

상관적분 기법의 프랙탈 차원 추정을 통한 기후관측소 밀도 분석에 관한 연구[†]

김희경¹ · 이영섭²

^{1,2}동국대학교 통계학과

접수 2012년 11월 29일, 수정 2012년 12월 18일, 게재확정 2012년 12월 24일

요약

현재 세계기상기구에 등록되어 있는 우리나라 기후관측소는 11개 지점이다. 11개 지점의 분포를 보면 지리적으로 균일하지 못하고 대부분이 해안에 위치하는 편중된 분포를 보이고 있다. 따라서 기후관측소 자료를 바탕으로 하는 전국 기후자료 생산 및 특성 산출을 위해서는 관측소 밀도에 관한 분석을 통해 기후자료 분포에 대한 균형도의 측정이 필요하다. 본 연구에서는 상관적분 기법을 이용한 프랙탈 차원의 추정을 통해 우리나라 기후관측소 밀도를 측정하였다. 상관적분 기법 적용시 회귀분석을 통하여 추정된 회귀계수로 프랙탈 차원을 추정한다. 추정된 프랙탈 차원을 이용해 전국의 기상관서들 중 지리적으로 기후관측소 구성의 균형을 가장 높여 줄 수 있는 기후관측소 후보지점을 선정하였다. 이 때 후보지점을 순차적으로 선택하는 방식과 조합의 형태로 여러 후보지점을 한 번에 선택하는 방식으로 각각 최적의 후보지점들을 선택하였다.

주요용어: 기상관서, 밀도분석, 상관적분, 세계기상기구 등록 기후관측소, 프랙탈 차원.

1. 서론

현재 우리나라의 79개 기상관서 (climatology station) 중 11개 지점이 세계기상기구 (World Meteorological Organization; WMO)에 등록되어 있다. 1961년에 강릉, 인천, 목포의 3개소가 등록되었고, 1965에 포항지점이 추가, 1966년에 부산지점이 추가 등록되었다. 또한 1989년에 춘천, 대전, 제주, 울릉도, 여수의 5개소가 추가 등록되었으며, 1992년에 인천지점이 제외되고 서울지점이 등록되었다. 2001년에는 제외되었던 인천이 다시 등록됨으로써 오늘날까지 전체 11개소가 등록되어 있다. 세계기상기구에 등록되어 있는 11개 지점과 그 외의 68개 기상관서들을 구분하기 위해 본 연구에서는 이후 편의상 등록된 관서들을 기후관측소라 명명하겠다. 전세계 987개의 관측소가 세계기상기구에 등록되어 있는 데에 비하면 우리나라의 등록된 기후관측소는 부족한 실정이며, 전국 평년값 산출을 위해 우리나라 기후관측소의 적정성 분석과 최적의 기후관측소 선정의 필요성이 제기되고 있다. 또한 Figure 1.1과 같이 등록된 11개소 중 서울, 인천, 강릉, 춘천, 울릉도지점의 5개소가 지리적으로 북위 37.5°대에 위치해있고, 포항, 대전지점의 2개소가 북위 36°대, 부산, 목포, 여수지점의 3개소가 북위 34.5°~35°대에 위치하고 있어 균일하지 못한 밀도를 보이고 있다. 또한 11개소 중 울릉도와 제주도의 섬 지역을 비롯해 인천, 강릉, 포항, 여수, 목포, 부산 지점 등의 대부분이 해안에 위치하는 편중된 분포를 보이고 있다

[†] 본 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원 강화 사업 (CATER 2012-3120)의 지원으로 수행되었음.

¹ (100-715) 서울시 중구 필동로 1길 30, 동국대학교 통계학과, 박사후 연구원.

² 교신저자: (100-715) 서울시 중구 필동로 1길 30, 동국대학교 통계학과, 교수. E-mail: yung@dongguk.edu

(Korea Meteorological Administration, 2011). 따라서 기후관측소를 바탕으로 하는 효율적인 전국 기후자료 생산 및 특성 산출을 위해서는 관측소 밀도에 관한 분석을 통해 기후자료 분포의 균형도에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

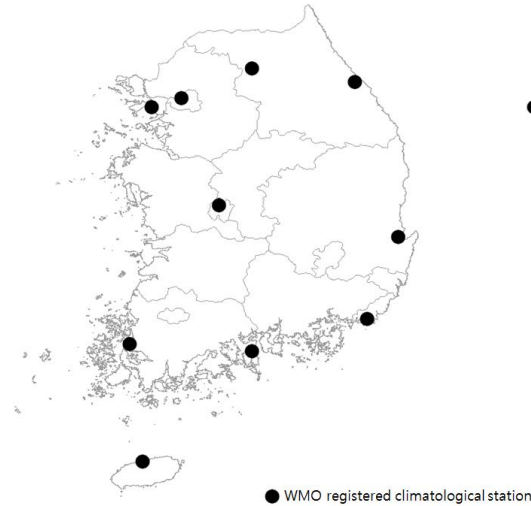


Figure 1.1 Distribution of WMO registered climatological stations in Korea

본 연구에서는 상관적분 (correlation integral) 기법을 이용한 프랙탈 차원 (fractal dimension)의 추정을 통해 우리나라 기후관측소 밀도를 측정하고 전국의 기상관서들 중 지리적으로 기후관측소 구성의 균형을 가장 높여 줄 수 있는 기후관측소 후보지점을 선정하고자 한다. 프랙탈 차원을 이용하여 밀도를 분석한 유사 연구로는 각 관측소의 창설 연도별로 관측소의 위치를 추가함에 따라 프랙탈 차원의 변화를 계산한 Lee 등 (2004)의 연구와 수문기상 관측망 구성시 분포의 균형을 가장 높여주는 지점을 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 격자상에서 찾은 Kim 등 (2012)의 연구가 있다. 또한 전국의 기상관서의 기상자료를 이용한 군집분석을 통해 기상관서의 분포를 분석한 연구로 Yeo (2011)의 연구가 있다.

2. 연구 방법

어느 지역의 지형적인 특성분석이나 공간분석을 위해서 프랙탈 기법을 이용하여 프랙탈 차원을 추정한다. 여기에서는 우리나라 기후관측소 분포에 대한 밀도를 분석하기 위하여 프랙탈 기법을 적용하고자 한다. 기후관측소 분포에 대한 균형도는 프랙탈 차원의 추정을 통해 정량적으로 측정 가능하다. 프랙탈은 작고 끝없이 되풀이되는 구조를 말하며, 작은 구조가 전체 구조와 비슷한 형태를 하고 있다는 자기유사성 (self-similarity)의 개념을 기하학적으로 표현한 것이다. 프랙탈 차원으로 1차원과 2차원 사이, 2차원과 3차원의 사이 등의 기존의 정수 차원이 아닌 소수 차원의 설명이 가능해졌다. 프랙탈 차원이 높다는 것은 자기유사성이 강하다는 의미이고 이는 분포의 균형도가 높다는 의미이다 (Bandt 등, 2000; Blenkinsop 등, 2000). 예를 들어 2차원상의 특정 구조에 대한 프랙탈 차원을 추정했을 때 2에 가까운 값 일수록 그 구조는 2차원상의 평면에 고르게 분포하고 있다고 할 수 있다. 본 연구의 기후관측소 분포에 대한 프랙탈 차원을 측정하는 경우 기후관측소들의 위경도의 위치정보를 이용하여 2차원상에 표현하게 된다. 따라서 분석자료의 변수 개수는 2이므로 프랙탈 차원이 2에 가까워질수록 기후관측소들이 모든 기후현상들을 측정할 수 있을 만큼 균등적인 분포를 하고 있다는 것을 의미한다.

프랙탈 차원 측정 방법에는 박스 계수 (box-counting) 방법 (Theiler, 1990)과 상관 함수를 이용한 상관 차원 (correlation dimension) 방법 (Grassberger와 Procaccia, 1983)이 존재한다. 박스 계수 방법은 하천, 해안선 등 선형의 특징을 가지는 지역에 대한 프랙탈 차원 산정에 많이 사용되고 본 연구에서와 같이 자료가 점들의 집합형태로 이루어진 경우는 상관적분 방법이 더 적합하다 (DeCoster와 Douglas, 1991; Hirata 등, 1987). 상관적분 방법은 식 (2.1)과 같이 두 지점의 상관 적분 (two-point correlation integral)을 나타내는 $C(\epsilon)$ 을 근사적으로 정의하여 사용한다

$$C(\epsilon) \approx \frac{2}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N \sum_{i=j+1}^N \theta(\epsilon - |\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|) \quad (2.1)$$

여기서 N 은 주어진 기후관측소의 전체 개수이고, $2/N(N-1)$ 은 정규화 요소로 $\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j$ 쌍의 모든 가능한 수를 나타낸다. $\theta(x)$ 는 Heaviside 함수로 $x \geq 0$ 이면 $\theta(x)$ 는 1의 값을 갖고, $x < 0$ 이면 0의 값을 가진다. $\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j$ 는 각각 i 번째 기후관측소의 위치 정보와 j 번째 기후관측소의 위치정보로 위도와 경도의 쌍으로 표현한다. $C(\epsilon)$ 은 공간에 분포되어 있는 점들의 집합 구조를 평가하는데 사용되어지는 측도로, 모든 가능한 경우에 대해 두 지점간의 거리 $|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|$ 를 측정하고, 그 중 거리가 ϵ 보다 작은 경우의 수를 세어 계산한다. N 개의 감시소의 분포가 프랙탈 구조를 따른다면 $C(\epsilon)$ 은 식 (2.2)를 만족하게 된다.

$$C(\epsilon) \propto \epsilon^D \text{ 또는 } \log C(\epsilon) \propto D \log(\epsilon) \quad (2.2)$$

여기에서 D 는 프랙탈 차원의 측도 중의 하나인 상관차원 (correlation dimension)을 말한다 (Grassberger와 Procaccia, 1983). 식 (2.2)를 만족한다는 것은 이론적으로 $\log C(\epsilon)$ 와 $D \log(\epsilon)$ 의 관계가 모든 ϵ 에 대하여 선형 (linear)적이라는 의미이다. 그러나 실제 자료에서는 모든 실수 ϵ 에 대하여 선형적인 관계를 구할 수가 없기 때문에 주어진 자료에서 가능한 모든 쌍의 기후관측소간의 거리를 조사하여, 최대값과 최소값의 제한된 범위내의 다양한 ϵ 에 대하여 $C(\epsilon)$ 을 계산한다. 최대값보다 큰 ϵ 에 대해서는 $C(\epsilon)$ 의 값이 항상 1이 되고, 최소값보다 작은 ϵ 에 대해서는 $C(\epsilon)$ 의 값이 항상 0이 된다. 따라서 최대값과 최소값의 제한된 범위내의 다양한 ϵ 에 대하여 $C(\epsilon)$ 을 계산하면 0과 1사이의 값으로, 계산된 $C(\epsilon)$ 값을 이용하여 $\log C(\epsilon)$ 와 $\log(\epsilon)$ 의 관계가 추정가능하다. 관계식은 회귀분석을 적용하여 식 (2.3)과 같이 단순 회귀식을 추정할 수 있다.

$$C(\epsilon) = a + \hat{D} \log(\epsilon) \quad (2.3)$$

추정된 회귀식에서 a 는 절편 (intercept)이며, 기울기 \hat{D} 이 프랙탈 차원 D 에 대한 추정값이 된다 (Lee 등, 2004).

3. 연구결과

우리나라에는 79개의 기상관서가 있는데 그 중 11개 지점 (기후관측소)은 세계기상기구에 등록되어 있다. 본 연구에서는 프랙탈 차원을 이용하여 기존의 기후관측소의 구성에 새로운 지점을 추가하였을 경우 분포의 균형을 가장 높여줄 수 있는 지점을 찾았다. 79개 기상관서 중 기존의 기후관측소 11개소를 제외하고 내륙과 멀리 떨어져있는 섬지역인 흑산도, 백령도, 고산, 성산, 서귀포 지점도 제외한 63개 기상관서만 추가 후보대상으로 고려하였다. 섬 지역을 제외한 이유는 기존의 기후관측소들이 해안가에 편중되어 분포하고 있기 때문에 이러한 문제점을 해결하고자 새로이 추가할 후보대상으로는 내륙의 기상관서들만을 고려하였다. 우리나라 79개 기상관서에 대한 위경도의 위치정보가 Table 3.1에 나타나 있다. 본 연구에서는 편의상 위경도의 위치정보를 단위가 미터인 TM (transverse meractor)좌표로 변환하여 분석에 사용하였다. 표의 비고란에 'CS'라고 표시된 지점은 기후관측소를 의미하며 'X'로 표시된 지점은 섬 지역으로 추가 후보지점에서 제외되었음을 나타낸다.

Table 3.1 Location information for 79 weather stations in Korea

Station	Lat.(N)	Long.(E)	note	Station	Lat.(N)	Long.(E)	note	
090	Sokcho	38°15'	128°33'	184	Jeju	33°30'	126°31'	X
095	Cheorwon	38°08'	127°18'	185	Gosan	33°17'	126°09'	X
098	Dongducheon	37°54'	127°03'	188	Seongsan	33°23'	126°52'	X
099	Munsan	37°53'	126°45'	189	Seogwipo	33°23'	126°52'	X
100	Daegwallyeong	37°40'	128°43'	192	Jinju	35°09'	128°02'	
101	Chuncheon	37°54'	127°44'	201	Ganghwa	37°42'	126°26'	
102	Baengnyeongdo	37°57'	124°37'	202	Yangpyeong	37°29'	127°29'	
104	Bukgangneung	37°48'	128°51'	203	Icheon	37°15'	127°29'	
105	Gangneung	37°45'	128°53'	211	Inje	38°03'	128°10'	
106	Donghae	37°30'	129°07'	212	Hongcheon	37°41'	127°52'	
108	Seoul	37°34'	126°57'	216	Taebaek	37°10'	128°59'	
112	Incheon	37°28'	126°37'	221	Jecheon	37°09'	128°11'	
114	Wonju	37°20'	127°56'	226	Boeun	36°29'	127°44'	
115	Ulleungdo	37°28'	130°53'	232	Cheonan	36°46'	127°07'	
119	Suwon	37°16'	126°59'	235	Boryeong	36°19'	126°33'	
121	Yeongwol	37°10'	128°27'	236	Buyeo	36°16'	126°55'	
127	Chungju	36°58'	127°57'	238	Geumsan	36°06'	127°28'	
129	Seosan	36°46'	126°29'	243	Buan	35°43'	126°42'	
130	Uljin	36°59'	129°24'	244	Imsil	35°36'	127°17'	
131	Cheongju	36°38'	127°26'	245	Jeongeup	35°33'	126°51'	
133	Daejeon	36°22'	127°22'	247	Namwon	35°24'	127°19'	
135	Chupungnyeong	36°13'	127°59'	248	Jangsu	35°39'	127°31'	
136	Andong	36°34'	128°42'	256	Juam	35°04'	127°14'	
137	Sangju	36°24'	128°09'	260	Jangheung	34°41'	126°55'	
138	Pohang	36°01'	129°22'	261	Haenam	34°33'	126°34'	
140	Gunsan	36°00'	126°45'	262	Goheung	34°37'	127°16'	
143	Daegu	35°53'	128°37'	271	Bongwhoa	36°56'	128°54'	
146	Jeonju	35°49'	127°09'	272	Yeongju	36°52'	128°31'	
152	Ulsan	35°33'	129°19'	273	Mungyeong	36°37'	128°08'	
155	Changwon	35°10'	128°34'	277	Yeongdeok	36°31'	129°24'	
156	Gwangju	35°10'	126°53'	278	Uiseong	36°21'	128°41'	
159	Busan	35°06'	129°01'	279	Gumi	36°07'	128°19'	
162	Tongyeong	34°50'	128°26'	281	Yeongcheon	35°58'	128°57'	
165	Mokpo	34°49'	126°22'	284	Geochang	35°40'	127°54'	
168	Yoesu	34°44'	127°44'	285	Hapcheon	35°33'	128°10'	
169	Heuksando	34°41'	125°27'	288	Miryang	35°29'	128°44'	
170	Wando	34°23'	126°42'	289	Sancheong	35°24'	127°52'	
172	Gochang	35°20'	126°35'	294	Geoje	34°53'	128°36'	
174	Suncheon	35°01'	127°22'	295	Namhae	34°48'	127°55'	
175	Jindo	34°28'	126°19'					

Table 3.2 Selection results out of 63 stations by fractal dimension estimation

selection method	order	selected weather stations			estimated regression	fractal dimension (\bar{D})
-	-	the existing stations			$\log(C) = -31.2671 + 1.6851 \log(\epsilon)$	1.6851
sequential selection	1	Jinju	-	-	$\log(C) = -31.8024 + 1.7238 \log(\epsilon)$	1.7238
	2	Jinju	Jeonju	-	$\log(C) = -33.1291 + 1.8022 \log(\epsilon)$	1.8022
	3	Jinju	Jeonju	Uljin	$\log(C) = -34.9861 + 1.9050 \log(\epsilon)$	1.9050
one selection out of 63 stations	1	Jinju	-	-	$\log(C) = -31.8024 + 1.7238 \log(\epsilon)$	1.7238
	2	Gwangju	-	-	$\log(C) = -31.7221 + 1.7181 \log(\epsilon)$	1.7181
	3	Juam	-	-	$\log(C) = -31.714 + 1.7179 \log(\epsilon)$	1.7179
	4	Sokcho	-	-	$\log(C) = -31.5431 + 1.7069 \log(\epsilon)$	1.7069
	5	Jangheung	-	-	$\log(C) = -31.3263 + 1.6927 \log(\epsilon)$	1.6927
two selection out of 63 stations	1	Gwangju	Uiseong	-	$\log(C) = -33.8307 + 1.8390 \log(\epsilon)$	1.8390
	2	Gwangju	Bongwhoa	-	$\log(C) = -33.6766 + 1.8292 \log(\epsilon)$	1.8292
	3	Gunsan	Jangheung	-	$\log(C) = -33.6425 + 1.8264 \log(\epsilon)$	1.8264
	4	Chupungnyeong	Jeonju	-	$\log(C) = -33.4896 + 1.8253 \log(\epsilon)$	1.8253
	5	Jangheung	Uiseong	-	$\log(C) = -33.5254 + 1.8194 \log(\epsilon)$	1.8194
three selection out of 63 stations	1	Andong	Boryeong	Yeongdeok	$\log(C) = -33.8307 + 1.8390 \log(\epsilon)$	1.9216
	1	Jeonju	Yeongdeok	Geochang	$\log(C) = -35.2019 + 1.9216 \log(\epsilon)$	1.9216
	2	Daegu	Jeonju	Taebaek	$\log(C) = -35.2497 + 1.9212 \log(\epsilon)$	1.9212
	3	Andong	Buan	Yeongdeok	$\log(C) = -35.2246 + 1.9203 \log(\epsilon)$	1.9203
4	Andong	Gunsan	Yeongdeok	$\log(C) = -35.1697 + 1.9190 \log(\epsilon)$	1.9190	



Figure 3.1 Sequential selection for new climatological stations by fractal dimension estimation (left upper; the existing climatological stations, right upper; first selection, left lower; second selection, right lower; third selection)

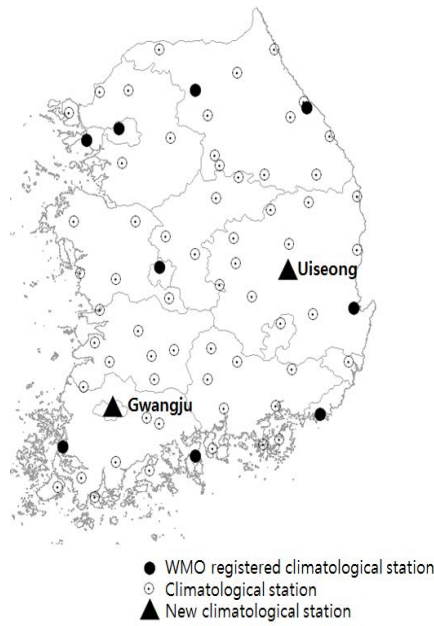


Figure 3.2 Selection for new two climatological stations by fractal dimension estimation

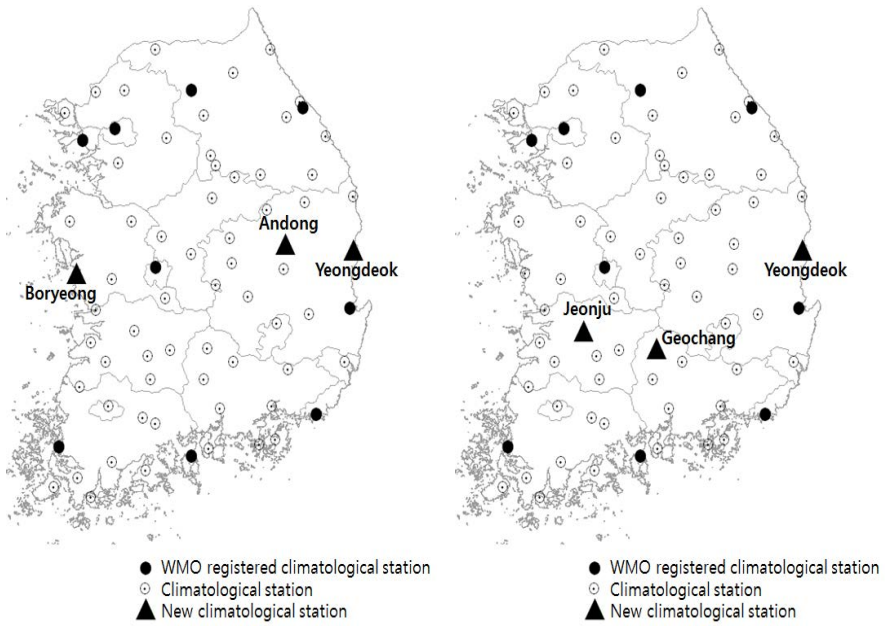


Figure 3.3 Selection for new three climatological stations by fractal dimension estimation

63개의 후보 기상관측소 중 기후관측소로 추가하였을 경우 가장 균형을 높여줄 수 있는 후보지점을 선택할 때 단계적으로 선택하는 방법과, 조합(combination)의 형태로 한 번에 여러 후보지점을 선택하는 방법을 고려하였다. 단계적으로 선택하는 방법은 현실적인 상황에서 기후관측소를 순차적으로 1개 지점씩 지정해야 하는 경우를 고려한 것이고, 조합의 형태로 선택하는 방법은 여러 지점을 한꺼번에 지정 가능한 경우를 고려한 것이다. 실제로 여러 지점을 한꺼번에 지정 가능하다면 조합의 형태로 선택하는 방법이 균형도의 측면에서 더 효율적일 것이다. 각 방법에 의해 선택한 결과는 Table 3.2와 같다. 각 방법에 따라 선택된 지점들과 추정된 회귀식이 나타나있고, 추정된 회귀식에서 기울기에 대한 추정값인 프랙탈 차원이 나타나있다. 기존의 11개 기후관측소 중 섬지역인 제주도와 울릉도를 제외한 9개 기후관측소들의 밀도를 측정해보면 프랙탈 차원이 1.6851로 추정되었다. 단계적으로 추가지점을 선택할 경우 프랙탈 차원이 가장 높은 지점은 진주로 나타났다. 진주를 포함한 기후관측소 구성에 대한 프랙탈 차원은 1.7238로 추정되었다. 기존의 9개 기후관측소 구성에 대한 프랙탈 차원값이 1.6851인 것과 비교하면 진주지점을 기후관측소 구성에 포함함으로써 밀도의 균형도가 크게 상승하는 것을 알 수 있다. 진주를 기존의 기후관측소 구성에 포함시키고 다시 새로운 지점을 찾을 경우 전주가 선택되었다. 이때의 프랙탈 차원값은 1.8022로 전주를 기후관측소 구성에 포함시킴으로써 균형도가 상승하는 것을 알 수 있다. 다음으로 진주와 전주를 기존 기후관측소 구성에 포함시키고 다시 프랙탈 차원이 가장 높은 지점을 찾으면 울진으로 이때의 프랙탈 차원은 1.9050으로 나타났다. 마찬가지로 진주와 전주에 이어 울진을 기후관측소 구성에 포함시키면 균형도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 3개 지점을 순차적으로 찾은 것이며, 후보지점들 중 선택될 지점을 조합의 형태로 찾게 되면 또 다른 결과를 예상해볼 수 있다. 먼저 63개 후보지점 중 1개 지점을 선택하는 경우의 수는 63가지로, 그 중 기후관측소로 추가하였을 경우 가장 높은 프랙탈 차원값을 가지는 지점은 진주로 앞서 언급한 바와 같이 이때의 프랙탈 차원은 1.7238로 추정되었다. 다음으로 광주, 주암, 속초, 장흥의 순이었다. 63개 후보지점 중 2개 지점을 선택하는 경우의 수는 ${}_{63}C_2 = 1,953$ 가지이다. 1,953가지 경우 중 가장 기후관측소 구성의 균형을 높여주는 지점의 조합은 광주와 의성인 것으로 나타났다. 이때 기존 9개 지점과 새로이 선택된 2개 지점을 합친 11개 지점에 대한 프랙탈 차원은 1.8390으로 추정되었다. 다음으로 광주와 보령, 군산과 장흥, 추풍령과 전주, 장흥과 위성의 조합 순이었다. 또한 63개 후보지점 중 3개 조합을 선택하는 경우의 수는 ${}_{65}C_3 = 39,711$ 가지로, 39,711가지 경우 중 가장 기후관측소 구성의 균형을 높여주는 지점은 안동, 보령, 영덕의 조합과 전주, 영덕, 거창의 조합인 것으로 나타났다. 이 때 기존 9개 지점과 새로이 선택된 3개 지점을 합쳐 전체 12개 지점에 대한 프랙탈 차원은 1.9216으로 추정되어 높은 균형을 보였다. 이는 지리적으로는 최적의 조합으로 순차적으로 추가지점을 찾은 경우보다 균형도가 더 높은 것을 알 수 있다. 다음으로 대구, 전주, 태백의 조합, 안동, 부산, 영덕의 조합, 안동, 군산, 영덕의 순인 것으로 나타났다. Figure 3.1은 순차적으로 추가지점을 찾은 결과를 지도상에 표현한 것으로 왼쪽 위 그림은 9개 기후관측소 구성보여주는 것이다. 오른쪽 위는 제일 먼저 선택된 진주를 포함한 관측소 구성을 보여주는 것이고, 왼쪽 아래 그림은 진주와 두 번째로 선택된 전주를 포함한 관측소 구성이고, 오른쪽 아래는 진주, 전주와 세 번째로 선택된 울진을 포함한 관측소 구성이다. 조합의 형태로 추가지점을 선택하는 경우 중 1개 지점을 찾은 경우는 Figure 3.1의 오른쪽 위 그림과 동일하다. 2개 지점을 동시에 선택한 경우는 Figure 3.2에 나타나있다. 기후관측소 구성의 균형을 가장 높여주는 광주와 의성이 포함된 구성을 보여준다. 기존의 기후관측소들이 해안가에 편중되어 분포하고 있었기 때문에 내륙의 지점들이 선택됨으로써 분포의 균형도가 증가된 것을 알 수 있다. Figure 3.3에서는 3개 지점을 동시에 선택할 경우 가장 균형을 높게 해주는 안동, 보령, 영덕이 선택된 경우와 전주, 거창, 영덕이 선택된 경우의 기후관측소 구성을 각각 보여준다. 이러한 조합이 선택된 이유는 기존의 기후관측소들이 북부와 남부 지방에만 몰려있었고 해안가에 편중되어 분포했기 때문에 대체로 중부지방 혹은 내륙지방에 해당하는 지점들이 선택된 것으로 판단된다.

4. 결론 및 향후과제

우리나라의 현재 세계기상기구에 등록되어 있는 기후관측소 밀도를 분석하기 위해 프랙탈 차원을 추정해본 결과 제주도와 울릉도를 제외한 9개 지점의 기후관측소 구성에 대한 프랙탈 차원은 1.6851로 나타났다. 또한 전국의 기상관서 중 기후관측소로 추가 되었을 경우 가장 분포의 균형을 높여줄 수 있는 지점을 프랙탈 차원을 통해 찾았다. 이때 순차적으로 찾는 방식과 여러 지점의 조합으로 한 번에 찾는 방식을 고려하였다. 순차적으로 찾은 경우 진주, 전주, 울진의 순으로 추가지점이 선택되었는데, 각각의 경우 추정된 프랙탈 차원은 1.7238, 1.8022, 1.9050으로 순차적으로 추가 할수록 균형도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 여러 지점의 조합으로 한 번에 찾는 방식에서 2개 지점을 선택할 경우 광주와 의성의 조합이 추가지점으로 선택되었으며, 이때의 프랙탈 차원은 1.8390으로 나타났다. 3개 지점을 선택할 경우 안동, 보령, 영덕의 조합과 전주, 영덕, 거창의 조합이 추가 지점으로 선택되었으며, 이때의 프랙탈 차원은 1.9216으로 추정되었다. 기존의 기후관측소 구성에 대한 프랙탈 차원 (1.6851)과 비교하여 볼 때 균형도가 크게 상승된 것을 알 수 있었다. 또한 선택된 지점들의 위치를 볼 때 기존의 기후관측소들이 북부와 남부지방 그리고 해안가에 편중되어 분포되어 있는 반면, 관측소 분포의 균형을 높여주는 추가 지점들은 대부분 중부 및 내륙 지방의 지점들이 선택된 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존 9개 지점의 기후관측소를 이용하여 추가 후보지점을 최대 3개 지점까지 선정하여, 전체 12개 지점에 대한 분석을 하였다. 프랙탈 분석의 특성상 관측치 수가 많을수록 안정된 추정 결과를 얻을 수 있는데 본 연구의 분석에 사용된 관측소의 수는 상대적으로 적어서 추정결과의 안정성 (stability) 측면에서 한계가 있다. 또한 지리적 변수로 기후관측소의 위도와 경도 좌표만을 이용하여 프랙탈 차원값을 구한 이론적인 분석이었고, 지형이나 고도, 해안과 내륙 유무, 기온과 습도 등의 기후요소와 같은 다양한 현실적인 변수들은 고려하지 않아 실제 적용하는 데는 한계가 있을 수도 있다. 그러나 향후 새로운 기후 관측소를 결정하는 이론적인 방향성을 제공하는 데에 본 연구가 기여하리라 기대한다. 또한, 기후관측소로 지정되기 위해서는 세계기상기구에서 권고하는 지침을 어느 정도 만족되어야 하며, 좀 더 현실적인 기후관측소 선정을 위해서는 기상관서에 대한 환경조사가 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 조사 결과를 바탕으로 우리나라 실정에 맞는 기후관측소 지정 기준이 먼저 작성되어야 하며, 지정 기준을 충족하는 최적의 기후관측소 후보지를 제시 하여야 할 것인데 이러한 요소들은 향후과제로 남겨두고자 한다.

참고문헌

- Bandt, C., Graf, S. and Zahle, M. (2000). *Fractal geometry and stochastics II*, Birkhauser Verlag, Basel.
- Blenkinsop, T. G., Kruhl, J. H. and Kupkova, M. (2000). *Fractals and dynamic systems in geoscience*, Birkhauser Verlag, Basel.
- DeCoster, G. P. and Douglas, W. M. (1991). The efficacy of the correlation dimension technique in detecting determinism in small samples. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, **39**, 221-229.
- Grassberger, P. and Procaccia, I. (1983). Characterization of strange attractors. *Physical Review Letters*, **50**, 346-349.
- Hirata, T., Satoh, T. and Ito, K. (1987). Fractal structure of spatial distribution of microfracturing in rock. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **90**, 369-374.
- Kim, H. K., Chang, K. H. and Lee, Y. S. (2012). A study on the hydrometeorological observation positions in the Nak-Dong upriver by using fractal dimension of the correlation integral. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **14**, 1919-1928.
- Korea Meteorological Administration. (2011). *Meteorological yearbook 2010*, Korea Meteorological Administration, 105-106.
- Lee, Y. S., Yum, J. K., Kim, H. J., Chung, H. S. and Cho, C. H. (2004). A study on the station density using fractal dimension. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **6**, 465-471.

- Theiler, J. (1990). Estimating fractal dimension. *Journal of the Optical Society of America A*, **7**, 1055-1073.
- Yeo, I. K. (2011). Clustering analysis of Korea's meteorological data. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **22**, 941-949.

A study on the density analysis of climatological stations using the correlation integral method in the fractal dimension[†]

Hee-Kyung Kim¹ · Yung-Seop Lee²

^{1,2}Department of Statistics, Dongguk University

Received 29 November 2012, revised 18 December 2012, accepted 24 December 2012

Abstract

Currently we have 11 climatological stations registered in World Meteorological Organization. Geographically, these stations are unevenly distributed in Korea and are mainly located on seaside. Therefore station's density analysis should be performed to produce the high-quality climatological data. Using the correlation integral method, the density of climatological stations can be measured by the estimation of fractal dimension. In this study, new climatological stations having the higher fractal dimension were selected. Sequential or simultaneous selection method were carried out until 3 new stations were selected based on the fractal dimension.

Keywords: Climatological station, correlation integral method, density analysis, fractal dimension, WMO registered stations.

[†] This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant CATER 2012-3120.

¹ Post doctor, Department of Statistics, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea.

² Corresponding author: Professor, Department of Statistics, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea.
E-mail: yung@dongguk.edu