

바람권역 구분을 통한 부산지역 국지바람 분석 - Part III : 부산지역 상세 바람권역 구분 -

정우식·이화운·박종길*
인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터
*부산대학교 대기과학과
**인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터
(2006년 8월 29일 접수; 2007년 2월 9일 채택)

Analysis of Local Wind in Busan Metropolitan Area According to Wind Sector Division - Part III : Division of Local Wind Sector over Busan -

Woo-Sik Jung^{*}, Hwa Woon Lee^{**} and Jong-Kil Park^{***}
*Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric
Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*
^{}Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*
*^{**}Department of Environment Sciences Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center,
Inje University, Gimhae 621-749, Korea*
(Manuscript received 29 August, 2006; accepted 9 February, 2007)

We have investigated coarse wind sectors in Busan metropolitan area and simulated detailed wind field using local atmospheric circulation model, RAMS in preceding studies (Part I, Part II). In this study, we divided and analyzed local wind sector in Busan according to the preceding results. We found that Busan metropolitan area is divided into 2 or 3 local wind sector in each coarse wind sector. The 9 coarse wind sectors were classified into 20 local wind sectors in total. But three local wind sectors were finally excluded because of these sectors were located on the complex hill area and the sea. Local wind sectors, therefore, in Busan metropolitan area were defined as 17 regimes. We assessed the location of air quality monitoring sites at Busan metropolitan area using the information of these wind sectors. Most of these were located at proper points, but 6 sites were placed at 3 local wind sectors as a couple and no site was set up at 3 other sectors. Hence the location of these sites was in need of rearrange.

Key Words : Local wind sector, Cluster analysis, Air quality monitoring site

1. 서론

전 세계적으로 여러 대도시 지역은 지리적 위치 조건과 지형적 복잡성으로 인해 복잡, 다양한 바람 환경을 가지고 있다^{1~4)}. 특히, 바람은 인접한 작은 지형적 장애물에 의해서도 주위의 바람과 전혀 다른 특성을 보일 수 있으므로 이들을 정확하게 파악

하는 것은 무척 어려운 부분이다. 우리나라의 경우 전국토의 약 70%정도가 구릉성 산악지형의 조건을 가지고 있어 여러 지역적 국지순환계가 형성될 수 있으며 그 형태 또한 복잡하게 나타난다. 이는 곧 지표부근의 지형조건이 전반적 국지순환계의 특성과 밀접한 관련이 있다는 것을 의미한다. 이승우와 이동규⁵⁾는 경기도 일부를 포함하는 수도권역을 대상으로 지형 및 지표효과에 대한 국지순환계 연구에서 지형경사와 지표특성 변화가 국지순환계 형성에 큰 영향을 미친다는 것을 살펴본 바 있으며 Banta와 Cotton⁶⁾은 미국 콜로라도의 넓은 산악분지

Corresponding Author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea
Phone: +82-55-320-3932
E-mail: wsjung1@inje.ac.kr

지역에서의 지형적 특징에 따라 대기저층에서 복잡한 형태의 풍계가 나타난다는 것을 살펴본 바 있다. 이러한 연구들에서 공통적으로 지적하는 것은 지형적 복잡성은 결국 지역 내 국지적 바람특성 변화와 가장 밀접한 연관이 있다는 점이다.

이처럼 도시지역 일대의 지형적 조건에 따라 해당 지역의 바람특성이 크게 영향을 받는다는 점은 결국 대기환경학적인 측면에서도 중요한 관심요소가 된다. 이는 도시지역에서 배출된 대기오염물질이 기상학적 종관장의 영향 정도에 따라 복잡, 다양한 수송 및 확산현상을 보일 수 있기 때문이다. 즉, 대기오염 배출원에서 배출된 물질에 의한 대기오염문제는 대규모 배출원이 위치하고 있는 지점이나 지역만의 문제가 아니라 해당 지역 일대에 형성되어 있는 대기흐름에 의해 주변지역으로 대기오염물질이 수송될 수 있다는 점에서 심각한 문제가 발생할 수 있다는 것이다⁷⁾. 특히, 도시규모에서의 대기질 정도는 대기오염물질의 배출량과 이들 오염물질의 화학반응뿐 아니라 난류확산 및 수송과정, 침적현상 등의 기상인자에 의해 큰 영향을 받으므로, 결국, 이들에 대한 정확한 이해는 도시지역에서의 종합 대기오염도를 조사하는데 있어 필수적이라고 할 수 있다.

우리나라의 연안 대도시 지역인 부산 또한 도심지 내륙 전반에 걸쳐 낮은 구릉성 지형이 산발적으로 존재해 있고 도시 전면부가 굴곡이 심한 해안선을 가지며 바다와 접해 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 조건에서는 위에서 언급한 바와 같이 좁은 도시 내부지역에 걸쳐 다양한 풍계 특징을 가지고 있다^{1,2)}.

본 연구에서는 선행연구인 Part I⁸⁾과 Part II⁹⁾에서 도출된 결과를 바탕으로 부산지역 내에서의 복잡 다양한 바람 특성을 파악하여 상세 바람권역 구분을 수행하고자 한다. 이미 선행연구를 통해 부산지역은 9개의 대분류 바람권역으로 나누어진다는 것을 제시하였으며 본 연구에서 수행하고자 하는 상세 바람권역 구분 연구에 있어 필수적 입력자료인 상세 바람정보를 도출하기 위하여 타당성을 검증한 대기유동장 수치모델링을 수행한 바 있다.

또한 본 연구에서는 분류된 부산지역의 상세 바람권역 정보를 바탕으로 현재 부산지역에 설치되어 있는 대기오염자동측정망 지점들의 위치에 대한 평가를 부가적으로 수행하고자 한다. 여러 다양한 이유로 인해 대기오염자동측정망의 설치는 지극히 제한적일 수밖에 없다. 따라서 제한된 개수의 장비를 가장 적절하게 배치하는데 있어 본 연구에서 도출된 상세 바람권역 설정 정보가 기존의 측정망 배치 기준에 어떠한 유용한 정보를 제공하는지 살펴볼

수 있을 것이다.

2. 대분류 권역별 수치모의 결과를 통한 군집 분석 및 바람권역 상세분류

Part I의 연구를 통해 도출된 부산지역의 대분류 바람권역을 대상으로 권역별 상세 바람권역을 수행하기 위해서는 기상관측자료의 충분한 제공이 필수적이지만 부산지역에 현재 위치하고 있는 기상관측 지점의 공간적 해상도로 볼 때 이것은 거의 불가능하다. 따라서 대안으로 부산지역의 지형적, 지리적 특성을 잘 고려하여 신뢰할 만한 상세 기상정보를 제공할 수 있는 대기유동장 수치모델링을 통해 연구를 진행할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Part II에서 살펴본 바와 같이 부산지역에서의 상세 기상정보를 충실하게 제공할 수 있는 RAMS 수치모형을 이용하여 부산지역의 격자화된 바람정보를 도출하였다. 상세 바람권역 구분에 활용된 수치모델링 결과에 대한 상세 정보는 Part II에 자세히 언급되어 있다. 이를 간단히 설명하면, 부산지역을 격자화한 각 지점에서의 기상정보는 수치모의 대상인 10일의 시간별 풍속자료를 활용하였다. 이들 자료를 활용하여 대분류 권역을 대상으로 K-평균 군집분석을 각각 수행하여 상세 바람권역 구분을 수행하였다.

이들 자료를 바탕으로 각 대분류 권역별 상세 바람권역 분류를 수행한 최종 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림 안의 굵은 실선은 대분류 권역의 경계를 나타낸 것이고 각 지점별로 나타난 도형모양이 대분류된 각 권역 내에서의 상세 바람권역을 나타낸 것이다. 각각의 대분류 권역 내에서 동일한 모양의 표기(symbol)는 동일한 상세바람권역에 해당함을 나타낸다. 이들 각 대분류 권역별 상세 바람권역의 구분과정과 분석내용은 다음과 같다.

2.1. A 권역 군집분석 결과

기상관측자료를 토대로 분석한 K-평균 군집분석 결과 부산지역의 바람권역 환경은 크게 9개의 권역으로 대분류된 바 있다¹⁾. 이에 행정구역상 북구와 사상구 지역인 A 권역에 대한 각 수치모의 격자지점을 군집분석 대상으로 하였고 A 권역에 해당하는 각 격자점에서 수치모의된 동서방향의 바람성분(U)과 남북방향의 바람성분(V)을 입력자료로 하여 앞에서 수행한 방법과 동일한 방법으로 군집분석을 수행, A 권역에 대한 바람권역 상세분류를 분석하였다.

2.1.1. A 권역 상세 군집개수

북구와 사상구로 대표되는 A 권역 각 격자에 대한 풍향·풍속의 수치모의 결과를 바람의 동서성분(U)과 남북성분(V)으로 재처리하여 군집분석을 수

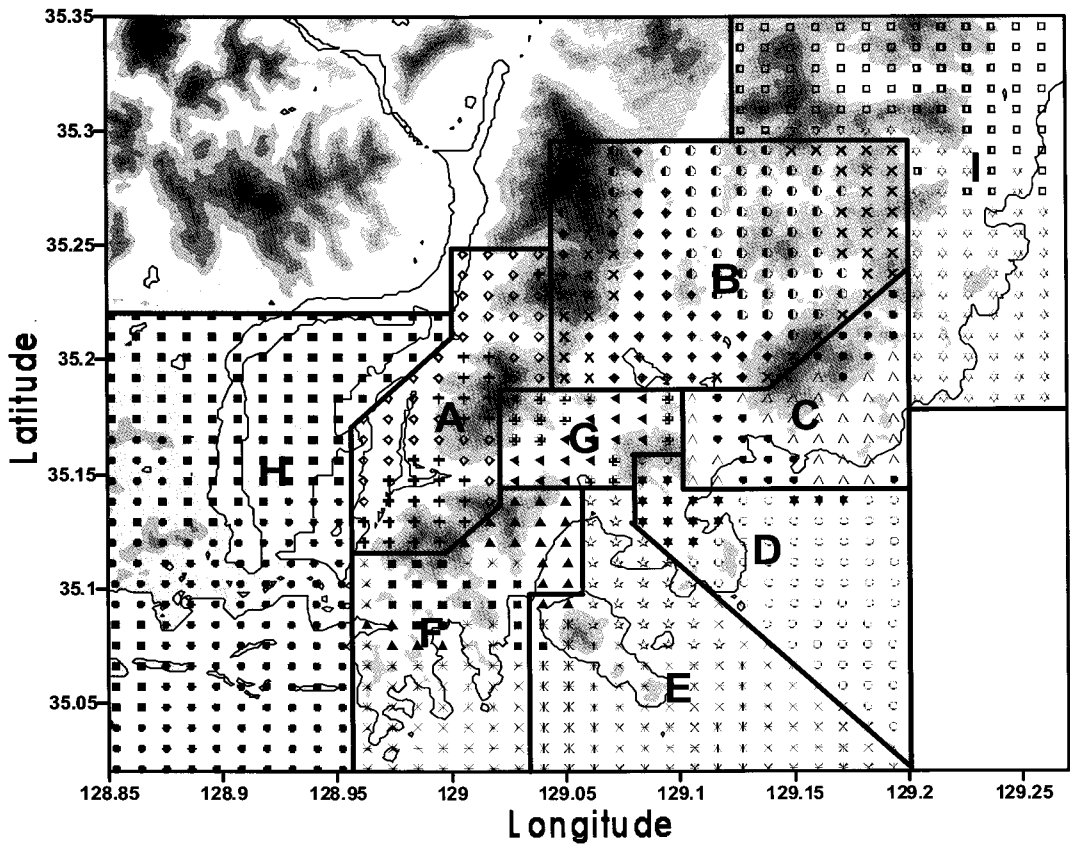


Fig. 1. Schematic expression on division of local wind sectors in each coarse wind sector.

행한 결과, 가장 타당한 군집개수는 2개로 분석되었다(Table 1). 표와 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.784로 높으며 군집개수가 1개인 경우에 3개인 경우에 비해 R-Square 값의 증가분이 가장 높음을 알 수 있다. 이와 더불어 군집간의 거리를 의미하는 PSF와 군집 내 개체들 간의 거리를 의미하는 PST2 결과에서도 군집이 2개인 경우를 전후하여 뚜렷한 증가와 감소를 나타나고 있어 북구와 사상구로 대표되는 영역의 모든 격자를 각각의 바람에 대한 유사성으로 군집을 분류하는 경우 2개의 군집으로 분류되는 것이 가장 타당한 것으로 분석되었다.

2.1.2. 거리 측도에 의한 A 권역 상세 군집화

위의 분석된 군집개수를 이용하여 유클리드 거리에 의한 K-평균 군집분석을 수행하였다.

Fig. 2는 행정구역상 북구와 사상구로 구성되어진 영역 A에 대하여 각 격자에서의 바람장 수치모의 결과를 토대로 군집개수를 2로 하여 유클리드 거리로 비유사성을 나타낸 K-평균 군집분석 결과이다.

동시에 Table 2는 A 영역의 각 격자에 대한 각각의 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타낸 것이다. 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 29개로써 전체 개체 75개의 35%에 해당하며 나머지는 2로 표현된 군집에 속하였다.

2.1.3. A 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] A-1 권역 (+)

상세권역 분석 결과 A 권역 전체 면적의 39%에

Table 1. Result of cluster analysis for A wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
75	OB2	OB72	1.000	7990	17.0	0.0113
.
.
4	CL0	CL6	.822	38.3	38.8	0.872
3	CL7	CL43	.809	36.9	45.3	0.9202
2	CL4	CL5	.784	61.5	8.8	0.9915
1	CL2	CL3	.000		36.9	1.5159

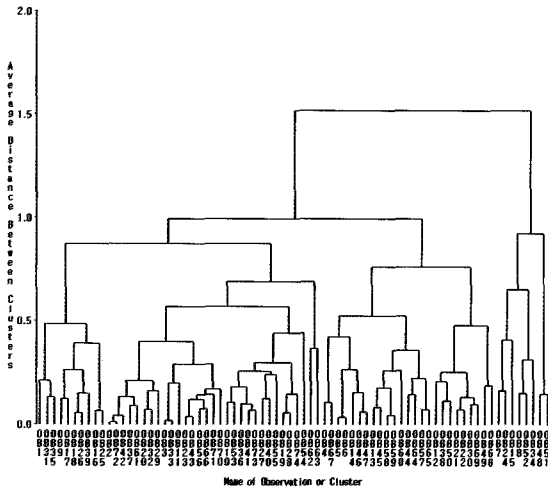


Fig. 2. Diagram for average distance between clusters in A wind sector.

Table 2. Distance from center of cluster over A wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1204	128.962	1	0.520322
35.1294	128.962	1	0.218046
35.1384	128.962	2	0.320528
35.1474	128.962	2	0.217409
.	.	.	.
.	.	.	.
35.2285	129.039	2	0.324605
35.2375	129.039	1	0.302225
35.2465	129.039	2	0.396232

해당하는 세부권역이며 행정구역상 북구의 구포동과 사상구의 학장동이 이 권역에 속한다. A-1 권역은 대부분 산지에 위치하여 강한 산악성 바람환경을 보인다. 즉, A-1 권역의 대부분은 백양산과 구덕산에 의한 산지라는 지형적 영향으로 인해 저풍속의 산악성 바람권역 환경으로 분석된다.

[2] A-2 권역 (◆)

상세권역 분석 결과 A 권역 전체의 61%에 해당하는 권역이다. 행정구역상으로는 북구의 금곡동, 화명동, 덕천동, 만덕동, 그리고 사상구의 덕포동, 감전동이 이 권역에 해당한다. 이 상세권역은 동쪽의 상학봉과 백양산, 그리고 서쪽의 낙동강 분류 사이에 위치한 지역으로 동쪽의 산악지형을 끼고 남북 방향으로 연결된 바람권역을 따라 남풍과 북풍의 바람권

역 환경이 형성되어 있다. 이는 낙동강을 중심으로 크게 대별되는 동쪽의 구릉성 지역과 서쪽의 평야지역에 의한 바람권역 환경을 정확히 반영하여 상세히 분류된 결과로 사료된다. 그러나 백양산과 구덕산 사이에 위치한 개금동 지역은 상세분류 결과 비록 A-1 권역과 A-2 권역이 공존하는 지역이지만 북쪽의 백양산과 남쪽의 구덕산 사이의 동서방향으로 뚜렷한 바람권역이 형성된 지역으로 판단할 수 있으므로 대기오염측정망 위치 재고라는 측면에서 볼 때 이 지역에 설치된 대기오염자동관측지점의 위치에 대한 신중한 검토가 요구되어 진다.

2.2. B 권역 군집분석 결과

행정구역상 금정구와 동래구가 위치한 지역인 B 권역에 대하여 상세 군집분석을 수행하였다. B 권역에 해당하는 각 수치모의 격자점을 군집분석 대상으로 하였다.

2.2.1. B 권역 상세 군집개수

B 권역의 각 격자에 대한 상세 군집분석을 수행한 결과, 가장 타당한 군집개수는 3개로 분석되었다. Table 3에 나타난 바와 같이 군집이 3개인 경우에 R-Square가 0.794로 나타나서 군집개수가 2개와 4개인 경우에 비해 R-Square 값의 증가분이 높음을 알 수 있다. 또한 PSF와 PST2 결과에서도 군집이 3개인 경우를 전후하여 각각 75.2와 8.0으로 뚜렷한 증가와 감소를 나타내었기에 금정구와 동래구로 대표되는 B 권역의 모든 격자를 이용하여 군집을 분류할 때 3개의 상세 바람권역으로 분류되는 것이 가장 타당하다.

2.2.2. 거리 측도에 의한 B권역 상세 군집화

Fig. 3은 행정구역상 금정구와 동래구가 위치한 B 권역에 대하여 군집개수를 3으로 하여 군집 분석한 결과이다. 또한 Table 4에 B 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 44개로써 B 권역 전체 개체인 153개의 29%에 해당하며 2로 표현된

Table 3. Same as table 1 except for B wind sector

NCL	Clusters Joined	R-Square	PSF	PST2	Distance
153	OB80 OB93	1.000	6662	2.9	0.0123
.
4	CL8 CL6	.814	48.2	85.7	0.9737
3	CL4 CL7	.794	75.2	8.0	1.1441
2	CL5 CL3	.668	11.0	92.2	1.2557
1	CL2 CL30	.000		11.0	1.5003

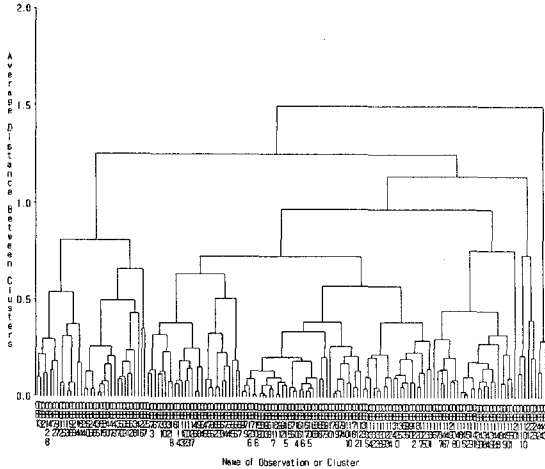


Fig. 3. Same as Fig. 2 except for B wind sector.

Table 4. Same as table 2 except for B wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.2825	129.05	3	0.254879
35.2915	129.05	3	0.521755
35.2015	129.061	2	0.433138
35.2105	129.061	1	0.556768
.	.	.	.
.	.	.	.
35.2735	129.172	3	0.279964
35.2824	129.194	2	0.453826
35.2914	129.194	2	0.23442

군집의 소속개체 역시 43개로 전체의 약 29%에 해당한다. 그리고 나머지는 3로 표현된 소속군집에 속한 개체는 가장 많은 66개로서 전체의 43%에 해당하는 비율이다.

2.2.3. B 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] B-1 권역 (◆)

상세권역 분석 결과 행정구역상 금정구의 남산동과 장전동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 서쪽의 금정산과 개좌산 사이의 골에 위치하여 뚜렷한 바람을 형성하는 권역이다. 즉, 금정구의 남산동과 장전동이 위치한 이 지역은 비록 동래구의 명륜동과 온천동이 위치한 지역과 동일한 상세 군집분석 결과를 나타내었지만 금정산과 개좌산 사이의 골에 위치, 뚜렷한 바람권역을 형성하므로 동래구의 명륜동과 온천동 권역에서 수렴된 공기들이 이 지역을 통해 이동하는 바람의 유, 출입구 역할을 하는 권역으로 볼 수 있으므로 또 다른 새로운 상세 권역으로

구분, 분류하였다.

[2] B-2 권역 (◆)

행정구역상 동래구의 명륜동과 온천동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 북서쪽의 금정산과 북동쪽의 개좌산, 그리고 동쪽의 장산과 남쪽의 황령산 사이에 위치한 곳으로 분지형의 지형조건을 보이고 있다. 따라서, 부산 도심지인 범전동 및 서면과는 남서쪽 방향에서 연결되어 있고, 더불어 남동쪽 방향으로는 광안동과 연결된 바람길의 수렴권역으로 앞서 언급한 바와 같이 이 상세권역은 동일한 군집분석 결과를 나타낸 B-1 권역 중 금정구의 남산동 및 장전동과는 다른 풍환경을 가지고 있기에 다른 상세 권역으로 구분, 분류하였다.

[3] B-3 권역 (●)

대분류된 B 권역의 마지막 상세권역으로 가장 넓은 43%의 면적 비율을 차지하고 있다. 이 지역은 회동 수원지와 북서쪽의 구월산, 북동쪽의 개좌산, 그리고 남쪽의 장산 사이에 위치한 분지 및 낮은 구릉지역으로 동래구 명륜동 등의 B-2 권역에서 수렴한 바람이 유출입 되는 북쪽의 B-1 권역과 뚜렷이 구분되는 별도의 바람특성을 보이는 상세 바람권역으로 분석된다.

마지막으로 B1~B3 권역 어디에도 속하지 않은 지점들(×)이 있는데 이 지점들이 위치한 지역은 대부분이 금정산 및 개좌산의 정상 부근에 위치함으로 산악성 바람 환경을 의미한다. 이러한 이유로 본 연구의 활용적 측면에서 볼 때 별도의 독립 상세 바람권역으로 구분하지 않았다.

2.3. C 권역 군집분석 결과

2.3.1. C 권역 상세 군집개수

행정구역상 수영구와 해운대구가 위치한 C 권역의 상세 군집분석을 수행한 결과, 군집개수는 2개로 분석되었다. Table 5와 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.770으로 높게 분석되었으며 후하여 각각 87.0과 3.2로 나타나서 C 권역의 모든

Table 5. Same as table 1 except for B wind sector

NCL	Clusters Joined	R-Square	PSF	PST2	Distance
60	OB14 OB22	1.000	1451	4.4	0.0265
.
.
4	CL7 CL17	.806	60.0	18.0	0.6789
3	CL5 CL8	.791	45.9	40.7	0.8912
2	CL4 CL6	.770	87.0	3.2	1.0471
1	CL2 CL3	.000	.	67.0	1.2305

PSF와 PST2 결과에서도 군집이 2개인 경우를 전격자를 각각의 바람에 대한 유사성으로 군집을 분류하면 2개의 군집으로 결정되었다.

2.3.2. 거리 측도에 의한 C권역 상세 군집화

Table 6은 C 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타내었다. 표에 제시한 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 37개로써 전체 개체 60개의 62%에 해당하며 2로 표현된 군집의 소속개체는 23개로 전체의 38%에 해당하였다.

2.3.3. C 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] C-1 권역 (▲)

행정구역상 해운대구의 좌동이 이 권역에 속한다. 이 지역의 북북서쪽으로는 장산이, 남쪽으로는 해운대 해수욕장이 위치함으로 형성된 해안지역으로 장산 끝자락과 해안사이에 위치한 해안지역으로 인접한 수영구 및 광안동 지역과는 달리 해안 및 북서쪽의 장산으로 인한 국지풍 순환이 뚜렷한 권역으로 사료된다.

[2] C-2 권역 (●)

상세권역 분석 결과 C 권역 전체의 38%에 해당하는 권역으로 행정구역상으로는 수영구의 광안동 일대가 이 권역에 해당한다. 이 상세권역은 북북동쪽으로 장산이 위치하여 있고 수영구와 인접, 수영강을 따라 형성된 저지대지역이다. 즉, 저지대인 수영강과 북동쪽의 장산으로 인해 형성된 탁월한 바람길 환경으로 사료된다.

2.4. D 권역 군집분석 결과

2.4.1. D 권역 상세 군집개수

남구를 대부분 포함하는 D 권역의 상세 군집분석을 수행한 결과, 2개로 분석되었다.

Table 7과 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.776으로 높았으며 PSF와 PST2 결과에서도 군집이 2개인 경우에 가장 타당한 값을 나타내었다.

Table 7. Same as table 1 except for D wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
81	OB43	OB54	1.000	1634	2.6	0.0249
.
4	CL9	CL5	.807	61.3	26.8	0.8929
3	CL4	CL8	.798	23.6	84.2	1.0071
2	CL3	OB30	.776	86.5	4.0	1.2913
1	CL6	L2	.000	.	41.3	1.6123

2.4.2. 거리 측도에 의한 D 권역 상세 군집화

Table 8은 D 영역의 각 격자에 대한 각각의 소속 군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타낸 것인데 표에 나타낸 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 15개로써 전체 개체 81개의 19%를 차지하였으며 나머지는 2로 표현된 군집에 속하였다.

2.4.3. D 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] D-1 권역 (★)

K-평균 군집방법을 이용한 상세권역 분석 결과 19%에 해당하는 권역으로 행정구역상 남구의 대연동이 이 권역에 속하며 이 권역은 북쪽의 황령산 및 금련산과 동쪽의 수영구가 위치해 있고 서쪽으로는 부산만이 놓여있다. 이러한 지형적 특성으로 인해 북쪽의 황령산 남쪽으로 하여 수영구 및 부산만 사이를 통과하는 완전한 바람권역이 형성되어 있다.

상세권역 분석 결과 가운데 나머지에 해당하는 권역은 (○)로 표시하였다. 먼저, 이 지역은 용호동 일부를 제외한 대부분이 해상권에 위치함으로 인해 본 연구에서 수행한 K-평균 군집분석 결과의 정확성 및 타당성을 확인할 수 있는 한편 본 연구의 취지인 대기오염측정망의 위치 적정성에 부합하지 않으므로 별도의 상세권역으로 구분하지는 않았다.

2.5. E 권역 군집분석 결과

2.5.1. E 권역 상세 군집개수

Table 6. Same as table 2 except for B wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1565	129.117	1	0.160363
35.1655	129.117	2	0.074177
.	.	.	.
.	.	.	.
35.1565	129.183	1	0.220253
35.2284	129.194	2	0.135961

Table 8. Same as table 2 except for D wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1295	129.084	1	0.237548
35.1385	129.084	1	0.14769
.	.	.	.
.	.	.	.
35.1295	129.194	2	0.079909
35.1385	129.194	2	0.118912

Table 9와 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.792, PSF와 PST2도 각각 158과 9.1로 나타나서 동구 및 남구 일부지역과 영도구로 대표되는 E 권역은 2개의 상세 바람권역으로 구분되었다.

2.5.2. 거리 측도에 의한 E 권역 상세 군집화

Table 10에 제시한 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 31개로써 전체 개체 123개의 25%에 해당하며 2로 표현된 군집의 소속개체는 70개로 전체의 75%에 해당한다.

2.5.3. E 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] E-1 권역 (★)

행정구역상 동구의 범일동과 남구의 우암동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 서쪽의 수정산과 북동쪽의 황령산, 그리고 남쪽의 부산만 및 부산항에 인접한 곳으로 동구 범일동과 부산항이 위치한 남구 우암동을 중심으로 하는 부산만 권역으로 하나의 동일한 바람권역이 형성되어 있다. 즉, 이 지역은 부산만을 통한 바람의 유입구 내지는 유출구의 바람권역이 형성되어 있다.

[2] E-2 권역 (✳)

이 상세 권역은 행정구역상 영도구의 동삼동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 서쪽의 송도, 동쪽의 부산만을 두고 그 중심에는 봉래산과 함께 형성된 부산 지역의 남동쪽에 해상에 위치한 섬이다. 이와

같은 영도지역은 해상과 함께 동일한 바람권역으로 분석되어지며 이는 해상의 영향을 많이 받아 상대적으로 풍속이 강한 바람환경과 더불어 행정적 측면에서도 의미를 가지는 바람권역으로 사료된다.

2.6. F 권역 군집분석 결과

2.6.1. F 권역 상세 군집개수

서구와 동구 일부지역이 위치한 F 권역의 각 격자에 대한 풍향·풍속의 수치모의 결과를 바람의 동서성분(U)과 남북성분(V)으로 표준화하여 상세 군집분석을 수행한 결과, 먼저 가장 타당한 군집개수는 3개로 분석되었다. Table 11과 같이 군집의 개수가 3개인 경우에 R-Square가 0.793, PSF와 PST2가 군집이 3개인 경우를 전후하여 뚜렷한 증가와 감소를 나타내었기에 서구와 동구 일부지역으로 대표되는 F 권역의 모든 격자를 각각의 바람에 대한 유사성으로 군집을 분류할 때 3개의 군집으로 분류되었다.

2.6.2. 거리 측도에 의한 F 권역 상세 군집화

Table 12에 F 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 거리를 정리하여 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 19개로써 전체 개체 93개의 25%에 해당하며 2로 표현된 군집의 소속개체는 70개, 74%에 해당하는 비율이다. 그리고 나머지는 3로 표현된 소속군집에 속한 개체는 매우 적은 4개로써 0.5%에

Table 9. Same as table 1 except for E wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
123	OB100	OB103	1.000	3000	5.6	0.0058
.
4	CL6	CL5	.822	106	48.7	0.766
3	CL10	CL7	.807	134	23.1	0.8305
2	CL4	CL8	.792	158	9.1	1.0929
1	CL3	CL2	.000	.	58.7	1.3648

Table 10. Same as table 2 except for E wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1205	129.061	1	0.416598
35.1295	129.061	1	0.287818
.	.	.	.
.	.	.	.
35.0845	129.051	2	0.508224
35.0935	129.051	1	0.216226

Table 11. Same as table 1 except for F wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
93	OB9	OB51	1.000	3913	4.3	0.0051
.
.
4	CL9	OB91	.828	47.8	84.6	0.8107
3	CL7	CL6	.793	85.0	4.0	1.0159
2	CL3	CL5	.766	30.6	48.5	1.258
1	CL2	CL4	.000	.	30.6	1.8877

Table 12. Same as table 2 except for F wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1114	128.962	2	0.150914
35.0214	128.963	2	0.150222
.	.	.	.
.	.	.	.
35.1025	129.029	1	0.184895
35.1385	129.05	2	0.456228

해당하는 수치이다.

2.6.3. F 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] F-1 권역 (■)

이 권역은 행정구역상 서구의 감천동이 이에 속한다. 이 지역은 북쪽의 구덕산과 승학산, 그리고 남쪽의 다대포 사이에 위치하여 동서로 형성된 바람권역이 뚜렷하다, 따라서 부산만으로 유입된 바람이 서쪽의 이 권역을 통해서 이동하는, 또는 그 반대의 바람길 환경이 형성된 것으로 사료된다. 그리고 영도와 송도 사이로 유입된 기류와 다대포로 유입된 기류가 북쪽의 구덕산과 승학산에 의해 수렴되는 바람권역이다.

[2] F-2 권역 (▲)

행정구역상 서구의 서대신동과 동구의 수정동이 이 권역에 속한다. 이 권역은 북서쪽의 수정산과 남동쪽의 부산만에 인접한 배산입수의 해안지역으로써 부산만으로부터 유입된 바람이 수정산 및 구덕산으로 인해 수렴되는 바람권역이다. 이 지역은 앞서 분석한 부산지역의 뚜렷한 바람 유입구인 C-1 권역(수영구 광안동)과 E-1 권역(동구 범일동)과는 달리 부산만으로 침투한 바람 일부 및 영도와 송도 사이로 침투한 바람의 수렴지역으로 분석된다.

그리고 대분류 F 권역은 비록 3개의 군집개수로 결정되어 상세분류를 수행하였지만 3번으로 분류된 상세권역은 Fig 1의 (✱)으로 전체 개체 93개 가운데 4지점만 분석되었고 이 지점들의 위치도 부산만 앞바다에 한정되어 있기에 또 다른 상세권역으로 구분하는 것은 무의미한 것으로 사료되어 최종적으로 대분류 F 권역에 대한 상세분류는 2개의 권역으로 구분, 분석하였다.

2.7. G 권역 군집분석 결과

2.7.1. G 권역 상세 군집개수

Table 13과 같이 R-Square가 0.746로 조금 낮은 상관정도를 보이지만 PSF와 PST2 결과에서 군집이 2개인 경우를 전후하여 뚜렷한 증가와 감소를 나

타내었기에 부산진구와 연제구로 대표되는 G 권역은 2개의 군집개수로 분석하였다.

2.7.2. 거리 측도에 의한 G 권역 상세 군집화

Table 14는 G 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타낸 것이다. 표에 제시한 바와 같이 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 17개로서 전체 개체 31개의 55%에 해당하며 2로 표현된 군집의 소속개체는 14개로 전체의 45%에 해당한다.

2.7.3. G 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] G-1 권역 (◀)

행정구역상 부산진구의 범전동과 당감동, 그리고 연제구의 연산동과 연지동이 이 권역의 대표적인 동이다. 이 상세권역은 서쪽 및 북쪽 방향으로 이어진 금정산 자락과 남동쪽의 황령산 사이에 위치함과 동시에 정남 방향으로 부산만과 서쪽으로는 가야, 개금동이 위치한 골지역, 그리고 북동쪽으로는 명륜동 등 상대적으로 저지대와 연결된 도심지역이다. 즉, 부산 최대의 도심지역임과 아울러 정남 방향으로의 부산만, 서쪽으로는 개금동을 통한 바람 수렴권역으로 형성되어 있다.

그리고 대분류 G 권역의 상세분류 역시 2개의 군집개수가 가장 적절한 것으로 분석되었다. 그러나 G 권역에 대한 2번째 상세권역의 경우 Fig. 1에서 보면 (■)으로 표시된 지역으로 이 지점들이 위치한 곳은 산악지역으로 한정되어 있어 부산지역 대기오염측정망의 위치 적정성 평가라는 측면에서 활용성이 거의 없으므로 또 다른 하나의 상세권역으로 분류하지는 않았다.

2.8. H 권역 군집분석 결과

2.8.1. H 권역 상세 군집개수

강서구가 위치한 H 권역을 대상으로 상세 바람장 군집 분석을 수행한 결과, Table 15와 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.770, PST2 결과에서 군집이 2개인 경우를 전후하여 10.1로 나타나

Table 13. Same as table 1 except for G wind sector

NCL	Clusters Joined	R-Square	PSF	PST2	Distance
31	OB13 OB30	1.000	457	7.5	0.0476
.
.
4	CL14 OB11	.807	28.5	15.0	0.7663
3	CL4 CL7	.789	22.9	20.4	0.8648
2	CL6 CL5	.746	42.6	3.2	0.9934
1	CL3 CL2	.000	.	22.6	1.1818

Table 14. Same as table 2 except for G wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1475	129.028	1	0.191967
35.1655	129.028	2	0.372813
35.1655	129.084	1	0.337284
.	.	.	.
.	.	.	.
35.1745	129.095	2	0.225167

서 강서구로 대표되는 H 권역은 2개의 군집으로 분류되는 것이 타당하였다.

2.8.2. 거리 측도에 의한 G 권역 상세 군집화

Table 15는 H 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타내었는데 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 113개로써 전체 개체 244개의 46%에 해당하며 2로 표현된 군집의 소속개체는 131개로 전체의 54%에 해당한다.

2.8.3. H 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] H-1 권역 (■)

행정구역상 강서구의 대지동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 낙동강 분류와 지류 사이인 삼각주에 위치하여 동쪽으로는 금정산 자락이 놓여있고 서쪽으로는 평야지대가 형성되어 있다. 이렇듯 삼각주라는 지형적 특성으로 상대적으로 작은 지표마찰로 인해 다소 강한 풍속과 함께 균일한 바람권역이 형성되어 있다.

[2] H-2 권역 (●)

행정구역상 강서구 녹산동과 명지동이 이 권역에 속한다. 이 지역은 낙동강 하류에 위치하여 남쪽으로 바다와 인접해 있는 곳이다. 앞서의 삼각주 지역인 H-1 권역과는 달리 본 상세권역은 낙동강 하류와 인접한 해안가로 인해 해안지역에서의 바람장 환경이 탁월한 지역으로 사료된다.

Table 15. Same as table 1 except for H wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
244	OB9	OB11	1.000	3814	4.2	0.0016
.
4	CL12	CL7	.811	342	77.9	0.6003
3	CL5	CL10	.799	403	71.8	0.6082
2	CL3	CL6	.770	431	10.1	0.808
1	CL2	CL4	.000	.	431	1.2987

Table 16. Same as table 2 except for H wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.1112	128.852	1	0.413977
35.1202	128.852	1	0.438501
.	.	.	.
.	.	.	.
35.2104	128.995	2	0.113437
35.2194	128.995	2	0.187268

2.9. I 권역 군집분석 결과

2.9.1. I 권역 상세 군집개수

기장군으로 대표되는 I 권역은 Table 17에 나타난 바와 같이 군집의 개수가 2개인 경우에 R-Square가 0.775, PST2 결과에서도 군집이 2개인 경우 13.1로 탁월이 감소한 경향을 나타내어 2개의 군집으로 분류하였다.

2.9.2. 거리 측도에 의한 I 권역 상세 군집화

Table 17은 행정구역상 기장군이 위치한 I 권역의 격자점에 대한 각 소속군집 및 중심으로부터의 유클리드 거리를 나타내었다. 즉, 1로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 모두 80개, 그리고 2로 표현된 소속군집에 속하는 개체는 76개로 거의 비슷한 비율로 분류되었다.

2.9.3. I 권역에 대한 바람권역 상세분류

[1] I-1 권역 (□)

행정구역상 기장군 용수리가 대표적이다. 이 상세 권역의 경우 태백산맥 준령의 끝자락에 위치한 곳으로 백운산과 망월산, 그리고 철마산 등에 의해 산지지형의 영향을 받고 있다. 즉, 산지지형의 영향으로 인해 저풍속대의 바람장 권역이 형성되어 분류된 것으로 분석된다.

[2] I-2 권역 (☆)

행정구역상 기장군 기장읍이 이 권역에 속한다.

Table 17. Same as table 1 except for I wind sector

NCL	Clusters Joined		R-Square	PSF	PST2	Distance
156	OB50	OB104	1.000	7887	3.3	0.0038
.
4	CL10	CL7	.800	151	108	0.7556
3	CL8	CL25	.795	151	67.1	0.8397
2	CL3	CL4	.775	107	13.1	1.0603
1	CL2	CL5	.000	.	107	1.1958

Table 18. Same as table 2 except for I wind sector

Latitude	Longitude	Cluster	Distance
35.3005	129.128	1	0.206894
35.3095	129.128	1	0.532895
.	.	.	.
.	.	.	.
35.1924	129.26	2	0.484006
35.3454	129.26	1	0.56596

이 지역은 앞서의 I-1 권역과는 달리 서쪽의 태백산맥 끝자락과 함께 동쪽으로는 기장 및 일광해수욕장이 놓여있는 해안지역으로 산지에 의한 국지풍과 바다와 인접한 해안지역의 특징이 뚜렷한 바람장 환경이 두드러진 권역이다.

3. 바람권역 구분에 따른 대기오염측정소 위치 평가

선행연구인 Part I¹⁾과 Part II²⁾를 통해 부산지역에서의 바람권역 환경을 살펴보고 이들의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 부산지역의 상세 바람권역을 분석하였다. 분석 결과, 부산지역은 세부적으로 17개의 바람권역으로 분류될 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 부산지역은 9개의 대분류 바람권역과 총 17개의 상세 바람권역으로 구분되었다. 본 연구에서 최종적으로 도출한 총 17개의 바람권역은 각각의 상세 바람권역 내의 영역에서는 거의 유사한 바람 특성을 가진다는 것을 의미한다.

본 연구결과에 의한 17개의 상세 바람권역을 기준으로 현재 설치, 운영 중인 대기오염측정소의 위치를 살펴보았다. 다시 말해서 현재 운영 중인 측정소의 위치가 본 연구결과에 의한 17개의 상세 바람권역 내에 포함되어 있는지, 아님 중복되어 설치되어 있는지, 그로 인해 다른 권역에 설치되어있지 아니한지의 관점에서 대기오염측정소 위치의 적정성을 평가하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 분류한 부산지역 대분류 바람권역과 각 대분류 바람권역별 상세 바람권역의 모식도를 나타낸 것이다. 그림에서 원형의 점으로 표시된 지점이 2006년 현재 부산지역에 설치되어 있는 대기오염자동측정망의 위치를 나타낸 것이다. 그림을 보면 전반적으로 현재 운영 중인 대기오염측정소가 17개의 부산지역 바람환경 상세권역에 상응하여 위치, 운영 중인 것으로 사료된다. 그러나 일부 상세 바람권역에서는 대기오염측정소가 중복되어 있고, 일부 권역에서는 대기오염측정소가 위치하지 않고 있는 것을 알 수 있다.

이상에서와 같이 현재 부산지역에서 설치하여 운영하고 있는 대기오염측정소 각각에 대하여 그 위치 적정성을 본 연구 결과인 대기 유동장에 의한 풍환경적 상세권역에 의거하여 평가하였다.

현재 운영 중인 17개 지점의 대기오염측정소 가운데 금정구 부곡동 측정소를 비롯한 총 11개 지점의 대기오염측정소들은 본 연구의 결과와 같이 대기 유동장에 의한 풍환경을 기준으로 평가할 때 적절한 공간적 이격성과 국지적 바람특성이 중복되지 않는 지점들에 위치하고 있는 것으로 평가된다. 그

러나 북구 덕천동 관측소를 비롯한 나머지 6개 지점의 대기오염측정소는 유사한 바람특성을 보이는 동일한 상세 바람권역 내에 각 2개 지점씩 중복되어 위치하고 있는 것으로 분석되었다. 이들 지점은 바람특성이 동일한 지역 내에 중복되어 있는 것으로 특별한 관측목적이 없는 이상 중복성을 피하여 분산 배치되는 것이 타당할 것이다.

이와 더불어 최종 분류된 상세 바람권역 중에서 대기오염측정소가 위치해 있지 않은 북구 구포동 및 사상구 학장동을 중심으로 하는 A-1 권역과 금정구 금사동 및 회동동을 중심으로 하는 B-1 권역, 그리고 동구 범일동을 중심으로 하는 E-1 권역에의 대기오염측정소가 위치하고 있지 않다. 이들 지역은 각각의 의미 있는 부산지역 상세 바람권역이므로 이들 지역에 측정소가 위치할 필요성이 있다.

이상의 내용은 대기오염물질의 수송과 확산에 크게 영향을 미치는 바람의 특성만을 고려한 측정소의 위치 평가를 기술한 것이다. 하지만 대기오염자동측정망의 위치를 결정 하는 데는 이외에도 여러 가지 고려사항들이 있다. 따라서 본 연구 결과에서 제시한 이들 상세권역에 대한 풍환경을 정확히 고려한 후, 토지이용도, 인구비례, 구별안배 등의 다른 대기오염측정망 위치선정 요소들을 세밀히 고려한다면 부산지역 대기오염측정소의 위치에 대한 좀 더 타당하고 객관적인 평가가 이루어 질 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 선행연구에서 타당성을 검증한 상세 기상장 수치모의 결과를 이용하여 부산지역 각각의 대분류 군집을 대상으로 K-평균 군집분석을 수행하였고 이를 통해 각 대분류 권역별 풍환경에 따른 부산지역의 상세 바람권역을 분류하였다.

각각의 대분류 군집별 K-평균 군집분석을 수행한 결과, 각 군집별로 2~3개의 상세 군집 군으로 분류되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 상세 군집분석 결과 9개 대분류 권역은 모두 20개로 분류되었다. 그러나 3개의 상세바람권역은 영역 전체나 거의 전부가 고지대 산악지역이거나 바다지역이어서 실제 적용상의 타당성으로 볼 때 분류의 필요성이 없으므로 이들 지역을 제외한 나머지 17개 지역이 부산지역 전체의 상세 바람권역으로 설정되었다.

이들 결과를 바탕으로 현재 운영 중인 부산지역 대기오염관측소의 위치 적정성을 평가하였다. 그 결과 현재 부산지역의 대기오염관측소는 기상학적 관점에서 대체적으로 적절한 공간적 조건으로 위치하고 있었지만 6개 지점의 경우 동일 상세 바람권역에

2 지점씩 위치하고 있었으며 이와 더불어 3개의 상세 바람권역에는 대기오염측정소가 위치하고 있지 않아 차후 이들 지역에서의 측정소 위치 재조정이 필요할 것으로 판단되었다. 즉, 현재 부산지역에 설치되어 있는 대기오염측정소의 위치를 재설정하거나 신규 측정소를 증설하는 경우에, 본 연구에서 제시한 바와 같이 3곳의 중복권역과 3곳의 미설치 권역을 우선적으로 조정할 필요가 있다.

구체적으로 측정소 위치를 선정할 때, 본 연구에서 제시한 바와 같이 기상학적인 판단에서는 권역 내에서 거의 동일한 바람 조건을 가지고 있으므로 어느 지점에라도 설치가 가능하다. 하지만 측정소 위치를 결정할 때에는 기상학적인 조건과 더불어 토지이용도, 인구비례, 관리 용이성 등의 다른 사항도 참고할 수 있으므로 이들 조건을 참고하여 최적의 위치를 결정하는 경우 더욱 좋은 위치를 선정할 수 있다. 즉, 본 연구에서 분석한 상세 바람권역 내 입지의 후보 지점들을 현장 답사하여 주변 건물이나 지형 등으로 인한 기류의 차폐 정도를 우선 판단하고 이후, 토지이용도, 인구비례, 관리 용이성을 면밀히 조사하여 최종의 측정소 위치를 설정하면 된다.

이상의 연구 결과는 차후 부산지역의 대기오염측정소에 대한 재평가 및 추가 배치 등의 계획 설정시 기준에 고려되지 않았던 기상학적 관점에서의 배치 평가 항목을 설정하는 등의 종합적 판단에 대한 근거자료가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 정우식, 이화운, 2002, 해풍시작에 영향을 미치는 지형성 강풍현상에 대한 고찰 -관측자료분석-, 한국환경과학회지, 11(4), 289-295.
- 2) 정우식, 이화운, 2003, 지형적 특징이 해풍시작에 미치는 영향에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 19(6), 757-772.
- 3) Bossert, J. E., 1997, An investigation of flow regimes affecting the Mexico City region, J. Appl. Meteor., 36, 119-140.
- 4) Stephan, F. J., De Wekker, Z. Shiyuan, D. F. Jerome, David, W., 1998, A numerical study of the thermally plain-to-basin wind over idealized basin topographies, J. Appl. Meteor., 37, 606-622.
- 5) 이승우, 이동규, 1998, 수도권 지역에서 지표 및 지형효과에 따른 국지규모 대기순환의 수치실험, 한국기상학회지, 34(1), 1-19.
- 6) Banta, R., Cotton, W. R., 1981, An analysis of the structure of local wind systems in a broad mountain basin, J. Appl. Meteor., 20, 1255-1266.
- 7) Millan M. M., 1993, Meso-meteorological cycles of air pollution in the Iberian Peninsula, EEC Air Pollut. Res. Report 44.
- 8) 이화운, 정우식, 임현호, 이귀옥, 최현정, 지효은, 이현주, 성경희, 도우곤, 2006, 바람권역 구분을 통한 부산지역 국지바람 분석 - Part I : 기상관측 자료를 이용한 바람권역 대분류 -, 한국환경과학회지, 15(9), 835-846.
- 9) 정우식, 이화운, 임현호, 2007, 바람권역 구분을 통한 부산지역 국지바람 분석 - Part II : 국지 대기유동장 수치모델을 이용한 상세 바람정보 -, 한국환경과학회지, 16(1), 103-119.