평균제곱근이 12.99로 다른 값보다 가장 양호한 결과를 나타냈다(그림 3(k)).

5. 래스터 연산을 이용한 불규칙삼각망과 예측 지도와의 일치 정도 분석

각각의 공간보간방법별로 양호한 평균제곱근을 나타내는 예측 지도를 생성하고 그림 3과 같이 정리하여 그림 2(c)의 불규칙삼각망과 시각적으로 비교하여 보면, 평균제곱근이 12.46으로 가장 양호한 단순 크리깅의 원형(그림 3(d))에 의한 보간 표현이 다른 공간보간방법보다 대상 지역의 불규칙삼각망과 유사하다고 판단하기는 어렵다. 따라서 대상 지역의 불규칙삼각망에 대하여 시각적인 판단으로 양호한 정도를 파악하기 보다는 그 일치 정도를 정량적으로 분석 및 비교하는 것이 필요하다.

우선 불규칙삼각망과 각 공간보간법 예측 지도를 그림 5(a) 및 그림 5(b)와 같이 $20m \times 20m$ 셀 크기의 래스터로 각각 변환하였다. 래스터 연산(raster mathematics)의 빼기(substraction)를 이용하여 불규칙삼각망의

래스터 값(그림 5(a))에서 예측 지도의 래스터 값(그림 5(b))을 셀(cell) 대 셀 기반으로 차를 그림 5(c)와 같이 계산하였다. 그림 5(c)에서 보면 두 래스터의 연산 후 불규칙삼각망의 표고값과 보간법 결과의 표고값이 일치된 픽셀 값에서는 스트레치드(stretched) 값이 0에 가깝게 나타난다.

스트레치드값이 정확히 0으로 분류되지 않아서 스트레치드값의 범위를 각 공간보간기법 별로 표 8과 같이 최대한 비슷하게 0에 가깝게 할당하고 래스터를 재분류(reclassify)한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6은 대상 지역의 불규칙삼각망과 각각의 공간보간방법 결과와의 일치된 정도를 픽셀값으로 나타낸 것이며, 픽셀값 0(거의 일치부분)이 많을 수록 불규칙삼각망과 각 보간기법별 예측 지도 결과가 일치하는 부분이 많다는 것을 알 수 있다. 일치된 부분인 스트레치드값이 0 범위인 검정색 래스터 픽셀(20m×20m)의 개수(count)를 표 8과 같이 산정하였으며, 단순크리깅(원형)의 평균제곱근이 가장 양호하게 나타난 반면에 대상 지역과의 일치 정도는 방사기반함수가 가장 양호하였다.

TABLE 8. 각 공간보간방법에 대한 평균제곱근과 일치된 픽셀 개수

공간보간법	RMS	픽셀 개수	픽셀값 범위
(a) 역거리가중법 (표준)	13.65	3,039	-0.44~+0.46
(b) 역거리가중법 (스무스)	13.88	2,191	-0.40~+0.38
(c) 정규 크리깅 (홀 효과)	12.93	2,234	-0.44~+0.47
(d) 단순 크리깅 (원형)	12.46	2,276	-0.42~+0.48
(e) 단순 크리깅 (테트라구형)	12.75	2,547	-0.46~+0.40
(f) 정규 크리깅 (홀 효과)	12.99	2,076	-0.51~+0.38
(g) 보편 크리깅 (홀 효과)	12.99	2,076	-0.51~+0.38
(h) 선연 크리깅 (구형)	13.11	1,515	-0.38~+0.48
(i) 지역다항식보간법 (표준)	12.60	2,908	-0.44~+0.43
(j) 지역다항식보간법 (스무스)	12.63	2,898	-0.51~+0.38
(k) 방사기반함수 (다중방정식)	12.99	3,368	-0.46~+0.49

한편 기존의 연구 문헌 및 결과와 비교하여 보면, 40개의 강우관측소의 자료를 이용하여 각 공간보간기법의 정확성을 검증한 결과에서도 전체적으로 크리깅 기법이 월등히 양호한 결과를 보여주었고, 이 중 보편 크리깅의 가우

TABLE 6. 지역다항식보간법의 네이버 개수와 파워에 따른 평균제곱근 변화

근린검색 포함할 네이버 파워	표준															스무스		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	sf=0.5	sf=0.8	sf=1.0	
p=0	13.97	13.72	13.81	13.83	13.85	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.83	13.84	13.84	
p=1	19.78	14.23	12.80	12.78	12.66	12.62	12.60	12.61	12.62	12.62	12.61	12.61	12.61	12.61	12.94	12.66	12.63	

TABLE 7. 방사기반함수의 네이버 개수와 커널 기능에 따른 평균제곱근 변화

근린검색 포함할 네이버 커널기능	표준															스무스		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	sf=0.0	sf=0.5	sf=1.0	
스플라인	13.52	13.39	13.39	13.37	13.34	13.29	13.30	13.29	13.28	13.28	13.27	13.26	13.26	13.26	-	-	-	
Spline with tension	13.38	13.11	13.06	13.17	13.13	13.11	13.13	13.13	13.13	13.12	13.12	13.12	13.12	13.12	-	-	-	
다중방정식	13.22	13.02	12.99	13.02	13.00	13.02	13.01	13.01	13.00	13.00	13.01	13.00	13.00	13.00	-	-	-	
역다중방정식	13.62	13.42	13.47	13.45	13.40	13.34	13.35	13.35	13.34	13.33	13.32	13.31	13.31	13.31	13.29	13.30	13.35	
Thin plate spline	21.65	13.26	13.04	13.19	13.17	13.22	13.25	13.28	13.29	13.29	13.29	13.27	13.28	13.27	-	-	-	



(a) 불규칙삼각망의 래스터 변환 (b) 그림 3(d)의 래스터 변환 (c) 래스터 연산 결과

FIGURE 5. 불규칙삼각망과 단순크리깅(원형) 예측 지도와의 래스터 연산

스형 베리오그램 함수가 가장 높은 정확성을 나타내었다(조홍래와 정종철, 2006). 또한 지역경향면 모델, 역거리가중법, 방사기반함수, 크리깅 등의 공간보간 기법을 적용한 연구에서도 크리깅, 방사기반함수 기법의 예측 정확도가 높은 것으로 분석되었다(조홍래와 정종철, 2007).

본 연구에서 평균제공근 결과를 비교해 보면, 단순 크리깅의 원형 모델이 가장 좋은 값을 나타내었고 방사기반함수보다 지역다항식보간법(표준)이 보다 더 양호한 결과를 나타내었다. 이는 대상 지역의 공간보간자료의 공간적 분포 특성 및 매개변수 설정에 따라 그 적용 결과가 달라질 수 있음이 추측되어진다. 또한 래스터 연산을 통한 일치 정도를 분석해 본 결과, 픽셀값 설정 범위가 다소 차이는 있지만 단순 크리깅(원형)의 예측 지도가 일치한 정도보다 방사기반함수(다중방정식)의 예측 지도가 불규칙삼각망과 가장 많이 일치하였다.

결론

본 연구는 동해안 해안 지역의 지형에 공간보간법을 적용하여 실행되는 과정상의 매개변수 조건과 설정에 따라 변화하는 평균제공근을 비교하고 래스터 연산의 정량적 분석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

역거리가중법의 경우 영역 유형의 선택에 따

라 포함되는 네이버 개수와 파워값에 따라 평균제공근이 밀접하게 관련되었다. 네이버 개수를 포함할수록 평균제공근은 1부채꼴 영역 유형에서는 작아지고, 4부채꼴, 45읍셋의 4부채꼴, 8부채꼴의 영역 유형에서는 대체적으로는 커지는 경향을 나타냈다. 또한 근린검색 중 표준 방법이 스무스 방법보다 양호한 평균제공근을 나타냈다. 네이버 개수와 영역 유형을 선택할 경우 제공되는 최적 파워값을 사용하는 것이 완전한 보간 결과를 얻을 수 있을 것이다. 크리깅 보간법에서는 락 수가 10에서 13 사이일 때 각 모델별로 평균제공근이 양호하게 나타났다. 전체적으로 크리깅 보간법의 경우 평균제공근은 락 수에 반비례하고 락 크기에 비례하는 경향을 보였다. 지역다항식보간법은 표준 근린검색에서 파워값 $p=1$ 과 포함할 네이버가 8일 때 양호하였다. 방사기반함수의 커널 기능 중에서는 다중방정식 방법이 스플라인, Spline with tension, 역다중방정식, Thin plate spline 보다 양호한 결과를 나타냈다.

최종적으로 본 연구에서 제시된 공간보간 방법 중에서 단순 크리깅의 원형모델이 락 수 10, 락 크기 50일 때 가장 작은 평균제공근을 나타내어 공간보간법 적용시 우선적으로 고려할 수 있다. 하지만 래스터 연산을 통한 대상 지역과의 일치 정도를 분석한 결과로는 방사기반함수의 다중방정식에 의한 예측 지도가 가장



FIGURE 6. 래스터 재분류를 이용한 불규칙삼각망과 각 공간보간법 예측 지도와의 일치된 정도

많이 일치하였다.

본 연구 성과는 기존의 연구에서 제시한 공간보간법의 적용 결과와 일부분에서는 다르게 나타났다. 분석하는 대상 지역 및 지형의 공간적 특성에 따라 자료 보간시 다소 상이할 가능성이 예측되며, 또한 매개변수 설정과 처리 소프트웨어의 종류에 의한 추가적인 실험이 차후 요구되어진다.

공간보간법 적용에 있어 대상 자료에 따라 적절한 보간방법을 선택하기는 용이하지 않다. 여러 시행착오를 거쳐 적합한 방법을 찾기에는 많은 공간보간법들이 있고, 문헌에서도 각 공간보간법 적용 분야를 언급하고 있지만 결과값을 예측하기에는 어려울 수 있다. 본 연구의 공간보간법별 예측 지도의 비교 성과가 절대적인 것은 아니며, 매개변수 설정으로 인해 상대적으로 다소 평균제곱근의 크기는 차이가 나타날 수 있다. 하지만 사용자들이 양호한 공간보간법을 선택하고자 할 경우 본 연구 성과를 참고하여 용이한 판단을 내리는데 도움을 줄 수 있을 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 박운용, 김천영, 이현우. 2001. DTM 보간기법별 토공량 산정과 지형분석에 관한 연구. 한국지형공간정보학회지 9(1):39-47.
- 백승아, 이태정, 김신도, 김동술. 2008. 서울지역 라돈농도의 분포예측을 위한 공간분석법 연구. 한국대기환경학회지 24(5):538-550.
- 이동천, 배경호, 유근홍. 2009. 3차원 수치지도 생성을 위한 지형공간 데이터 모델링. 한국측량학회지 27(3):393-400.
- 이민아, 이우균, 송철철, 이준학, 최현아, 김태민. 2007. 기온 및 강수량의 시공간 변화예측 및 변이성. 한국 GIS 학회지 15(3):267-278.
- 이용신, 나유진, 방준세. 2009. 낙동강유역 면적 평균강수량 산정 기법에 대한 비교 연구. 한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집. 948-952쪽.
- 유시동, 김홍택, 송병웅, 이형규. 2005. 지리정보시스템 및 표준관입시험 결과를 이용한 비소성 실트질 지반의 액상화 평가. 한국지반환경공학회논문집. 6(2):5-14.
- 조홍래, 정종철. 2006. 강우자료에 대한 공간보간 기법의 적용. 한국 GIS 학회지 14(1):29-41.
- 조홍래, 정종철. 2006. GIS를 이용한 연안수질의 시공간적 분포 특성에 대한 연구. 한국 GIS 학회지 14(2):223-234.
- 조홍래, 정종철. 2007. 공간보간기법을 이용한 환경자료의 지도화. 2007 GIS 공동관계학술대회 논문집. 273-279쪽.
- 최광희, 윤광성, 김종욱. 2006. 공간통계기법을 이용한 하논화산의 화구호 복원. 대한지리학회지 41(4):391-403.
- ESRI. 2001. ArcGIS Geostatistical Analyst: Statistical Tools for Data Exploration, Modeling and Advanced Surface Generation. An ESRI White Paper pp.7-9.
- ESRI. 2003. ArcGIS 9 Using ArcGIS Geostatistical Analyst. pp.300.
- Naoum, S. and I.K. Tsanis. 2004. Ranking Spatial Interpolation Techniques using a GIS-based DSS. Global Nest: the International Journal 6(1):1-20.
- Skelly, W. C. 1993. Spatial interpolation: getting a realistic estimate of general circulation model precipitation. Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Time Scales(Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993), LAHS Publ. 212:603-610. **KAGIS**