

## Spatial Data Analysis using the Kriging Method

Jihui Jang<sup>1)</sup> Taekyong Hong<sup>2)</sup> Pyong Namkung<sup>3)</sup>

### Abstract

The data observed at different positions are called the estimate of interested variable at new observation point on the Kriging utilize the space estimate technique, in which case there is correlation spatially. In this paper we provide the estimate for Variogram and Kriging methods as a field of kriging theory and dealt with actually measured data. And at the same time we forecast the amount of ozone that was not measured at this point by Kriging method and compared Ordinary Kriging method with Inverse Distance Kriging method.

Keywords : Kriging, Variogram, Spatial estimation, Ozone levels

### 1. 서론

크리깅에 의한 예측방법은 원래 지질통계학 분야에서 널리 이용되었던 기법으로 현재는 많은 분야에서 활용되고 있다. 특히 관측점이 불규칙한 경우에 등고선이나 곡면의 보간 등에 유용하다. 크리깅은 확률과정모형을 바탕으로 한 공간 자료에 대한 통계적 모형은 다음 식과 같으며 공간에 대해서 연속이라는 가정 하에 예측하게 된다.

$$Z(s) = \{ s \mid s \in D \}, \quad D \subset R^d$$

여기서  $Z(s)$  : 거리  $s$ 에 대한 함수,  $s$  : 각 표본들 간의 거리,  
 $D$  : 표본이 위치하고 있는 공간,  $R^d$  :  $d$  차원의 공간

크리깅 방법에는 평균을 안다는 가정 하에 사용하는 가장 간단한 방법인 단순 크리깅(Simple Kriging)과 평균은 미지이나 일정하다는 가정 하에 널리 이용되는 방법인 보통 크리깅(Ordinary Kriging), 평균의 경향성을 고려한 방법인 보편 크리깅(Universal Kriging) 그리고 거리에 영향을 받는 비확률적인 방법인 거리역수 크리깅(Inverse Distance Kriging)등 여러 가지 방법이 있다. 이

---

1) Researcher, ADN, 91-3, Nonhyeon-dong, Gangnam-gu, Seoul, 135-010, Korea.

2) Lecturer, Department of Computer Information Processing, Yongin University, 470, Samga-dong, Yongin-si, Gyeonggi-do, 449-714, Korea.

3) Professor, Department of Statistics, Sungkyunkwan University, Seoul, 110-745, Korea.  
E-mail : namkung@skku.ac.kr

러한 크리깅 방법은 자료의 경향과 자료의 특성을 차의 분산(Variogram)으로 나타내며, 적절한 차의 분산모형이 설정되어 있으면 예측을 효율적으로 할 수 있다.

본 논문에서는 단순 크리깅은 실제 데이터에 적용시키기에는 현실성이 결여되고, 보편 크리깅의 경우는 자료의 경향성을 알 수가 없기 때문에 두 크리깅 방법을 제외한 보통 크리깅 방법과 거리역수 크리깅 방법을 적용하여 서울시의 오존 오염도를 예측하였다.

## 2. 차의 분산

### 2.1 경험적 차의 분산

경험적 차의 분산은 각 표본간의 거리 및 이들의 오존도의 상관성을 나타낸 것으로 경험적 차의 분산을 작성하기 위해서는 각 표본들을 나열한 후 추정이 필요한 지점에서 거리가 가까운 표본 위치 지점부터 가장 먼 표본 위치 지점까지 거리에 포함된 표본들 간의 상관관계를 나타내야 한다.

이 경험적 차의 분산은 마테론(1962)이 제시하였으며, 다음 식으로 구한다.

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - Z(s_j))^2, \quad h \in R^d$$

### 2.2 이론적 차의 분산

$s_0 = (x, y)$ 에 대해  $Z(s_0)$ 을 예측하는데 필요한 정보를 얻기 위해 경험적 차의 분산에 이론적인 모형을 적합시킨다. 이론적 모형의 함수식은 여러 가지가 있지만 가우스 모형만을 고려한다.

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h=0 \\ C(0)[1 - \exp(-\frac{\|h\|^2}{a_s^2})], & h \neq 0 \end{cases}$$

여기서  $\theta = (C(0), a_s)'$ ,  $C(0) \geq 0$ ,  $a_s \geq 0$

## 3. 크리깅

### 3.1 보통 크리깅

보통 크리깅은 널리 이용되는 방법으로 모형의 평균( $\mu$ )은 사전에 알 수 없고 일정하다는 전제 하에 예측하는 방법이다. 모형가정과 예측값에 대한 가정은 다음과 같다.

$$Z(s) = \mu + \delta(s), \quad s \in D, \quad \mu \in R, \quad \mu = \text{unknown} \quad \hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

여기서,  $\mu$ 는 미지이고  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  이라는 조건은 불편성을 만족하는 조건이다.

### 3.2 거리역수 크리깅

거리역수 크리깅은 주변표본들의  $Z(s_i)$ 이 미 측정지점의  $Z(s_0)$ 사이가 거리의 영향을 받는 방법을 말한다. 즉 거리에 역을 취한 값들을 가중값으로 환산하는 방법이다. 예측값 가정은 다음과 같다

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(s_i), \quad (\sum w_i = 1, \quad w_i = f(h_i))$$

여기서  $\hat{Z}(s_0)$ 는 미 측정지점에서의 예측값이고,  $Z(s_i)$ 는 표본들의 관측값이며  $w_i$ 는 표본들의 가중값이다.

## 4. 사례연구

서울의 오존 분포도를 그려보기 위한 준비 단계로 차의 분산을 추정하고 이를 크리깅 방법을 적용하여 미 측정지역의 오존도를 예측해보고, 임의의 한 측정소가 측정기의 고장으로 오존도를 측정할 수 없다는 가정하에 크리깅 방법들의 예측을 비교한다.

### 4.1 미 측정지역의 오존도 예측

미 측정지역 오존도의 예측을 위해 <표 1>에 제시된 서울의 27개 지역의 2000년 평균 오존자료를 이용하였으며 각 측정소별 위치는 기준점(시청앞)과의 가로·세로 거리(km)를 TM(Transverse Mercator; 평면직각좌표계)좌표를 이용하여 나타낸 것이다.

#### 4.1.1 차의 분산 추정

원자료를 이용한 적합에서 측정된 지점으로부터 얻은 351개의 표본 반차의 분산을 이용하여 이론적인 반차의 분산을 추정하여 적합을 하면, 모형적합의 정확도면에서는 신뢰성이 있는 방법이나 시간이 너무 많이 걸린다는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 시간문제를 해결하기 위해 마테론(1962)이 제안한 lag방법을 적용하였다.

<표 2>와 같이 구간 수가 달라짐에 따라서 추정된 차의 분산의 형태에 차이가 있음을 확인 할 수 있다. 따라서 구간을 나누는 방법을 사용할 때 원 자료를 잘 설명해주는 구간 수의 선택 기준에 대한

보다 집중적인 연구가 필요하다. 분석 시 원 자료와 비슷한 차의 분산 모형을 갖는 lag=7을 선택하여 결과를 살펴보았다.

<표 3>을 보면 351개의 거리 쌍들의 점이 거리구간별로 해당 거리에 분포되어 있음을 알 수 있다. 올바른 예측을 하기 위해서는 많은 거리 쌍들의 점을 가지고 차의 분산을 계산해야 한다. 여기서 구간 폭이 작다는 것은 가능한 많은 거리구간을 갖는다는 것과 동일한 의미이다. 그러나 차의 분산을 계산하기 위해선 각 구간 내에 적어도 30개의 쌍들의 점을 사용해야 한다. 만약 구간 폭이 매우 작다면 하나 또는 그 이상의 구간에서는 매우 작은 쌍들의 점을 갖게 될 것이다. 반면에 구간 폭이 매우 크다면 거리구간 내에 포함된 쌍들의 점의 수는 예측을 위해 필요이상일 것이다.

<표 1> 서울의 측정소 위치와 2000년 오존오염도 자료

측정소명	기준점(시청앞) 과의 거리(km)		2000년 오존오염도 (ppm)	측정소명	기준점(시청앞) 과의 거리(km)		2000년 오존오염도 (ppm)
	가로	세로			가로	세로	
시청앞	0	0	0.014	길음동	4.470	4.477	0.020
이화동	1.982	1.144	0.018	한남동	2.622	-2.886	0.018
면목동	8.792	2.509	0.018	구의동	10.282	-2.326	0.017
신설동	4.210	0.656	0.015	성수동	7.002	-1.796	0.013
불광동	-3.881	4.960	0.022	방학동	5.582	10.234	0.022
마포	-2.540	-2.253	0.018	남가좌동	-5.548	0.794	0.013
문래동	-7.531	-5.671	0.018	구로동	-7.148	-9.406	0.016
사당동	-0.198	-8.556	0.010	반포동	1.662	-6.816	0.017
관악산	-1.914	-12.219	0.027	화곡동	-13.308	-2.036	0.015
대치동	7.062	-8.066	0.017	방이동	13.122	-4.906	0.017
잠실동	9.470	-6.665	0.016	신정동	-10.468	-4.606	0.015
시흥동	-5.898	-12.606	0.010	상계동	8.312	10.294	0.024
천호동	12.982	-2.806	0.016	궁동	-12.918	-7.256	0.017
변동	4.672	7.604	0.014				

<표 2> lag를 이용한  
오존자료의 차의 분산  
모형적합

	C(0)	$a_s$
lag=6	0.0000165	2.0
lag=7	0.0000138	3.5
lag=8	0.0000195	3.5

<표 3> 각 쌍들의 거리 구간과 빈도

관측값	변수이름	LAG	하한	상한	빈도	백분율
1	ozone	0	0	2.4979	3	0.00855
2		1	2.4979	7.4937	81	0.23077
3		2	7.4937	12.4896	102	0.2906
4		3	12.4896	17.4854	90	0.25641
5		4	17.4854	22.4812	50	0.14245
6		5	22.4812	27.477	24	0.06838
7		6	27.477	32.4729	1	0.00285
8		7	32.4729	37.4687	0	0

<표 3>에서 lag0은 전형적으로 제한된 구간으로 나머지 구간들의 너비(4.9958km)에 반(2.4979km)이기 때문에 이 구간에 대해선 차의 분산을 계산하기 위한 약속은 무시된다. 이유는 구간 폭에 따라 lag0에 포함된 쌍들의 수가 30개 보다 작을 수도 많을 수도 있기 때문이다. 여기서는 lag0에 포함되는 쌍들의 점이 3개이나 lag1에서 차의 분산을 구하기 위한 충분한 수를 갖고 있으므로 경험적 차의 분산을 구할 수 있다.

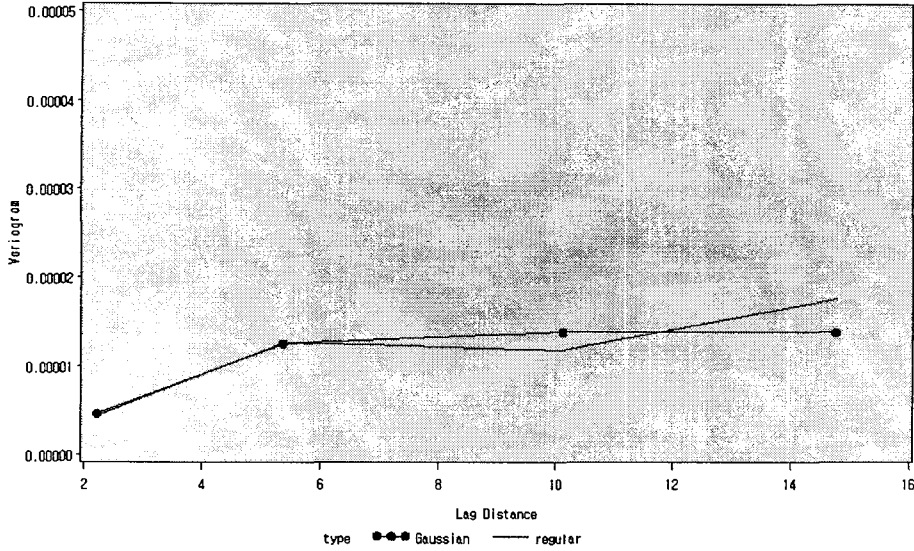
그러나 구간을 나누는 방법에서의 문제점은 독립인 것처럼 보이는 멀리 떨어져있는 점들의 쌍까지도 포함한다는 것이다. 이를 이용해서 경험적 차의 분산의 모형을 그릴 순 없을 것이다. 그러므로 상관관계 정도를 예측한다면 지리학적으로 비슷한 장소를 우선으로 열거할 수 있을 것이다. 따라서 가장 많은 쌍들의 점을 갖는 구간은 둘 이상의 구간을 초과하여 상관관계 정도를 예측하는 것은 의미가 없으므로 그 다음의 하나의 구간만을 고려해야 할 것이다. 이를 통해 빈도가 가장 높은 lag2에서 한 단계 추가한 구간, 즉 분석에 필요한 구간 수가 3이므로 lag3까지의 차의 분산을 보면 <표 4>와 같고, <표 4>에서의 경험적 차의 분산을 이론적 모형(가우스 모형)에 적용시켜 보면 <그림 1>과 같다.

lag=7을 선택한 결과가  $C(0)=0.0000138$ ,  $a_s=3.5$  이므로 적합된 모형식은 다음 같으며 이 모형식을 이용 크리깅 예측값을 구할 수 있다.

$$r(h) = 0.0000138 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\|h\|^2}{3.5^2}\right) \right]$$

<표 4> lag3까지의 차의 분산

관측값	각 lag 단위 값	각 lag에 포함된 쌍들의 수	각 lag의 평균거리	차의 분산
1	-1	27	.	.
2	0	3	2.2246	0.0000043
3	1	81	5.3693	0.0000126
4	2	102	10.1315	0.0000118
5	3	90	14.7701	0.0000175



<그림 1> 이론적 모형 중 가우스 모형에 적합

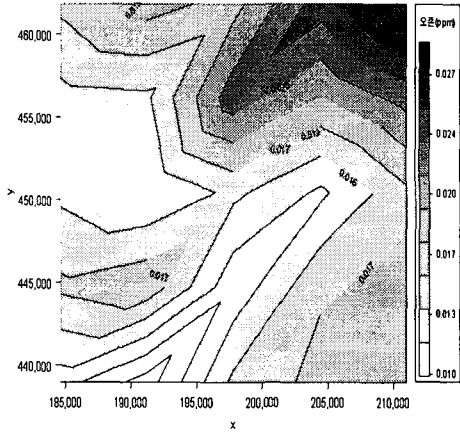
4.1.2 크리깅

보통 크리깅 방법에서 새로운 위치  $s_0$  즉 고양시, 하남시, 사당·관악산 주변지역에 대한 예측값  $\hat{Z}(s_0)$ 는  $\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i)$  와 같이 각 지역별 크리깅 계수  $\lambda_i : i=1, 2, \dots, n$ 와 <표 1>에서 측정된 27개의 오존자료를 각각 곱하여 선형 결합함으로서 구할 수 있다.

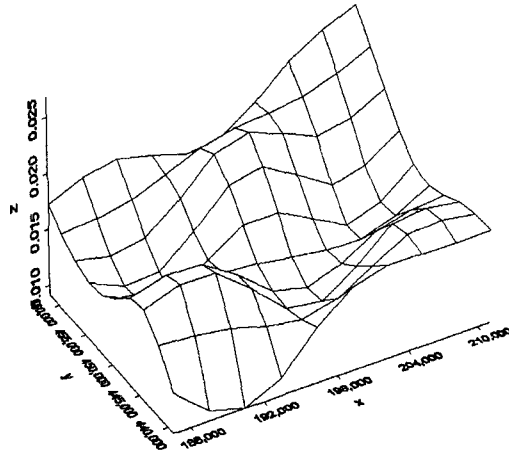
<표 5>는 세 지역의 크리깅 예측값과 분산, 95% 예측구간을 정리한 것이며 <그림 2>는 세 지역을 포함한 오존 분포도를 등고선으로 표현한 것이며, <그림 3>은 3차원 공간상에 나타낸 반응 표면그림이다.

<표 5> 세 지역의 크리깅 예측값과 분산, 95% 예측구간

지역명	예측값 $\hat{Z}(s_0)$	분산 $\sigma_k^2(s_0)$	95% 예측구간	
			하한 $\hat{Z}(s_0) - 1.96\sigma_k(s_0)$	상한 $\hat{Z}(s_0) + 1.96\sigma_k(s_0)$
1 지역	0.0179	1.45E-05	0.0105	0.0254
2 지역	0.0172	1.46E-05	0.0097	0.0247
3 지역	0.0179	1.23E-05	0.0110	0.0247



<그림 2> 등고선으로 표현한 오존분포도



<그림 3> 반응표면으로 표현한 오존 분포도

## 4.2 보통 크리깅 방법과 거리역수 크리깅 방법 비교

오존의 관측지점 중 구의동 지점의 측정장비 고장으로 관측이 안되었다는 가정에서 보통 크리깅 방법과 거리역수 크리깅 방법 중 어떤 크리깅 방법이 구의동 오존도를 좀 더 잘 예측하는지 알아보도록 하는데 중점을 두었다.

사례연구를 위해 <표 6>에서와 같이 서울의 27개 지역의 2000년 월별 오존자료를 이용하였으며 각 측정소별 위치자료는 <표 1>을 이용하였다. 단, 성수동과 궁동의 1, 2월 오존도는 결측자료이므로 5km(lagdist=4.9958)내에 있는 지역의 오존도를 평균을 이용하여 성수동(1월:0.010ppm, 2월:0.013ppm)과 궁동(1월:0.005ppm, 2월:0.012ppm)의 오존도로 대체하여 사용하였다.

먼저 구의동의 오존도를 예측하기 위해 구의동을 제외한 26개 모든 측정소의 월별 오존도 자료를 보통 크리깅 방법과 거리역수 크리깅 방법을 이용하여 두 크리깅 방법을 비교하였다.

### 4.2.1 보통 크리깅 방법

구의동의 오존도를 예측하기 위해 월별 이론적 차의 분산(가우스 모형)에 적합한 모형식의  $C(0)$ 와  $a_s$ 는 <표 7>과 같다. 여기서 2, 10, 11, 12월의 오존도는 정규성을 만족하지 않으므로 로그변환 후 분석하였으며 보통 크리깅의 가중값을 이용하여 구한 구의동 오존도의 예측값과 실제값을 비교해보면 <표 8>과 같고, 이를 그래프화한 것이 <그림 4>이다.

### 4.2.2 거리역수 크리깅 방법

다른 크리깅 방법인 거리역수 크리깅 방법을 이용하여 동일한 월별 오존 자료에 대한 가중값을 계산하면 월별에 따른 오존자료는 전혀 영향을 받지 않고 단순한 거리에 의해서만 영향을 받는 것을 알 수 있다. 거리역수 크리깅 가중값을 이용하여 구한 구의동 오존도의 예측값과 실제값을 구한 결과는 <표 8>에 보통 크리깅 방법을 이용한 예측값과 같이 나타나 있으며 이를 그래프

로 나타낸 것이 <그림 4>에 나타나 있다

<표 6> 27개 지역의 2000년 월별 오존자료 (ppm)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시청앞	0.013	0.015	0.019	0.024	0.022	0.021	0.017	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008
이화동	0.006	0.015	0.020	0.025	0.024	0.028	0.027	0.016	0.021	0.011	0.009	0.009
면목동	0.011	0.014	0.017	0.024	0.024	0.029	0.026	0.016	0.017	0.011	0.010	0.012
신설동	0.009	0.011	0.011	0.015	0.012	0.018	0.023	0.023	0.014	0.018	0.013	0.011
불광동	0.019	0.021	0.024	0.030	0.028	0.030	0.028	0.022	0.025	0.017	0.011	0.014
마포	0.012	0.012	0.020	0.027	0.027	0.029	0.025	0.018	0.018	0.011	0.008	0.007
문래동	0.014	0.017	0.022	0.026	0.018	0.030	0.026	0.013	0.019	0.012	0.011	0.010
사당동	0.002	0.009	0.011	0.011	0.016	0.021	0.014	0.006	0.009	0.008	0.005	0.007
관악산	0.018	0.024	0.035	0.039	0.039	0.037	0.031	0.020	0.028	0.021	0.015	0.018
대치동	0.010	0.013	0.020	0.026	0.025	0.029	0.025	0.014	0.017	0.010	0.007	0.008
잠실동	0.008	0.011	0.015	0.021	0.019	0.026	0.025	0.017	0.015	0.009	0.011	0.011
시흥동	0.006	0.007	0.007	0.009	0.015	0.022	0.019	0.012	0.011	0.006	0.005	0.005
천호동	0.009	0.010	0.017	0.025	0.023	0.026	0.026	0.014	0.019	0.008	0.005	0.005
변동	0.003	0.011	0.018	0.018	0.020	0.025	0.024	0.012	0.013	0.008	0.005	0.006
길음동	0.015	0.021	0.025	0.015	0.020	0.023	0.030	0.021	0.022	0.017	0.014	0.011
한남동	0.010	0.014	0.020	0.023	0.026	0.026	0.023	0.018	0.021	0.015	0.009	0.009
구의동	0.009	0.010	0.017	0.024	0.024	0.027	0.026	0.015	0.019	0.010	0.008	0.007
성수동	·	·	0.009	0.017	0.019	0.022	0.023	0.012	0.013	0.006	0.005	0.006
방학동	0.016	0.019	0.025	0.030	0.031	0.033	0.029	0.018	0.020	0.014	0.012	0.013
남가좌동	0.008	0.010	0.013	0.018	0.018	0.022	0.021	0.014	0.015	0.008	0.006	0.006
구로동	0.011	0.013	0.018	0.023	0.024	0.026	0.024	0.014	0.015	0.008	0.006	0.006
반포동	0.010	0.012	0.021	0.025	0.028	0.029	0.025	0.013	0.016	0.008	0.005	0.008
화곡동	0.009	0.012	0.016	0.020	0.022	0.022	0.023	0.014	0.016	0.010	0.008	0.008
방이동	0.011	0.015	0.019	0.024	0.026	0.029	0.024	0.013	0.013	0.009	0.008	0.008
신정동	0.005	0.012	0.016	0.019	0.021	0.030	0.028	0.017	0.017	0.010	0.005	0.004
상계동	0.021	0.026	0.026	0.029	0.029	0.032	0.029	0.020	0.023	0.021	0.019	0.018
궁동	·	·	0.021	0.027	0.027	0.022	0.024	0.015	0.018	0.013	0.008	0.010

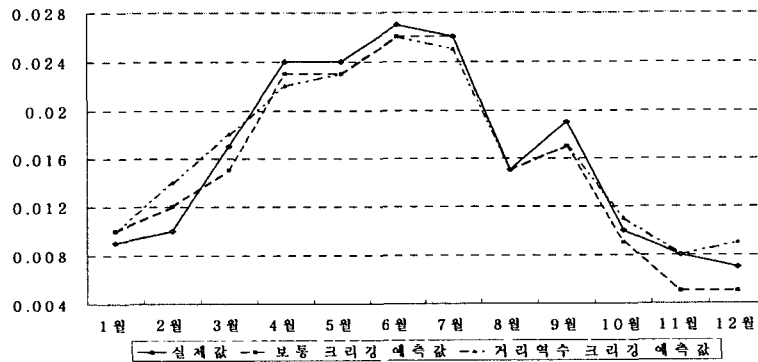


<표 7> 이론적 차의 분산에 적합된  $C(0)$ 와  $a_s$

	$C(0)$	$a_s$
1월	0.0000192	2.5
2월*	0.014	2.4
3월	0.0000355	3.1
4월	0.0000445	3.2
5월	0.00003	1.55
6월	0.0000204	2.0
7월	0.000016	3.5
8월	0.0000193	1.0
9월	0.0000275	2.0
10월*	0.026	2.5
11월*	0.030	3.2
12월*	0.025	3.3

<표 8> 구의동 오존도의 실제값과 보통 크리깅 예측값, 거리역수 크리깅 예측값

월별	실제값	보통 크리깅 예측값	거리역수 크리깅 예측값
1월	0.009	0.010	0.010
2월	0.010	0.012	0.014
3월	0.017	0.015	0.018
4월	0.024	0.023	0.022
5월	0.024	0.023	0.023
6월	0.027	0.026	0.026
7월	0.026	0.026	0.025
8월	0.015	0.015	0.015
9월	0.019	0.017	0.017
10월	0.010	0.009	0.011
11월	0.008	0.005	0.008
12월	0.007	0.005	0.009



<그림 4> 구의동 오존도 실제값과 보통, 거리역수 크리깅 예측값 그래프

두 크리깅 방법을 이용한 예측값 중 어떤 예측값이 실제 구의동 오존도를 잘 설명하는지를 보다 면밀히 알아보기 위해 임의로 측정소의 수를 26개, 24개, 18개, 18개(거리고려)로 줄여 가며 앞의 방법과 동일한 방법으로 분석하여 예측오차를 비교하였다.

결과는 <표 9> 에 나타나 있듯이 모든 경우에서 보통 크리깅 예측값이 거리역수 크리깅 예측값 보다 실제값과의 예측오차가 작게 나타나 보통 크리깅 예측값이 보다 정확한 예측값이 된다.

<표 9> 측정소 개수별 크리깅 방법 비교

		26개 측정소	24개 측정소	18개 측정소	18개 측정소 (거리고려)
예측오차	보통 크리깅	0.016	0.007	0.011	0.017
	거리역수 크리깅	0.017	0.017	0.013	0.019

## 5. 결론

미 측정 또는 측정의 신뢰도가 떨어지는 측정소의 오존을 예측하기 위한 보통 크리깅 방법은 주변 기지점과의 거리 및 오존도를 고려하며, 거리역수 크리깅 방법은 거리만이 고려 대상이 된다. 따라서 두 크리깅 방법의 차이는 오존도의 상대적 크기 차를 어떻게 반영하는가에 있으며, 각각 오존도의 크기와 거리, 단순 거리 등이 가중값을 구성하게 되는 것이다.

분석 결과 미 측정소인 구의동 오존 예측도를 100% 신뢰한다고 가정하면 두 크리깅 방법 중 보통 크리깅 방법이 다소 좋은 결과로 나타났는데 이것은 두 크리깅 방법 간의 차이는 그다지 크지 않으며, 오존도의 공간적 변동성은 그 거리의 차이에 비해 미미하다는 것으로 가중값은 오존도보다는 측정소 간의 거리에 의존한다는 것이다.

또한 측정소 개수를 줄이는 경우도 미미한 차이로 보통 크리깅 예측값이 실제값에 가까운 결과로 나타났으나 구의동으로부터 거리가 먼 18개 측정소 자료만을 이용한 결과는 무작위로 선택한 18개 측정소 자료만을 이용했을 경우보다 예측오차가 큰 것으로 보아 공간 상 거리가 멀어지면 예측값에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 크리깅 방법은 실제 미 측정 오존도 예측에 효율적으로 이용될 수 있을 것이고, 정규성과 lag문제가 발생되지 않는다면 보통 크리깅 방법을 사용하고 반면, 정규성을 만족하나 lag문제가 발생한다면 적절한 보통 크리깅 예측값을 얻을 수 없으므로 거리만을 가중값으로 두는 거리역수 크리깅 방법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] 박성현 (1996), 우리나라 환경통계의 현황, 응용통계연구, 제9권 1호, pp. 179-202.
- [2] 유성모, 엄익현 (1997), 강우강도자료를 이용한 semi-variogram의 추정과 예측, Proceedings of the Spring Conference, Korean Statistical Society.
- [4] 한국수자원공사 (1996), Kriging기법을 이용한 강우 공간분포에 관한 연구.
- [5] Cressie, N. (1989). Spatial Prediction and Ordinary Kriging, *Mathematical Geology*, 21, pp. 493-494.
- [6] Cressie, N. (1991), *Statistical for Spatial Data*, New York, Wiley.
- [7] Isobel Clack. and Paker, H. (1980), *Geostatistics*, Mackay School of Mines.
- [8] Jean-Paul Chiles Pierre Delfiner (1999), *Geostatistics Modeling Spatial Uncertainty*, John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Matheron, G.(1963), *Principles of Geostatistics*, Economic Geology, 58, pp.1246-1266
- [10] Sacks, et. al. (1989), *DACE(Design and Analysis of Computer Experiments)*.
- [11] Steven K. Thompson (1992), *Sampling*, John Wiley & Sons, Inc.
- [12] William, V. H. and Isobel Clack. (2000), *Practical Geostatistics 2000*, Ecosse North.

[ 2003년 4월 접수, 2003년 7월 채택 ]