

부산시 대기오염경보제 권역 구분 타당성 및 특성평가

박승우*, 장은화, 강남희, 조영대, 김현실

대기진단평가팀

Air pollution Alert System Area Classification Feasibility and Characteristic Evaluation in Busan

Park Seung-woo*, Jang Eun-hwa, Kang Nam-hee, Cho Yeong-dae and Kim Hyun-sil

Air Quality Monitoring and Assessment Team

Abstract

In this study, the feasibility and characteristics of the four regions (Eastern, Western, Southern, and Central) established during the implementation of the air pollution alert system was evaluated (Ozone in 2006, PM-10 in 2011, and PM-2.5 in 2015). The number of urban air monitoring stations, which were 17 at the time of enforcement in 2006, increased by 9 to 28 as of 2022, and accordingly, it was judged necessary to review the alert area for efficient operation of the alert system. Considering various factors necessary for regional division, the currently operating alert area was reviewed, and the conclusions are as follows. Fine particles (PM-2.5, PM-10) could be divided into 5 regions (Eastern, Central-eastern, Central-western, Western, and Southern) by considering alert cases, average concentration difference by station, cluster analysis, topography and administrative districts. However, it is judged that it will not be unreasonable to set the Central-eastern and Central-western regions as one region in consideration of the case of actual alert issuance concentration, and it will be possible to set them as four regions (Eastern, Western, Southern, and Central) by adjusting the regional districts of the region. Ozone could be divided into six regions (Eastern, Western, Central-western, western, southern-eastern, and southern-western). The existing eastern and central regions remain unchanged, and the two regions, such as the western region and the southern region, are subdivided into four regions. The current regional division of fine particle and ozone are judged to be relatively reasonable. Since the concentration distribution of ozone appears in a local or wide-area form depending on the case, the area of influence of neighboring districts and counties appears in a relatively narrower range than fine particle.

Key words : *Fine particle, Ozone, Alert, regional division, cluster analysis*

Corresponding author. Email : green911@korea.kr

Tel : +82-51-309-2932, Fax : +82-51-309-2939

1. 서론

부산광역시에서는 2006년부터 대기오염경보제를 실시해 오고 있으며, 시행 당시 설정된 4개 권역(동부, 서부, 남부, 중부)으로 2022년 현재까지 적용하고 있다. 경보제 시행 당시 17개소였던 도시대기측정소는 2022년까지 9개소 증가하여 현재 28개소로 되었다. 대기오염경보제 시행 후 15년 동안 도시대기측정소의 증가, 도시환경이 변화 등 대기오염경보제 권역 설정에 대한 검토가 필요한 실정이다. 또한, 경보권역이 동일하게 설정되어 있는 오존과 미세먼지는 발생, 확산 및 이동 특성이 다르므로 이러한 특성도 고려하여 효율적인 경보제 운영을 위한 경보권역의 재설정에 대한 검토가 필요하다.

대기오염경보제는 각 시도 보건환경연구원의 내부 규정에 따라 권역을 구분하여 발령정보를 제공하고 있으며 경보발령 권역은 시도별로 상이한 기준으로 설정되어 있다. 지역별 권역구분은 주로 행정구역에 따라 나뉘어 있으며 측정소별 농도 상관성을 그 근거로 제시하고 있다. 이렇게 권역의 공간적 단위가 지자체별로 다르므로 경보발령 일수나 횟수에 차이가 발생하게 된다.

다음 표1에는 전국의 미세먼지(PM-2.5, PM-10) 및 오존(O₃)의 경보권역 개수를 나타낸 것이며 시도별로 1~6개의 권역으로 구분되어 있다. 미세먼지 및 오존의 경보권역 수가 같은 시도는 부산, 대구, 인천, 대전, 세종, 경기, 충북, 경남과 같이 8개이며, 다른 시도는 서울, 광주, 울산, 강원, 충남, 전북, 전남, 경북, 제주 등 9개이다. 미세먼지의 경우 광범위한 지역에 걸쳐 농도가 유사하게 나타나는 특성이 있어 권역 평균농도로 경보를 발령하며, 권역 설정시 농도 변화에 대한 민감도가 낮아 경보발령 권역의 수가 오존보다 상대적으로 적은 편이다.

그림1 및 표2는 부산광역시의 2022년말 기준 4개 권역에 대한 도시대기측정소 현황을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 도시대기측정소 실시간 자료, 기상자료 및 지리정보 등을 활용하여 대기오염경보 물질인 오존과 미세먼지의 농도 특성을 알아보고, 군집분석 등 통계분석을 활용하여 효율적인 경보제 권역 설정을 위한 타당성을 검토해 보고자 하였다. 대기오염의 권역 설정에 관한 연구가 이루어져 왔으나 미세먼지 권역 설정 연구는 부족한 실정이며, 선행연구에서는 다양한 방법론을 활용하여 권역을 설정하였으며, 대표적으로 군집분석 방법, GIS를 이용하여 공간 특성을 고

Table 1. Alert division number of PM-10, PM-2.5 and O₃

Region	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwangju	Daejeon	Ulsan	Sejong	Gyeonggi	Gwangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
Station No.	25	28	19	24	11	11	18	4	103	22	28	37	34	39	43	37	8
PM-2.5	1	4	2	4	1	2	1	1	4	4	3	3	3	2	3	6	1
PM-10	1	4	2	4	1	2	1	1	4	4	3	3	3	2	3	6	1
O ₃	5	4	2	4	3	2	5	1	4	5	3	5	4	6	6	6	2

Table 2. Urban air quality monitoring station

Area	District	Site	Year(order)	Area	District	Site	Year(order)
Eastern (E) (2)	Gijang-gun	Gijang (GJ)	1999 (8)	Western (W) (9)	Gangseo-gu	Daejeo (DJ)	1999 (9)
	Gijang-gun	Yongsu (YS2)	2004 (15)		Gangseo-gu	Myeongji (MJ2)	2020 (26)
Southern (S) (10)	Dong-gu	Sujeong (SJ)	2011 (18)		Gangseo-gu	Nocksan (NS)	2003 (14)
	Jung-gu	Gwangbok (GB)	1985 (3)		Saha-gu	Dangni (DN)	2019 (24)
	Haundae-gu	Jaesong (JS)	2019 (21)		Saha-gu	Jangrim (JR)	2004 (16)
	Haundae-gu	Jwa (J)	2005 (17)		Sasang-gu	Hakjang (HJ)	1979 (1)
	Nam-gu	Daeyeon (DY)	2003 (13)		Sasang-gu	Deokpo (DP)	2018 (20)
	Nam-gu	Yongho (YH)	2021 (28)		Busanjin-gu	Gaegum (GG)	2019 (25)
	Seo-gu	Daeshin (DS)	2012 (19)		Busanjin-gu	Jeonpo (JP)	1980 (2)
	Suyeong-gu	Gwangan (GA)	2001 (11)	Dongnae-gu	Myeonggiang (MJ1)	2002 (12)	
	Yeongdo-gu	Cheonghak (CH)	2019 (22)	Geumjeong-gu	Bugok (BG)	2000 (10)	
	Yeongdo-gu	Taejong (TJ)	1996 (5)	Geumjeong-gu	Hwaedong (HD)	2020 (27)	
Buk-gu	Deokcheon (DC)	1988 (4)	Central (C) (7)	Geumjeong-gu	Cheongryong (CR)	1997 (7)	
	Buk-gu	Hwamyong (HM)		2019 (23)	Yeonjae-gu	Yeonsan (YS1)	1996 (6)

려한 방법, 객관적이고 확률적인 방법을 활용한 마코 프체인 모형 등을 활용하였다^{1),2),3),4),5)}.

표 3에는 본 연구에 참고하기 위하여 부산광역시의 기초 통계 자료(인구수, 대기환경측정소 수, 면적, 도로면적, 임야면적, 행정동, 용도지역별 면적)를 나타내었다. 2022년 9월 현재 부산시 등록인구는 3,371,679명으로 중구가 42,267명으로 최소이며, 해운대구가 393,151명으로 최대이다.

II. 연구 방법

2.1 연구대상

본 연구를 위해 사용한 자료는 2015년 1월부터 2022년 10월까지의 부산지역 28개 도시대기측정소에서 생성된 오존 및 PM-2.5의 시계열 자료이다. PM-2.5 경보제가 2015년부터 시행되어 연구대상 자료를 2015년부터 이용하였다. PM-2.5는 고농도로 인해 주의보 발령이 빈번한 시기에 해당하는 11월, 12월, 1월, 2월,



Fig. 1. Air pollution alert division

Table 3. Basic statistics by Gu-Gun in Busan⁶

	Population No.	Air Environment Station(road)	Area km ² (%)	road km ²	forest km ²	administrative dong	Residential 1000m ²	Commercial 1000m ²	Industrial 1000m ²	Greenery 1000m ²
	2022.9	2022.9	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Total	3,371,679	28(3)	770.07(100)	58.96	341.64	200	144,843	25,015	64,437	544,711
Jung-gu	42,267	1	2.83(0.4)	0.75	0.11	9	896	1,883	191	393
Seo-gu	107,514	1	13.96(1.8)	1.35	6.74	13	4,382	1,103	873	8,013
Dong-gu	89,213	1(1)	9.86(1.3)	1.49	2.73	12	2,522	2,495	1,722	3,091
Yeongdo-gu	110,813	2	14.20(1.8)	1.36	3.89	11	4,813	798	1,812	7,603
Busanjin-gu	353,819	2	29.67(3.9)	3.14	9.62	20	11,070	4,841	-	13,755
Dongnae-gu	275,354	1(1)	16.63(2.2)	2.37	4.34	13	9,460	1,159	154	5,924
Nam-gu	263,401	2	26.82(3.5)	2.73	8.32	17	9,862	1,040	4,701	12,861
Buk-gu	282,072	2	39.37(5.1)	2.43	21.90	13	9,607	607	-	29,220
Haeundae-gu	393,151	2	51.50(6.7)	4.02	27.57	18	12,186	3,188	615	38,161
Saha-gu	307,465	2	41.77(5.4)	3.90	13.32	16	10,454	649	9,630	21,325
Geumjeong-gu	227,471	3	65.26(8.5)	3.92	40.68	16	9,866	714	1,046	53,554
Gangseo-gu	148,292	3	181.50(23.6)	13.72	40.86	8	20,036	4,425	28,317	131,406
Yeonjae-gu	205,804	1	12.10(1.6)	1.77	2.93	12	7,677	769	64	3,585
Suyeong-gu	176,074	1	10.21(1.3)	1.62	2.32	10	6,600	749	117	3,590
Sasang-gu	208,630	2(1)	36.10(4.7)	3.25	12.14	12	8,164	480	6,589	20,873
Gijang-gu	180,339	2	218.30(28.3)	11.15	144.16	5	17,249	1,114	8,606	191,356

3월, 4월, 5월 등 7개월의 시간자료를 이용하였다. 오존은 고농도가 발생하는 4월, 5월, 6월, 7월, 8월, 9월 등 6개월간의 시간자료를 이용하였으며, 오존 농도가 낮은 시간대인 19시부터 다음날 09시까지의 자료는 제외하였다. 그리고 강우로 인해 오존농도가 낮아지는 강우일 또한 제외하였다.

표4에는 2015년부터 2022년까지 PM-2.5 주의보 발령현황을 나타내었으며, 표5에는 2015년부터 2022년까지 오존주의보 발령현황을 나타내었다. PM-2.5의 경우 서부권역 4.8회/년, 남부권역 3.1회/년, 중부권역 3.0회/년, 동부권역 1.5회/년으로 발령횟수는 서부권역에서 가장 많았고 동부권역에서 가장 적었다. 오존의 경우 남부권역 5.0회/년, 동부권역 4.6회/년, 중

부권역 4.0회/년, 서부권역 3.3회/년으로 남부권역에서 가장 많았고 서부권역에서 가장 적었다.

2.2 지점별 농도 비교 분석

지점별 농도 비교를 위해 분산분석을 이용하였으며, 분산분석 결과 평균 간에 유의한 차이가 인정되면, 그 다음으로 평균의 다중비교를 하였다. 다중비교의 원리는 여러 개 평균을 반복해서 비교하더라도 전체적인 제1종 오류의 크기(α)를 넘지 않도록 하는 것이다. 본 연구에서는 다중비교 방법 중 환경연구에 많이 사용하는 덩컨(Duncken's test)의 방법을 이용하였다. 덩컨의 다중범위검정은 평균을 크기순으로 나열하고, 비교하는 두 평균의 가깝고 먼 위치에 따라 다른 기준값을 적

Table 4. PM-2.5 Watch(Alert) frequency by region

	Eastern		Southern										Western										Central							
	GJ	YS2	J	GA	GB	DS	DY	SJ	TJ	JS	CH	YH	NS	DJ	DC	HJ	JR	DP	DN	HM	MJ2	CY	BG	MJ1	YS1	JP	GG	HD		
2015	3	(0)			4	(0)									5	(0)									6	(0)				
2016	3	(0)			4	(0)									6	(0)									3	(0)				
2017	2	(0)			3	(0)									3	(0)									3	(0)				
2018	1	(0)			4	(0)									3	(0)									2	(0)				
2019	3	(0)			5	(0)									8	(0)									5	(0)				
2020	0	(0)			0	(0)									1	(0)									0	(0)				
2021	4	(1)			4	(1)									4	(1)									3	(1)				
2022	1	(0)			1	(0)									3	(0)									1	(0)				
Total	17	(1)			24	(1)									33	(1)									23	(1)				
times/yr/ region	2.1				3.0										4.1										2.9					

Table 5. Ozone watch frequency by region

	Eastern		Southern										Western										Central							
	GJ	YS2	J	GA	GB	DS	DY	SJ	TJ	JS	CH	YH	NS	DJ	DC	HJ	JR	DP	DN	HM	MJ2	CY	BG	MJ1	YS1	JP	GG	HD		
2015	6	2		4													6								1					
2016	2	2	1	2		1							2		1	1							1		2	2				
2017	1	2	1				1		2						2	1	2						3	2	1					
2018	3	2	3	4	1								1				1						4	1		1	1			
2019	3	1		2		1	2	1					1	2	2								3			1				
2020	3		1							1	2				1								1	1	1					
2021	1	2	1	1		1					1				1											2				
2022	4	3		2					1			1			1								1	3	1					
Total	23	14	7	17	1	3	3	1	3	1	3	1	4	2	8	2	9	0	0	0	1	13	7	5	4	4	0	0	0	
sum	37							40								26									32					
times/yr/ region	4.6							5.0								3.3									4.0					

용하는 것이다.

2.3 군집분석을 활용한 권역 구분

측정소별 농도수준에 따라 군집이 형성되는 것을 최소화하기 위해 격자별로 정규화된(normalised) 시계열농도 값으로 R 통계프로그램(v.3.5.0)을 활용하여 군집분석을 실시하였다. 군집분석을 위한 지점별 비유사성의 거리 측정은 가장 보편적인 방법인 유클리디안(euclidean distance) 방법으로 계산하였으며, 사전에 군집수를 미리 정하는 k-means 비계층적 군집분석(partitioning clustering) 및 ward.D2 연결방법으로 단계적으로 군집을 형성하는 계층적 군집분석(hierarchical clustering) 결과를 바탕으로 군집을 나누었다. 비계층적 군집분석의 이상치 및 군집수에 대한 민감도가 큰 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 계층적 군집분석을 실시하였다. 비유사성 거리는 유클리디안법으로 계산하였으며, 가까운 거리의 대상들과 단계적으로 군집을 형성하는 방식은 두 군집에 속한 각 구성원이 평균으로부터 떨어진 정도를 기준으로 하는 Ward.D2법을 이용하였다. 군집분석 결과에 기반한 PM-2.5 농도변동성이 유사한 군집내 가장 가까운 측정소를 같은 권역으로 설정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

2.3 지형을 고려한 권역 구분

오존과 미세먼지 농도를 이용한 통계적 권역구분 방법뿐만 아니라 지형조건을 고려한 권역구분 특성을 알아보고자 하였다. 부산지역의 산세는 그림2와 같이 도시 중앙부를 관통하는 형세로 동서로 양분되어 서쪽으

로는 금정산(802 m), 백양산(642 m), 구덕산(565 m), 천마산(332 m) 등 금정산 선에서 남쪽의 송도해안까지 연결되어 있으며, 동쪽으로는 장산(634 m)을 중심으로 태백산맥의 지맥이 양산시와 경계를 이루고 있다. 수영강 연안에는 장산, 황령산, 금련산 등으로 지맥이 뻗어 해안평야의 발달이 미약하고 동래 일대에는 분지 상의 평지를 이루고 있다. 기장군 지역은 서쪽으로 삼각산, 달음산, 철마산 등으로 형성되어 있으며 해안과 함께 낮은 구릉지 및 평탄지로 구성되어 있다. 전반적인 도시 전체의 지형은 표고 100 m 미만의 지형이 340.14 km²로서 행정구역 면적의 약 44.4 %를 차지하고 있다. 강서지역은 표고 50 m 이하의 평야지대로 형성되어 있고 기장군 일원은 해안선을 따라 100 m 이하의 평탄한 지역이 분포하고 있다.

Ⅲ. 결과

3.1 PM-2.5 농도 분석

3.1.1 PM-2.5 주의보 발령일 사례 분석

2015년 경보제를 처음 실시할 당시의 기준(권역평균 24시간 이동평균농도 65 µg/m³ 초과 또는 시간평균가 120 µg/m³이상 2시간 지속)은 현재의 기준(권역평균 시간평균농도가 75 µg/m³이상 2시간 지속)과 달랐으나 본 연구에서 자료분석의 통일성을 기하기 위하여 현재의 기준을 적용하였다. 2015년 경보제 시행 당시 대기환경측정소가 19개소(동부:2개소, 남부:7개소, 중부:5개소, 서부:5개소)였으며, 그 뒤 점차 측정소가 신설되어 2022년 현재 28개소(동부:2개소, 남부:10개소, 중부:7개소, 서부:9개소)로 되었다. 경보발령횟수는 2015년부터 2019년까지 상대적으로 높게 나타났으나

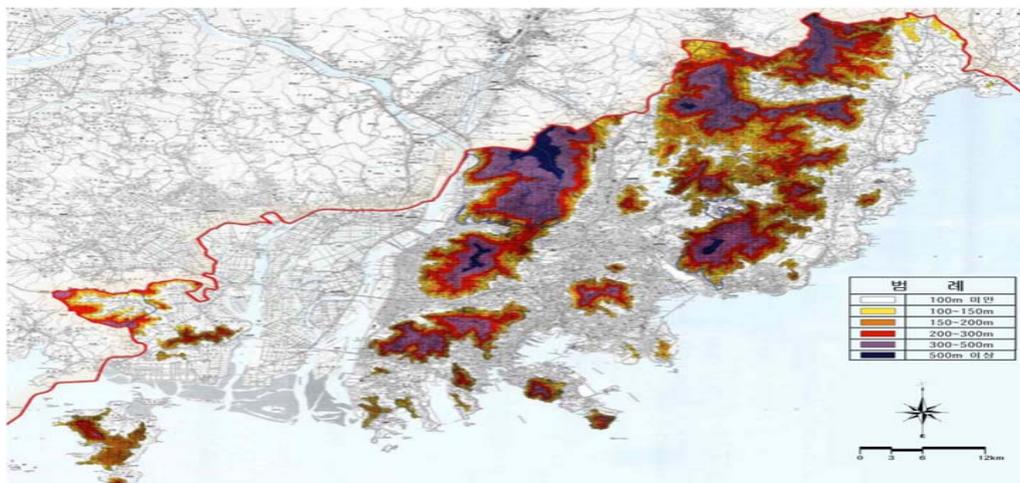


Fig. 2. Elevation of Busan.

코로나-19 발병 이후인 2020년 이후 발령횟수가 감소한 것으로 나타났다. 표6에는 2015년부터 2022년까지 실제 적용된 권역별 평균농도 대신 측정소별로 경보발령농도 기준을 초과하는 횟수를 재산정한 결과를 나타내었다. 평균 발령횟수는 동부 (2.0~2.3) 회/년, 남부 (0.3~3.6) 회/년, 중부 (1.5~3.5) 회/년, 서부 (1.0~4.5) 회/년으로 서부권역의 편차가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 서부권역은 공업지역이 위치한 학장, 장림, 녹산 지점의 주의보 발령 비율이 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 학장동 지점에서 가장 높은 것으로 나타났다.

다음은 실제 PM-2.5 주의보가 발령되었던 사례일을 측정소별로 세부적으로 나타낸 것이며, 표의 오른쪽은 권역별 평균농도이다.

표7은 남부, 중부, 서부권역에서 PM-2.5가 고농도로 나타나 미세먼지 주의보가 발령되었으나 동부권역은 상대적으로 낮은 농도로 나타나 미발령된 사례이다.

표8은 서부권역에서 PM-2.5가 고농도로 나타나 주의보가 발령되었으나 동부, 남부, 중부권역에서는 일부 측정소를 제외하고 상대적으로 낮은 농도로 나타난 사례이다.

표9 또한 서부권역에서 PM-2.5가 고농도로 나타나

Table 6. PM-2.5 Watch frequency by each site

	Eastern		Southern										Central						Western									
	YS2	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SJ	GG	JP	YS1	MJ1	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ2	NS
2015	1	6	0		5		3	4		8	8	5		6	6	5		4	6		7		4	6		4		6
2016	3	4	4		4		5	4		4	4	4		6	4	4		4	4		6		6	6		6		6
2017	2	2	3		1		3	1		3	3	3		3	3	3		3	3		3		3	3		3		3
2018	2	1	4		4		2	1		4	4	2		4	2	2		2	2		3	1	8	8		5		5
2019	5	2	4		5		4	4		5	6	2		5	5	5		5	5		6	7	5	8	1	8		6
2020	0	0	0	0	0		3	0	0	0	0	0	1	1	0	0		0	0	0	1	1	0	1	1	1		1
2021	2	2	3	1	2		1	2	3	4	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	3	2	3	3	3
2022	1	1	1	0	0	1	1	0	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	3	3	1	2	2	3	2
Total	16	18	19	1	21	1	22	16	5	29	29	19	6	28	23	23	3	20	23	3	29	14	26	36	6	32	6	32
Times/year	2.0	2.3	2.4	0.3	2.6	0.5	2.8	2.0	1.7	3.6	3.6	2.4	2.0	3.5	2.9	2.9	1.5	2.5	2.9	1.0	3.6	2.8	3.3	4.5	1.5	4.0	3.0	4.0

Table 7. PM-2.5 Watch day(2015/03/22) by each site

Date				Eastern		Southern										Central						Western						Eastern Avg.	Southern Avg.	Central Avg.	Western Avg.				
Year	M	D	H	YS	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SJ	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ	NS				
2015	3	22	1	26	26	59		35	34	48		51	37	34		36	59	52		45	47		39		41	61		35	51		26	43	48	45	
2015	3	22	2	27	23	38		36	33	51		61	36	34		42	52	46		49	41		37		44	69		37	54		25	41	46	48	
2015	3	22	3	23	25	35		40	32	55		54	52	36		52	60	49		41	42		40		41	43		36	60		24	43	49	44	
2015	3	22	4	22	24	47		52	35	67		51	72	47		52	56	53		51	52		37		41	79		36	67		23	53	53	52	
2015	3	22	5	24	26	66		81	40	65		61	78	59		63	56	58		56	44		46		50	58		34	117		25	64	56	61	
2015	3	22	6	35	26	69		91	41	53	66		63	74	70		78	68	52		54	49		49		42	58		39	129		31	69	60	63
2015	3	22	7	48	23	70		90	65	94		85	109	88		86	77	77		54	49		63		46	47		47	77		36	86	69	56	
2015	3	22	8	55	23	69		66	100	69		90	99	86		84	91	83		67	55		67		50	112		47	89		39	87	76	73	
2015	3	22	9	52	22	71		111	70	97		88	127	87		87	106	82		90	84		67		53	86		54	97		37	93	88	71	
2015	3	22	10	54	22	77		111	69	99		91	101	90		99	119	92		114	88		86		72	107		64	100		38	91	102	86	
2015	3	22	11	46	23	64		95	67	95		107	135	98		91	114	75		95	76		102		78	126		72	97		35	94	90	95	
2015	3	22	12	44	21	63		100	60	89		93	91		83	90	77		88	66		78		64	119		59	76		33	83	81	79		
2015	3	22	13	31	22	48		83	38	67		75		63		53	66	55		61	50		59		42	68		45	63		27	62	57	55	
2015	3	22	14	24	21	60		46	24	39		47		35		40	47	71		44	42		37		29	39		28	44		23	42	49	35	
2015	3	22	15	25	21	63		24	18	29		36	23	26		24	40			32	37		28		27	33		21	32		23	31	33	28	
2015	3	22	16	17	20	30		19	16	23		32	21	21		22	31			25	28		22		20	32		14	28		19	23	27	23	
2015	3	22	17	9	19	22		15	13	18		26	11	11		15	19			10	21		12		17	20		12	30		14	17	16	18	

Table 8. PM-2.5 Watch day(2018/01/16) by each site

Date				Eastern		Southern										Central						Western						Eastern Avg.	Southern Avg.	Central Avg.	Western Avg.				
Year	M	D	H	YS	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SJ	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ	NS				
2018	1	16	6	13	13	16		17	24	21		23	23	16		25	20		18	21		27		39	28		31	30		13	20	21	31		
2018	1	16	7	17	16	14		21	17	19		23	22	16		22	25		23	28		36		39	24		28	29		17	19	25	31		
2018	1	16	8	17	18	16		21	23	15		18	15	16		21	33		32	28		34		39	32		26	30		18	18	29	32		
2018	1	16	9	25	15	15		34	18	21		17	18	19		26	44		34	35		31		49	50		47	49		20	20	35	45		
2018	1	16	10	29	11	15		31	24	19		18	21	22		32	51		37	30		26		74	54		83	82		20	21	38	64		
2018	1	16	11	37	13	22		29	24	24		36	34	42		38	62		40	39		50		94	94		108	118		25	30	45	93		
2018	1	16	12	40	22	26		39	35	20		72	34	38		51	73		46	62		55		125	69		125	78		31	38	58	90		
2018	1	16	13	35	31	23		42	29	23		76	37	49		58	64		38	76		51		71		94	91		33	40	59	77			
2018	1	16	14	29	22	20		47	28	20		39	26	46		67	50		39	29		50		66	70		96	92		26	32	46	75		
2018	1	16	15	25	16	24		39	22	32		46	17	30		60	47		37	26		46		65	63		68	84		21	30	43	65		
2018	1	16	16	23	20	19		23	27	31		25	32	28		63	27		36	24		43		64	57		63	13		22	26	38	48		
2018	1	16	17	24	17	21		21	30	27		29	19	43		51	33		24	27		35		50	53		65	13		21	27	34	43		
2018	1	16	18	24	14	14		16	25	15		24	19	32		52	42		26	50		41		55	56		82	15		19	21	43	50		
2018	1	16	19	27	21	17		26	31	14		22	22	43		45	27		24	42		46		54	53		32	36		24	25	35	44		
2018	1	16	20	25	20	22		25	18	12		24	15	19		33	31		25	22		35		59	59		45	36		23	19	28	47		
2018	1	16	21	24	20	23		17	18	21		21	24	20		22	28		23	31		28		52	52		40	20		22	21	26	38		
2018	1	16	22	23	26	22		25	19	15		23	24	20		26	27		25	28		14		24	35		32	32		25	21	27	27		

미세먼지 주의보가 발령되었으나 동부, 남부, 중부권역에서는 일부 측정소를 제외하고 상대적으로 낮은 농도로 나타난 사례이다.

부산 전 권역이 고농도로 나타나 PM-2.5 주의보 및 경보가 발령된 사례이다.

표10과 표11은 전 권역에서 PM-2.5가 고농도로 나타나 주의보가 발령된 사례이다.

표12는 황사 발생과 국외에서 유입된 PM-2.5로 인해

Table 9. PM-2.5 Watch day(2018/12/21-22) by each site

Date				Eastern										Southern										Central										Western										Eastern	Southern	Central	Western
Year	M	D	H	YS	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SI	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ	NS	Avg.	Avg.	Avg.	Avg.												
2018	12	21	6	36	23	30		43	32	28		30	29	27		47	47	50		40	40		56	67	73	80		63	74		30	31	45	69													
2018	12	21	7	33	22	33		43	33	31		43	35	27		50	44	49		40	34		54	61	72	79		61	81		28	35	43	68													
2018	12	21	8	35	22	38		45	35	31		45	35	21		41	46	42		40	37		52	61	68	84		55	78		29	36	41	66													
2018	12	21	9	35	17	36		39	32	27		42	35	24		45	44	43		38	40		52	66	81	96		62	87		26	34	42	74													
2018	12	21	10	40	25	35		39	41	25		46	39	26		56	47	50		38	51		52	66	97	91		68	114		33	36	48	81													
2018	12	21	11	42	27	32		41	45	32		53	41	20		62	51	47		45	49		59	69	83	80		71	115		35	38	51	80													
2018	12	21	12		23	27		37	45	33		53	38	24		63	57	55		45	39		54	72	77	83		62	99		23	37	52	75													
2018	12	21	13	30	21	24		37	28	31		35	30	23		53	46	44		39	29		55	73	72	78		78	85		26	30	42	74													
2018	12	21	14	23	20	30		30	18	25		35	27	29		39	36	25		31	24		53	61	83	65		61	60		22	28	31	64													
2018	12	21	15	29	19	25		25	23	19		47	55	28		56	52	21		30	23		57	77	83	86		63	74		24	32	36	73													
2018	12	21	16	27	18	26		31	24	24		38	42	34		55	57	27		27	22			66	81	88	75		83	73		23	31	38	78												
2018	12	21	17	31	22	24		22	17	20		36	54	30		59	37	24		28	25		65	77	73	75		74	76		27	29	36	73													
2018	12	21	18	27	19	29		27	24	22		31	53	32		58	26	18		26	27		60	88	71	87		89	82		23	31	31	80													
2018	12	21	19	32	26	35		28	21	23		34	32	24		48	32	26		26	30		74	88	82	108		101	81		29	28	32	89													
2018	12	21	20	32	28	41		27	21	26		32	36	22		29	42	26		25	32		76	91	88	114		99	77		30	29	31	91													
2018	12	21	21	41	38	30		35	27	26		34	68	27		54	42	27		26	26		71	94	83	79		78	78		40	35	35	81													
2018	12	21	22	39	36	30		38	33	34		35	48	22		100	40	29		29	26		63	95	85	90		100	85		38	34	45	86													
2018	12	21	23	35	23	53		42	40	28		36	38	21		44	52	31		35	30		65	81	79	111		99	71		29	37	38	84													
2018	12	21	24	33	21	38		37	31	28		45	49	20		57	48	35		27	36		55	78	70	81		72	74		27	35	41	72													
2018	12	22	1	31	21	32		42	28	23		43	43	27		60	37	29		31	37		54	67	63	80		70	76		26	34	39	68													
2018	12	22	2	30	17	29		39	33	22		38	54	34		58	39	33		34	40		57	68	60	80		74	76		24	36	41	69													
2018	12	22	3	35	25	29		40	35	31		55	52	36		42	32	33		34	38		58	68	58	82		75	71		30	40	36	69													
2018	12	22	4	36	32	29		44	37	38		54	57	45		37	36	30		34	35		56	63	56	73		67	74		34	43	34	65													
2018	12	22	5	29	25	26		39	41	38		52	64	47		49	35	32		35	35		58	62	63	73		87	64		27	44	37	68													
2018	12	22	6	35	28	23		41	36	45		39	71	33		45	35	34		37	37		52	65	59	65		101	77		32	41	38	70													
2018	12	22	7	35	21	32		44	36	42		36	67	25		53	33	40		33	32		48	57	59	65		73	71		28	40	38	62													

Table 10. PM-2.5 Watch day(2019/1/15) by each site

Date				Eastern										Southern										Central										Western										Eastern	Southern	Central	Western
Year	M	D	H	YS	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SI	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ	NS	Avg.	Avg.	Avg.	Avg.												
2019	1	15	1	30	21	34		41	29	41		29	32	25		38	39	24		31	39		40	51	53	50		56	42		26	33	34	49													
2019	1	15	2	28	23	34		39	31	33		35	34	25		38	34	31		29	36		44	50	43	57		52	62		26	33	34	51													
2019	1	15	3	34	25	30		26	28	24		29	34	19		44	45	37		30	36		44	43	42	71		49	53		30	27	38	50													
2019	1	15	4	31	31	33		41	38	36		31	33	25		43	41	37		28	39		48	47	44	103		55	63		31	34	38	60													
2019	1	15	5	35	27	33		34	35	32		34	40	32		40	44	35		34	32		45	51	46	59		56	45		31	34	37	50													
2019	1	15	6	37	33	43		46	35	37		48	60	46		53	48	39		35	39		42	46	48	63		64	49		35	45	43	52													
2019	1	15	7	48	38	52		57	61	59		63	82	63		67	51	47		47	51		60	66	61	80		79	51		43	62	53	66													
2019	1	15	8	71	59	63		60	68	63		78	84	61		69	58	68		63	65		67	73	62	100		91	69		65	68	65	77													
2019	1	15	9	74	74	76		77	72	79		76	86	66		85	69	82		72	70		65	78	95	111		109	90		74	76	76	91													
2019	1	15	10	82	78	89		92	82	78		89	98	72		93	82	95		88	86		68	107	79	118		94	102		80	85	89	95													
2019	1	15	11	79	73	93		90	92	86		93	104	81		95	85	99		93	93		91	110	97	133		100	97		76	91	93	105													
2019	1	15	12	77	79	91		85	89	87		97	110	89		96	89	92		87	89		106	109	99	132		105	90		78	93	91	107													
2019	1	15	13	72	67	96		89	88	88		94	103	86		98	84	84		77	83		101	103	95	110		97	80		70	92	85	98													
2019	1	15	14	72	61	90		88	80	80		87	88	76		88	81	97		77	72		88	90	79	96		90	67		67	84	83	85													
2019	1	15	15	66	59	84		66	59	84		56	87	71		71	73	73		74	73		67	66	59	76		74	64		63	70	73	68													
2019	1	15	16	67	56	80		60	54	59		66	69	56		55	59	58		59	61		60	69	63	81		62	59		62	61	58	66													
2019	1	15	17	51	46	64		64	61	55		68	68	57		67	63	61		58	52		64	74	58	85		62	63		49	62	60	68													
2019	1	15	18	51	42	66		68	54	55		69	75	54		64	67	65		54	53		50	61	46	82		67	63		47	63	61	62													
2019	1	15	19	48	37	52		41	30	51		51	49	38		39	37	42		44	45		45	48	47	57		50	45		43	45	41	49													
2019	1	15	20	49	37	45		40	35	38		41	48	35		39	43	42		40	42		40	49	41	51		60	50		43	40	41	49													

Table 11. PM-2.5 Watch day(2019/2/1-2) by each site

Date				Eastern										Southern										Central										Western										Eastern	Southern	Central	Western
Year	M	D	H	YS	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SI	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ	DN	JR	MJ	NS	Avg.	Avg.	Avg.	Avg.												
2021	2	1	18	26	28	27		27																																							

균 농도차는 19개로 구분되었다. 19개 중 평균 농도차와 지역을 고려하여 같은 권역으로 구분하면 (1)영도구 태종대(T)-남구 용호동(YH)-수영구 광안동(GA)-해운대구 좌동(J), (2)북구 화명동(HM)-금정구 부곡동(BG)-금정구 회동동(HD)-금정구 청룡동(CR), (3) 동구 수정동(SJ)-남구 대연동(DY)-중구 광복동(GB), (4)기장군 기장읍(G), (5)연제구 연산동(YS1)-해운대구 재

송동(JS)-기장군 용수리(YS2), (6)동래구 명장동(MJ1)-부산진구 전포동(JP)-부산진구 개금동(GG), (7)강서구 대저동(DJ)-북구 덕천동(DC)-사하구 당리동(DN)-강서구 명지동(MJ2)-강서구 녹산동(NS)-사상구 덕포동(DP)-사하구 장림동(JR)-사상구 학장동(HJ)으로 나눌 수 있다.

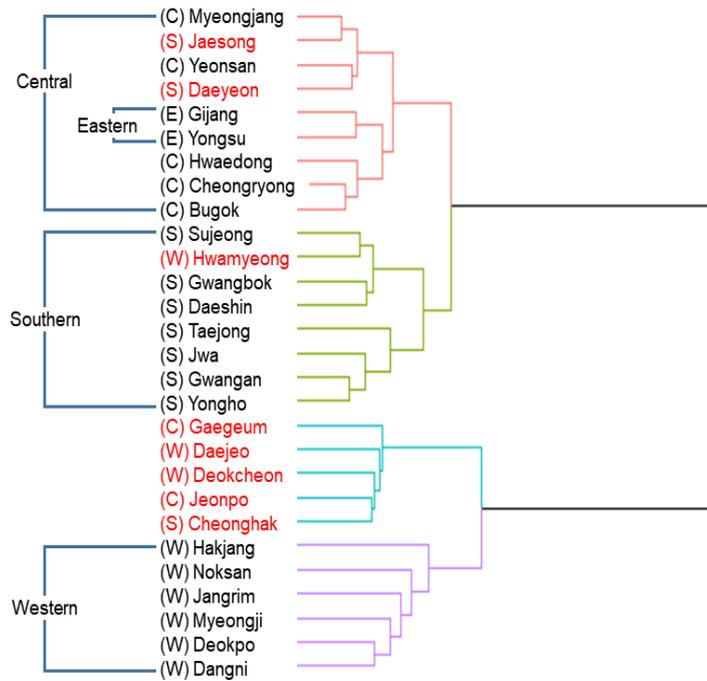


Fig. 3. Cluster analysis result of PM-2.5.



Fig. 4. Division by cluster analysis of PM-2.5

3.1.3 계층적 군집분석을 활용한 PM-2.5 권역구분

계층적 군집분석을 활용한 PM-2.5의 권역구분 분석 결과 크게 4개 정도로 구분되었으며, 그 결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 4개 군집은 (1)동래구 명장동(MJ1)-해운대구 재송동(JS)-연제구 연산동(YS1)-남구 대연동(DY)-기장군 기장읍(GJ)-기장군 용수리(YS2)-금정구 화동동(HD)-금정구 청룡동(CR)-금정구 부곡동(BG), (2)동구 수정동(SJ)-북구 화명동(HM)-중구 광복동(GB)-서구 대신동(DS)-영도구 태종대(TJ)-해운대구 좌동(J)-수영구 광안동(GA)-남구 대연동(DY), (3)부산진구 개금동(GG)-부산진구 전포동(JP)-강서구 대저동(DJ)-북구 덕천동(DC)-영도구 청학동(CH), (4)강서구 녹산동(NS)-강서구 명지동(MJ2)-사하구 당리동(DN)-사하구 장림동(JR)-사상구 학장동(HJ)-사상구 덕포동(DP)으로 나뉘었다.

3.2 오존 농도 분석

3.2.1 오존주의보 발령일 사례 분석

오존(O₃) 주의보 발령기준은 측정소별 1시간 평균농도가 0.120 ppm 이상으로 나타나는 때 해당권역에 주의보가 발령된다. 앞에서 언급한 발령기준은 경보제

시행이후 계속 적용되었다. 오존 경보제 권역은 미세먼지(PM-10, PM-2.5)와 동일하게 적용되고 있으며, 미세먼지와 같게 2015년 대기환경측정소가 19개소(동부:2개소, 남부:7개소, 중부:5개소, 서부:5개소)였으나 그 뒤 점차로 측정소가 신설되어 2022년 현재 28개소(동부:2개소, 남부:10개소, 중부:7개소, 서부:9개소)로 되었다. 측정소별 경보발령 분석을 위해 시간자료를 이용하여 1시간 평균농도가 0.120 ppm 이상으로 나타나는 모든 경우를 재산정한 주의보 발령횟수를 표14에 나타내었다. 2015년부터 2022년까지 연간 측정소별 발령횟수는 2021년 0.4회/년으로 가장 적었고, 2018년 2.2회/년으로 가장 높게 나타났다. 권역별 평균 발령횟수는 동부 (2.4~3.4) 회/년, 남부 (0.3~2.6) 회/년, 중부 (0.0~2.3) 회/년, 서부 (0.2~1.5) 회/년으로 동부권역에서의 발령횟수가 가장 높고 서부권역에서 가장 낮을 것으로 산정되었다. 이 결과는 위에서 언급한 PM-2.5 주의보 발령횟수와 상반되었으며, 공업지역이 많은 서부권역에서의 주의보 발령 비율이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

다음은 2015년부터 실제 O₃ 주의보가 발령되었던 날을 발령 권역별로 구분하여 15개 사례로 나타내었다.

Table 14. O₃ Watch frequency by each site

	Eastern		Southern										Central						Western						Times/ station				
	YS2	GJ	J	JS	GA	YH	DY	TJ	CH	GB	DS	SJ	GG	JP	YS	MJ	HD	BG	CR	HM	DC	DP	DJ	HJ		DN	JR	MJ	NS
2015	2	7	0		4		0	2		0	1	0		0	1	0		1	0		1		1	0		6		5	1.6
2016	2	3	1		3		3	0		0	2	0		0	3	2		1	2		2		2	3		1		3	1.7
2017	3	1	2		1		1	2		1	0	0		1	1	1		3	3		2		1	1		2		0	1.4
2018	2	4	4		6		2	4		3	0	1		1	2	2		3	5		1	0	1	0		1		2	2.2
2019	2	3	2		3		2	0		0	2	1		1	1	0		1	4		2	0	2	0	0	0	0	1	1.3
2020	1	3	2	2	0		1	2	3	0	0	0	1	1	1	2		1	1	1	1	1	1	0	1	0		0	1.0
2021	2	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0		0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.4
2022	5	5	2	0	3	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1.5
Total	19	27	14	2	21	2	10	11	4	4	6	2	2	6	9	8	0	14	18	2	11	1	8	4	1	10	1	12	11.2
Times/year	2.4	3.4	1.8	0.7	2.6	1.0	1.3	1.4	1.3	0.5	0.8	0.3	0.7	0.8	1.1	1.0	0.0	1.8	2.3	0.7	1.4	0.2	1.0	0.5	0.3	1.3	0.5	1.5	1.4

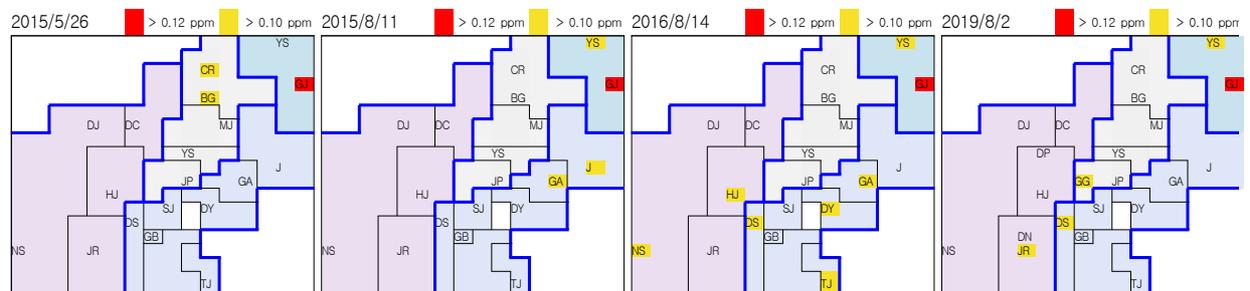


Fig. 5. Ozone watch event in eastern area (continued).

첫 번째, 2015년 이후 동부권역에서만 주의보 발령 사례는 총 12회였으며, 그림5에 발령일별 사례를 나타내었다. 동부권역은 기장군만 해당하지만 지역적으로 넓고 임야면적 또한 넓다. 측정소는 기장읍과 용수리에 있으며, 주의보 발령사례 분석결과 기장읍만 해당 4회, 용수리만 해당 5회, 기장읍과 용수리 모두 해당 3회였다. 동부권역에만 주의보가 발령되는 경우 인접한 중부권역의 금정구(청룡동, 부곡동)에서와 남부권역의 해운대구(좌동)에서 0.1 ppm 이상으로 높아지는 경우가 상대적으로 빈번하게 나타났다.

두 번째, 2015년 이후 남부권역에서만 주의보 발령

사례는 총 13회로 최다였으며, 그림6에 발령일별 사례를 나타내었다. 남부권역은 해당 지역구가 7개 구로 가장 많으며, 측정소는 '15년 7개소에서 '22년 10개소로 3개소가 늘어났다. 주의보 발령사례 분석결과 수영구 광안동 및 영도구 태종대만 해당이 각 3회, 영도구 청학동만 해당 2회, 동구 수정동만 해당 1회였다. 2개소에서 발령농도에 해당되는 경우는 수영구 광안동과 남구 대연동 및 수영구 광안동과 영도구 태종대 및 수영구 광안동과 중구 광복동 및 중구 광복동과 영도구 태종대가 각 1회로 나타났다.

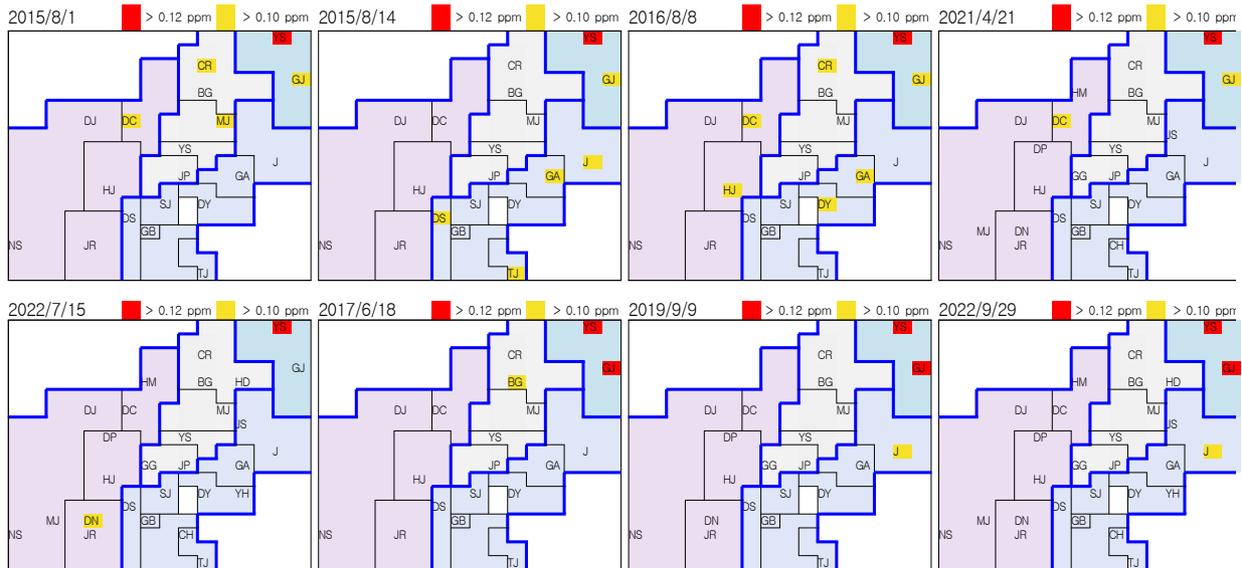


Fig. 5. Ozone watch event in eastern area.

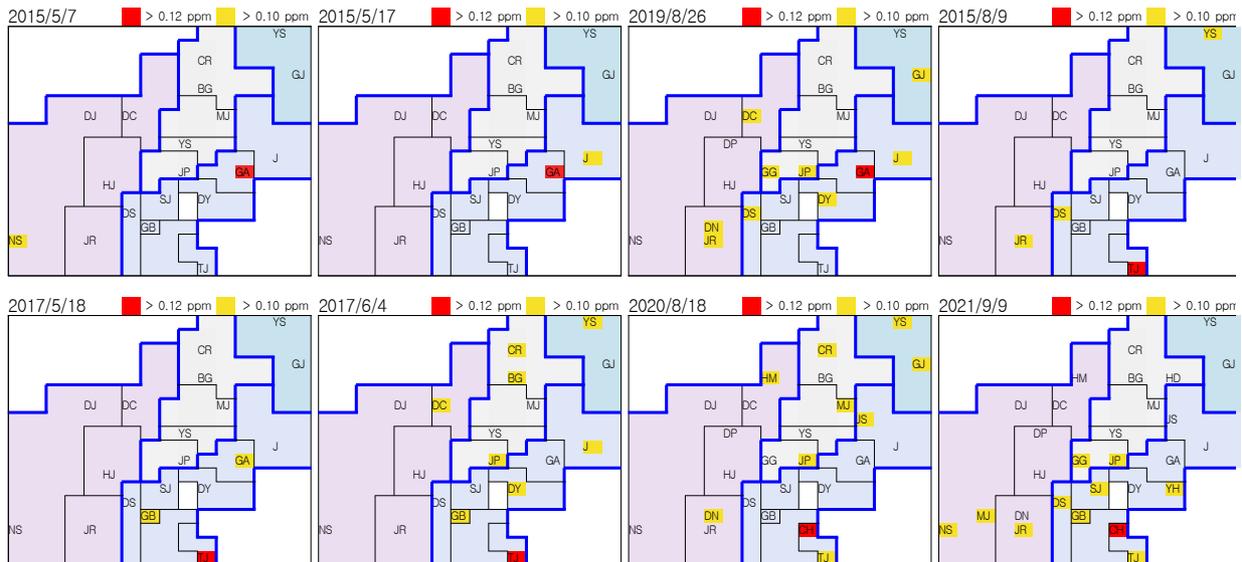


Fig. 6. Ozone watch event in southern area (continued).

세 번째, 2015년 이후 중부권역에서만 주의보 발령 사례는 총 10회였으며, 그림7에 발령일별 사례를 나타

내었다. 중부권역은 해당 지역구가 4개이며, 측정소는 '15년 5개소에서 '22년 7개소로 2개소가 늘어났다. 주

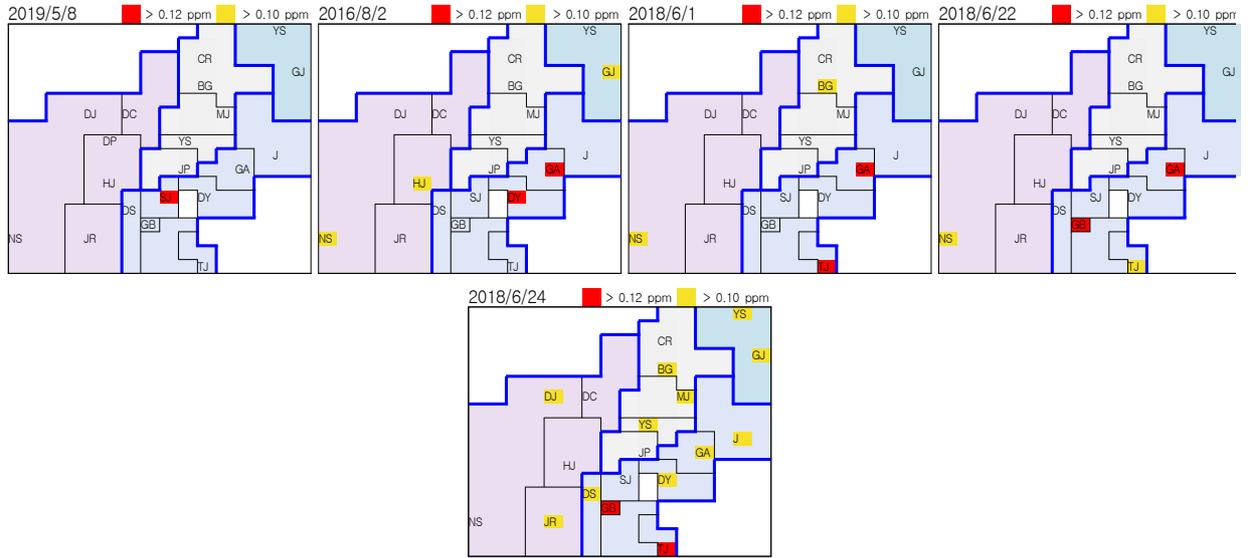


Fig. 6. Ozone watch event in southern area.

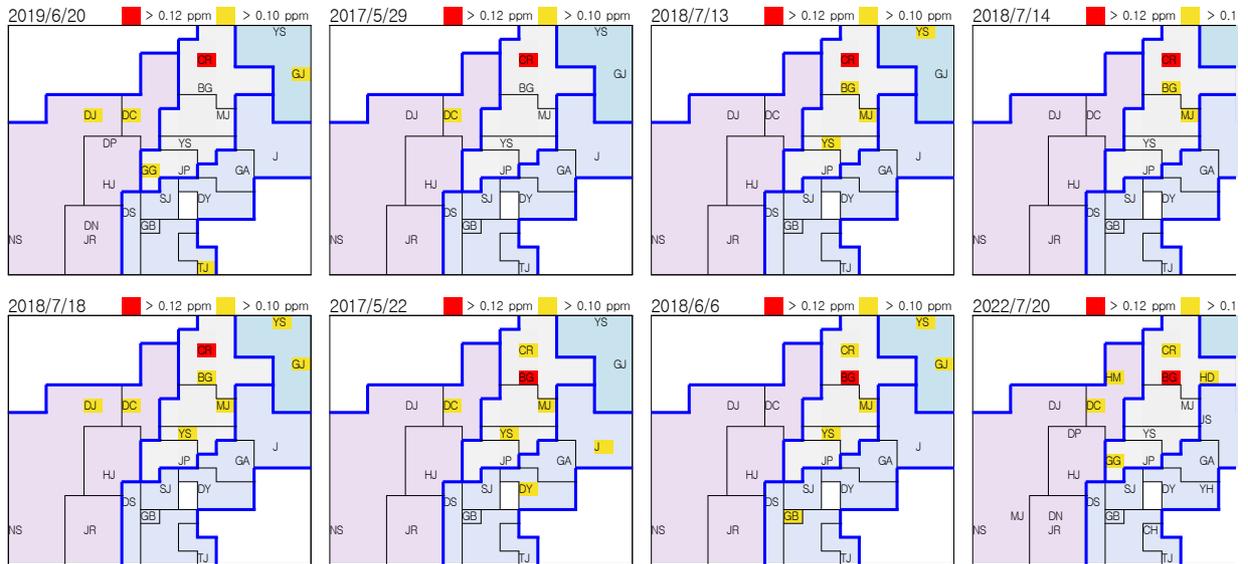


Fig. 7. Ozone watch event in central area (continued).

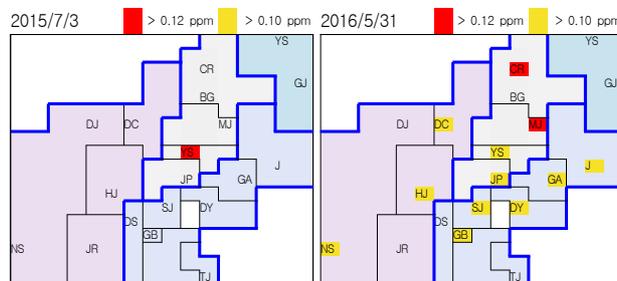


Fig. 7. Ozone watch event in central area.

의보 발령사례 분석결과 금정구 청룡동만 해당 5회, 금정구 부곡동만 해당 3회, 연제구 연산동만 해당 1회였다. 2개소에서 발령농도에 해당되는 경우는 금정구 청룡동과 동래구 명장동이 1회로 나타났다.

네 번째, 2015년 이후 서부권역에서만 주의보 발령 사례는 총 4회였으며, 그림8에 발령일별 사례를 나타내었다. 서부권역은 해당 지역구가 4개이며, 측정소는 '15년 5개소에서 '22년까지 9개소로 4개소가 늘어났다. 주의보 발령사례 분석결과 강서구 대저동 및 사하구 장림동만 해당 각 1회였다. 2개소에서 발령농도에 해당되는 경우는 강서구 녹산동과 사하구 장림동이 1회로 나타났다.

다섯 번째, 2015년 이후 동부 및 남부권역의 주의보 발령 사례는 총 2회였으며, 그림9에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 동부권역의 기장군 기장읍과 남부권역의 수영구 광안동 및 남구 용호동 1회이다.

여섯 번째, 2015년 이후 동부 및 중부권역의 주의보 발령 사례는 총 3회였으며, 그림10에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 동부권역의 기장군 기장읍과 중부권역의 금정구 청룡동 1회, 동부권역의 기장군 기장읍 및 용수리와 금정구의 청룡동 1회, 동부권역의 기장군 용수리와 중부권역의 동래구 명장동 1회이다.

일곱 번째, 2015년 이후 동부 및 서부권역의 주의보 발령 사례는 총 4회였으며, 그림11에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 동부권역의 기장군 기장읍과 서부권역의 사하구 장림동 2회, 동부권역의 기장군 기장읍과 서부권역의 강서구 녹산동 및 사하구 장림동 1회, 동부권역의 기장군 용수리와 서부권역의 북구 덕천동 1회이다.

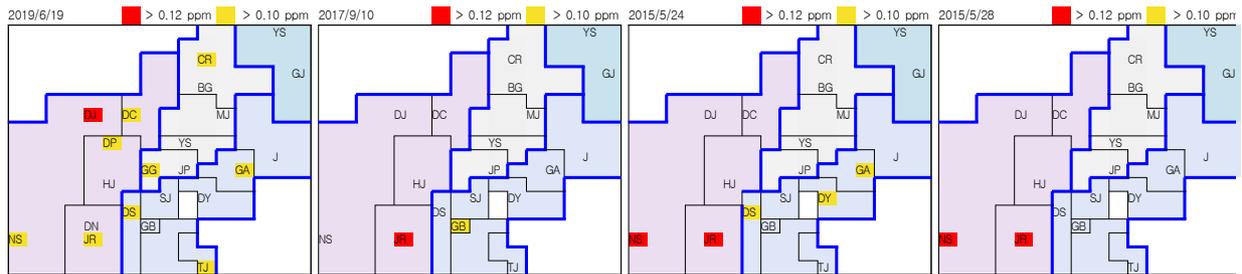


Fig. 8. Ozone watch event in western area.

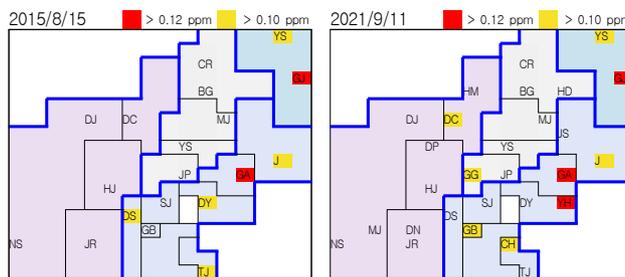


Fig. 9. Ozone watch event in eastern and western area.

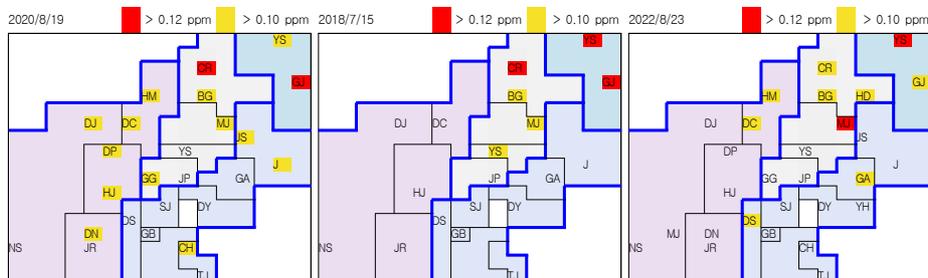


Fig. 10. Ozone watch event in eastern and central area.

여덟 번째, 2015년 이후 남부 및 중부권역의 주의보 발령 사례는 총 3회였으며, 그림12에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 중부권역의 금정구 부곡동과 남부권역의 해운대구 좌동, 수영구 광안동, 중구 광복동 1회, 중부권역의 동래구 명장동과 남부권역의 해운대구 재송동 1회, 중부권역의 부산진구 전포동과 남부권역의

해운대구 좌동, 서구 대신동 1회이다.

아홉 번째, 2015년 이후 남부 및 서부권역의 주의보 발령 사례는 총 1회였으며, 그림13에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 남부권역의 해운대구 좌동, 수영구 광안동, 서부권역의 강서구 녹산동 및 대저동 1회이다.

열 번째, 2015년 이후 중부 및 서부권역의 주의보

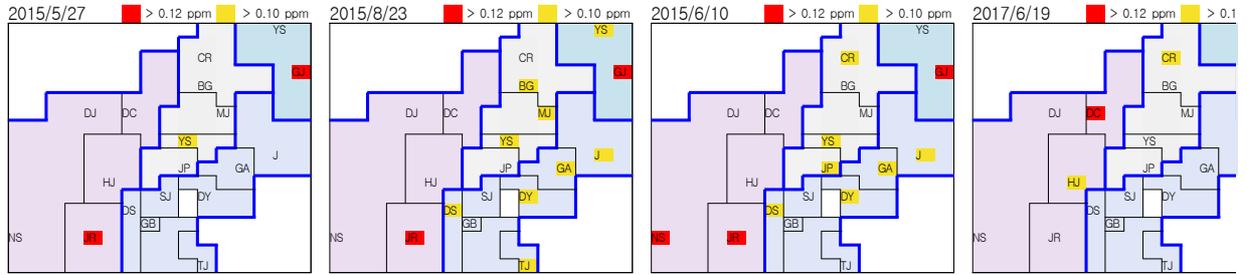


Fig. 11. Ozone watch event in eastern and western area.

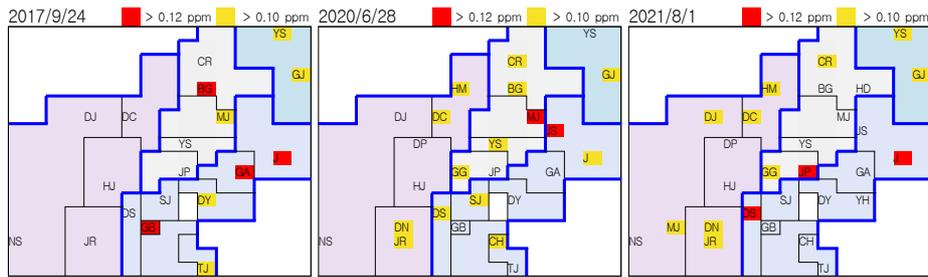


Fig. 12. Ozone watch event in southern and central area.

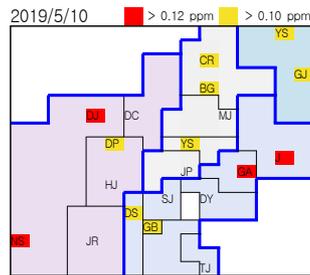


Fig. 13. Ozone watch event in southern and western area.

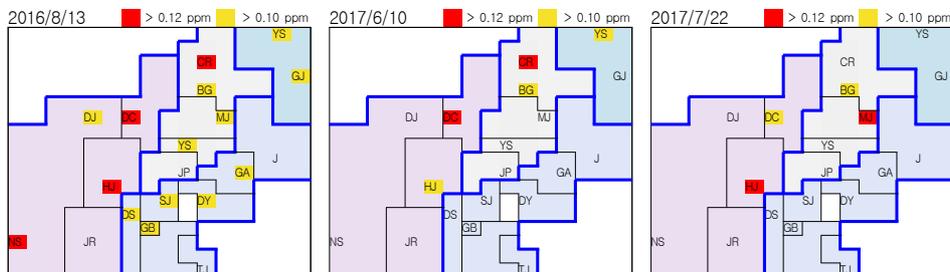


Fig. 14. Ozone watch event in central and western area.

발령 사례는 총 3회였으며, 그림14에 발령일별 사례를 나타내었다. 주의보 발령사례 분석결과 중부권역의 금정구 청룡동과 서부권역의 강서구 녹산동, 사상구 학장동, 북구 덕천동 1회, 중부권역의 금정구 청룡동과 서부권역의 북구 덕천동 1회, 중부권역의 동래구 명장동과 서부권역의 사상구 학장동 1회였다. 열한 번째, 2015년 이후 동부, 남부 및 중부권역

의 주의보 발령 사례는 총 4회였으며, 그림15에 발령일별 사례를 나타내었다.

열두 번째, 2015년 이후 동부, 남부 및 서부권역의 주의보 발령 사례는 총 1회였으며, 그림16에 발령일별 사례를 나타내었다.

열세 번째, 2015년 이후 남부, 중부 및 서부권역의 주의보 발령 사례는 총 3회였으며, 그림17에 발

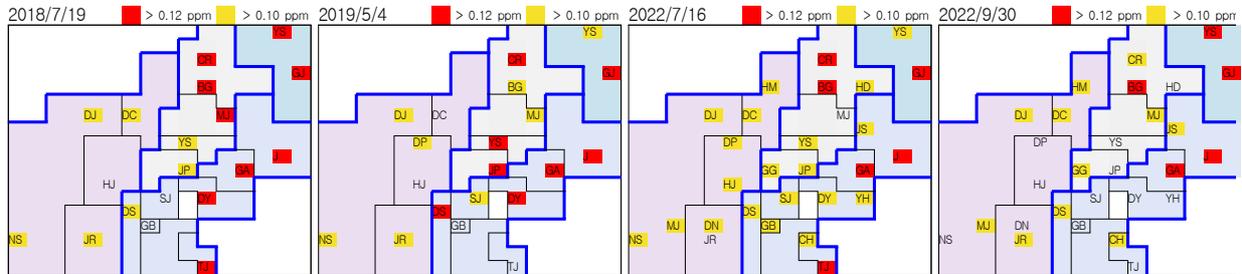


Fig. 15. Ozone watch event in eastern, southern and central area.

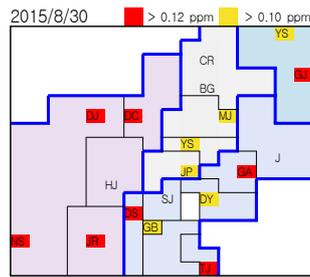


Fig. 16. Ozone watch event in eastern, southern and western area.

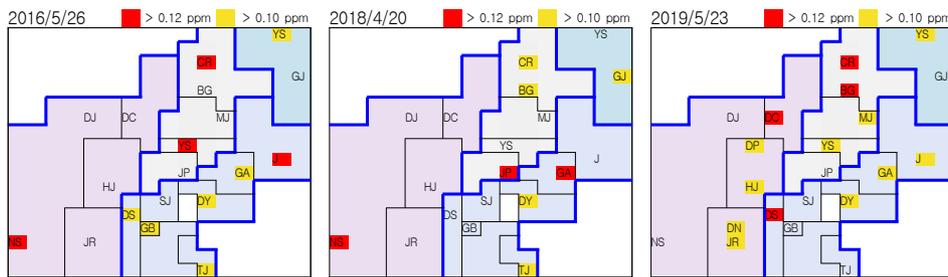


Fig. 17. Ozone watch event in southern, central and western area.

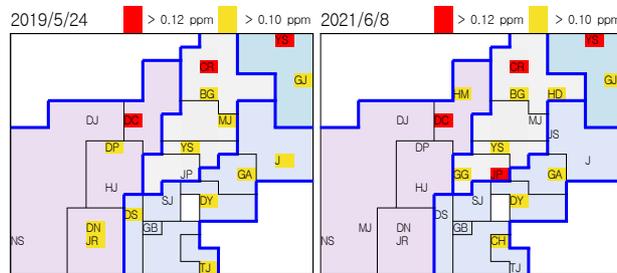


Fig. 18. Ozone watch event in eastern, central and western area.

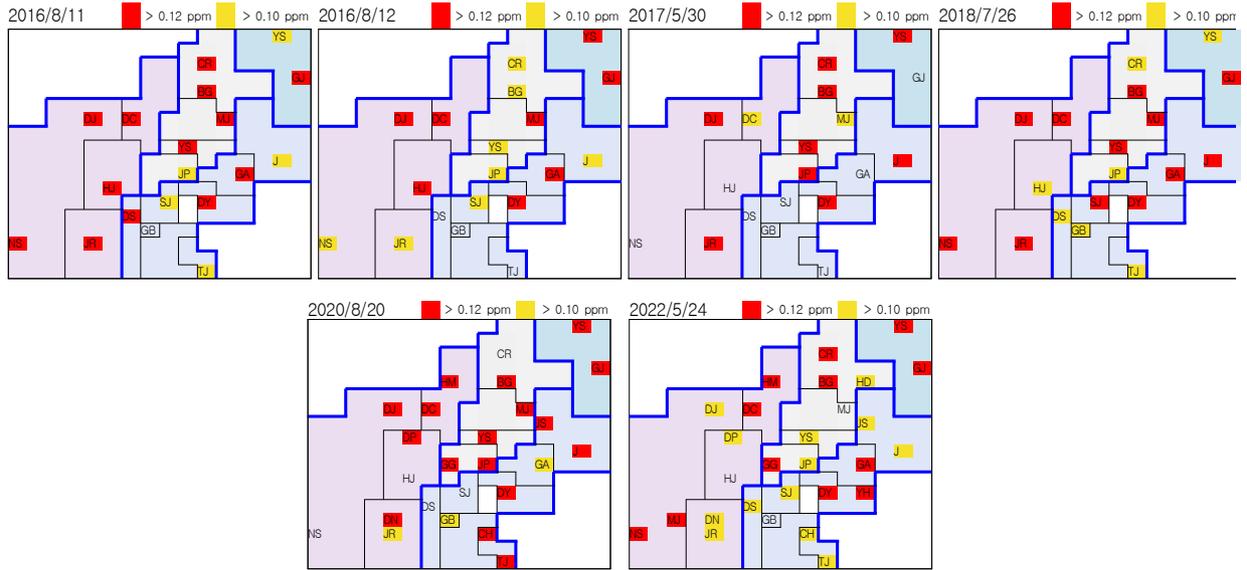


Fig. 19. Ozone watch event in eastern, southern, central and western area.

Table 15. Variance analysis (Duncan's LSR test) of O₃ (value = conc., unit : ppm)

Station	division	구분												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
GB	S	.046												
YS1	C		.047											
HJ	W		.047	.047										
SJ	S		.048	.048	.048									
DP	W			.049	.049	.049								
MJ1	C			.049	.049	.049								
JR	W			.049	.049	.049								
JP	C				.050	.050	.050							
HD	C				.050	.050	.050							
DY	S				.050	.050	.050							
DJ	W				.050	.050	.050							
GA	S					.051	.051	.051						
TJ	S					.051	.051	.051						
J	S						.051	.051						
NS	W						.052	.052	.052					
YH	S							.052	.052					
JS	S								.053	.053				
DN	W								.053	.053				
MJ2	W									.054				
DS	S									.054				
GG	C									.054				
HM	W									.055				
CR	C									.055				
CH	S									.055				
GJ	E										.057			
DC	W											.059		
BG	C												.061	
YS2	E													.062
Significant level		1.000	.165	.060	.051	.065	.058	.141	.072	.066	1.000	1.000		.387

령일별 사례를 나타내었다.

열네 번째, 2015년 이후 동부, 중부 및 서부권역의 주의보 발령 사례는 총 2회였으며, 그림18에 발령일별 사례를 나타내었다.

열다섯 번째, 2015년 이후 부산 전역의 주의보 발령 사례는 총 6회였으며, 그림19에 발령일별 사례

를 나타내었다.

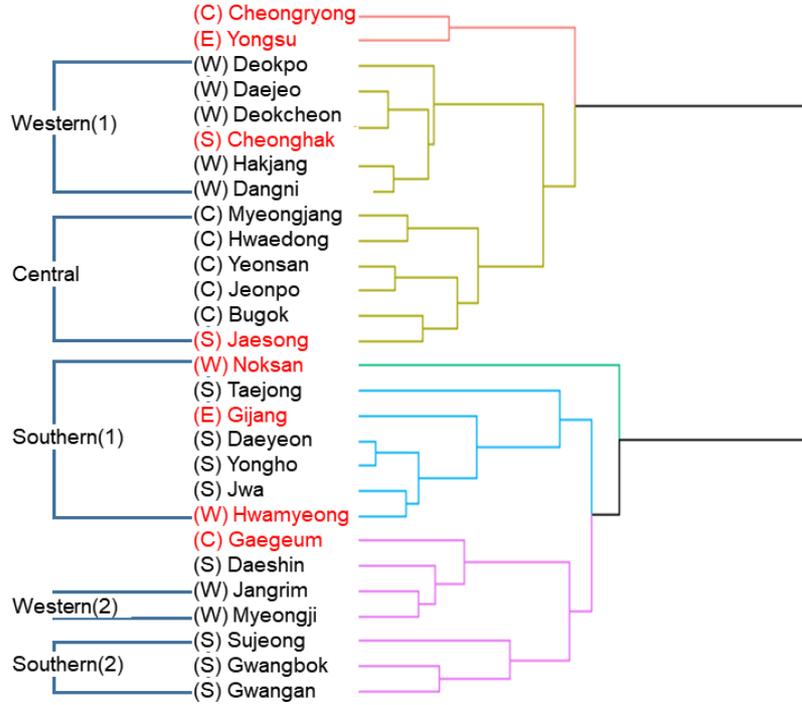


Fig. 20. Cluster analysis result of Ozone

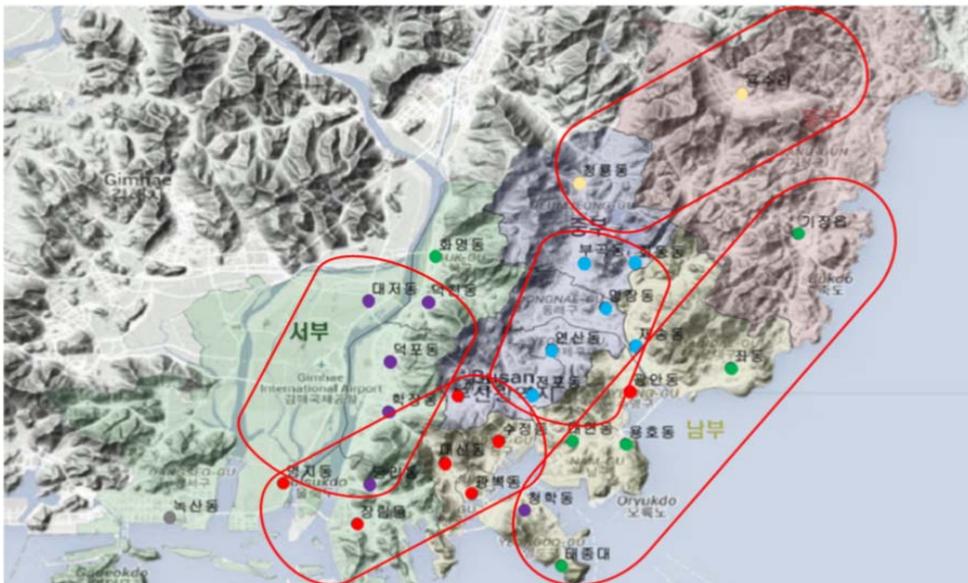


Fig. 21. Division by cluster analysis of Ozone

3.2.2. 측정소별 오존 농도 비교

측정소별 오존 농도는 덩컨의 다중범위검정(Duncan's LSR 검정)을 이용하였다. 덩컨의 다중범위검정은 평균을 크기순으로 나열하고, 비교하는 두 평균의 가깝고 먼 위치에 따라 다른 기준값을 적용하는 것으로 그 결과를 표15에 나타내었다. 측정소별 평균 농도차는 19개로 구분되었다. 19개 중 평균 농도차와 지역을 고려하여 같은 권역으로 구분하면 (1)중구 광복동(GB)-동구 수정동(SJ), (2)연제구 연산동(YS1)-동래구 명장동(MJ1)-부산진구 전포동(JP)-금정구 회동동(HD), (3)사상구 학장동(HJ)-사상구 덕포동(DP)-사하구 장림동(JR)-강서구 대저동(DJ), (4)남구 대연동(DY)-남구 용호동(YH)-수영구 광안동(GA)-해운대구 재송동(JS)-해운대구 좌동(J)-영도구 태종대(TJ), (5)강서구 명지동(MJ2)-강서구 녹산동(NS)-사하구 당리동(DN)-서구 대신동(DS)-부산진구 개금동(GG), (6)북구 화명동(HM)-북구 덕천동(DC)-금정구 청룡동(CR)-금정구 부곡동(BG)-기장군 기장읍(GJ)-기장군 용수리(YS2)로 나눌 수 있다.

3.2.3 계층적 군집분석을 활용한 오존 권역구분

계층적 군집분석을 활용한 오존의 권역구분 분석결과 7개 정도로 구분되었으며, 그 결과를 아래 그림에 나타내었다. 7개 군집은 (1)금정구 청룡동(CR)-기장군

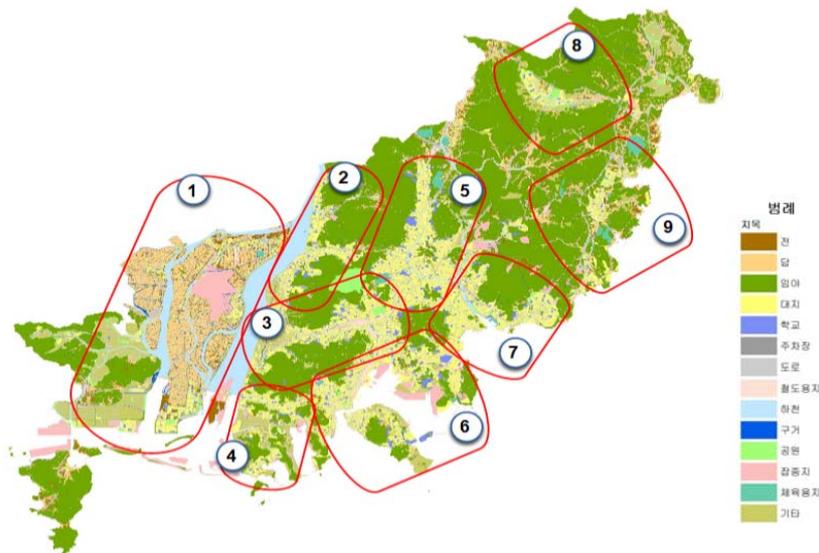
용수리(YS2), (2)사상구 덕포동(DP)-사상구 학장동(HJ)-강서구 대저동(DJ)-북구 덕천동(DC)-사하구 당리동(DN)-영도구 청학동(CH), (3)동래구 명장동(MJ1)-금정구 회동동(HD)-금정구 부곡동(BG)-연제구 연산동(YS1)-부산진구 전포동(JP)-해운대구 재송동(JS), (4)강서구 녹산동(NS), (5)기장군 기장읍(GJ)-영도구 태종대(TJ)-남구 대연동(DY)-남구 용호동(YH)-해운대구 좌동(J)-북구 화명동(HM), (6)부산진구 개금동(GG)-서구 대신동(DS)-사하구 장림동(JR)-강서구 명지동(MJ2), (7)동구 수정동(SJ)-중구 광복동(GB)-수영구 광안동(GA)으로 나뉘었다.

3.3 지형을 고려한 권역구분

지형을 고려한 권역을 구분하기 위해 그림 22에 지목별로 구분한 지도를 나타내었다. 지형을 고려한 권역구분의 가장 큰 고려 요소는 임야(산)로서 행정구역을 7개로 구분하였고, 세부내용을 아래 그림에 나타내었다. 7개 권역은 (1)강서구, (2)북구, (3)사상구-부산진구, (4)사하구, (5)금정구-동래구-연제구, (6)동구-남구-서구-중구-영도구, (7)수영구-해운대구, (8)기장군(북), (9)기장군(남)으로 나눌 수 있다.

3.4 농도특성과 지형을 고려한 권역구분

3.4.1 미세먼지 권역 구분



- 1 : Gangseo-gu
- 2 : Buk-gu
- 3 : Sasang-gu, Busanjin-gu
- 4 : Saha-gu
- 5 : Geumjeong-gu, Dongnae-gu, Yeonjae-gu
- 6 : Dong-gu, Nam-gu, Seo-gu, Jung-gu, Yeongde-gu
- 7 : Suyeong-gu, Haeundae-gu
- 8 : Gijang-gun(N)
- 9 : Gijang-gun(S)

Fig. 22. Region division by topography⁷⁾

미세먼지(PM-2.5, PM-10)는 오존보다는 광역적으로 농도가 분포되는 특성이 있으며, 특히 황사 발생시는

부산 전역이 동시에 고농도로 나타나 전체를 한 권역으로 봐도 무방할 것이다. 부산지역은 산업단지의 분

Table 16. Alert division of fine particle (PM-2.5, PM-10) with 5 regions

	region	No. of station	Gu-Gun(site)
1	Eastern	2	Gijang-gun[Gijang(G), Yongsu(YS2)]
2	Central-eastern	5	Geumjeong-gu[Bugok(GB), Hwaedong(HD), Chengryong(CR)], Dongnae-gu[Myeongjiang(MJ1)], Yeonjae-gu[Yeonsan(YS)]
3	Central-western	4	Busanjin-gu[Jeonpo(JP), Gaegeum(GG)], Buk-gu[Deokcheon(DC), Hwamyong(HM)]
4	Western	7	Gangseo-gu[Nocksan(NS), Daejeo(DJ), Myeongji(MJ2)], Saha-gu[Dangni(DN), Jangrim(JR)], Sasang-gu[Deokpo(DP), Hakjang(HJ)]
5	Southern	10	Dong-gu[Sujeong(SJ)], Seo-gu[Daseshin(DS)], Jung-gu[Gwangbok(GB)], Nam-gu [Daeyeon(DY), Yongho(YH), Suyeong-gu[Gwangan(GA)], Yeongdo-gu[(Cheonghak(CH), Taejong(TJ)], Haeundae-gu [Jwa(J), Jaesong(JS)]

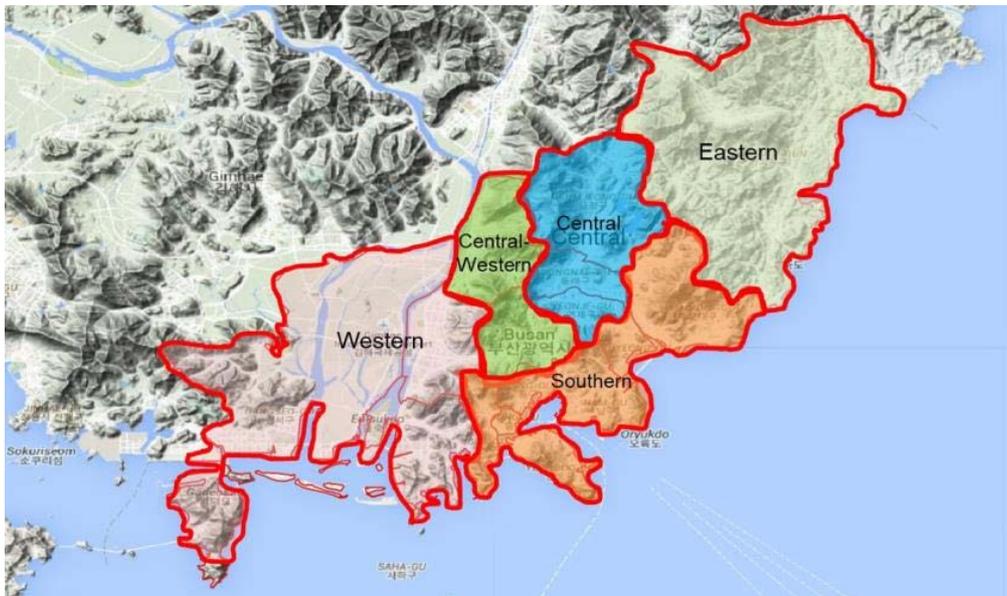


Fig. 23. Resetted alert division of fine particle (PM-2.5, PM-10)

Table 17. Alert division of fine particle (PM-2.5, PM-10) with 4 regions

	region	No. of station	Gu-Gun(site)
1	Eastern	2	Gijang-gun[Gijang(G), Yongsu(YS2)]
2	Central	9	Geumjeong-gu[Bugok(GB), Hwaedong(HD), Chengryong(CR)], Dongnae-gu[Myeongjiang(MJ1)], Yeonjae-gu[Yeonsan(YS)], Busanjin-gu[Jeonpo(JP), Gaegeum(GG)], Buk-gu[Deokcheon(DC), Hwamyong(HM)]
3	Western	7	Gangseo-gu[Nocksan(NS), Daejeo(DJ), Myeongji(MJ2)], Saha-gu[Dangni(DN), Jangrim(JR)], Sasang-gu[Deokpo(DP), Hakjang(HJ)]
4	Southern	10	Dong-gu[Sujeong(SJ)], Seo-gu[Daseshin(DS)], Jung-gu[Gwangbok(GB)], Nam-gu [Daeyeon(DY), Yongho(YH), Suyeong-gu[Gwangan(GA)], Yeongdo-gu[(Cheonghak(CH), Taejong(TJ)], Haeundae-gu [Jwa(J), Jaesong(JS)]

(서부, 중동부, 중서부)으로 세분되어 발령횟수 또한 증가(기준: 서부 33회, 중부 23회 → 권역 재설정시 :

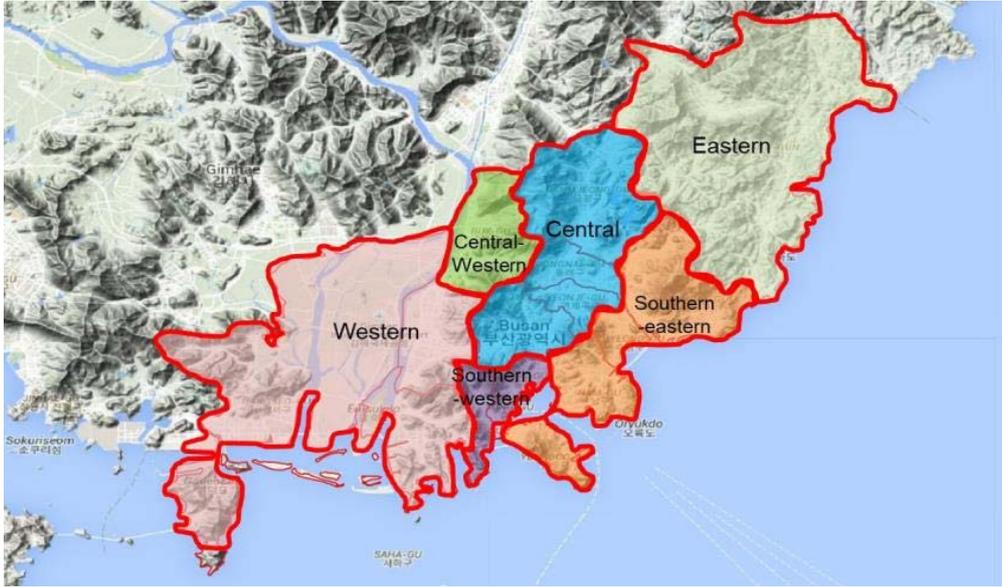


Fig. 24. Resetted alert division of Ozone

Table 20. Ozone watch frequency by region

4 division	Eastern		Southern										Western						Central									
	GJ	YS2	J	GA	GB	DS	DY	SJ	TJ	JS	CH	YH	NS	DJ	DC	HJ	JR	DP	DN	HM	MJ2	CY	BG	MJ1	YS1	JP	GG	HD
2015	6	2		4													6								1			
2016	2	2	1	2		1			2				2		1	1							1		2	2		
2017	1	2	1				1		2						2	1	2					3	2	1				
2018	3	2	3	4	1								1				1					4	1		1	1		
2019	3	1		2		1	2	1					1	2	2							3				1		
2020	3		1							1	2				1							1	1	1				
2021	1	2	1	1		1									1											2		
2022	4	3		2					1			1			1						1	1	3	1				
Total	23	14	7	17	1	3	3	1	3	1	3	1	4	2	8	2	9	0	0	0	1	13	7	5	4	4	0	0
sum	37		40										26						32									
times/yr/ region	4.6		5.0										3.3						4.0									



6 division	Eastern		Southern-eastern					Southern-western			Western						Central-western		Central									
	GJ	YS2	J	GA	DY	TJ	JS	CH	YH	SJ	GB	DS	NS	DJ	HJ	JR	DP	DN	MJ2	DC	HM	CY	BG	MJ1	YS1	JP	GG	HD
2015	7	2		4		1					1				6					1					1			
2016	2	2	1	3							1	2	2							3		1		2	2			
2017	1	2	1		1	2				1				1	2					2		3	2	1				
2018	3	2	3	4		1				1	3		1		1					1		4	1		1	1		
2019	3	1		2	2					1		2	2							2		3				1		
2020	3		1				1	2												1		1	1	1				
2021	1	2	1	1			1				1									1						2		
2022	4	3		1		1			1									1		1		1	3	1				
Total	23	14	7	14	3	5	1	3	1	2	4	5	3	2	3	9	0	0	1	12	0	13	7	5	4	4	0	0
sum	37		34					11			18						12		32									
times/yr/ region	4.6		4.3					1.4			2.3						1.5		4.0									

서부 34회, 중동부 24회, 중서부 24회)하는 것으로 나타났다. 단, 중동부와 중서부는 지형적 특성을 고려하여 백양산과 금정산을 중심으로 좌우로 나뉘었지만, 주의보 발령시 권역별 평균농도 추이가 상당히 유사하여 중동부와 중서부를 단일권역으로 설정하는 것도 고려해 보아야 한다. 이 경우 기존과 같이 권역 구분 수는 4개이나 기존 서부권역에 포함된 북구가 중부권역에 해당한다.

3.4.2 오존 권역 구분

오존의 경우 고농도 사례는 특정 지역에서 국한해서 농도가 높아져 주의보가 발령되는 경우와 광역적으로 농도가 높아져 주의보가 발령되는 경우가 있었다. 오존은 특히 기온, 일사량, 풍속 등 기상조건에 따른 영향을 상당히 많이 받는 특성이 있다. 오존의 권역구분 또한 PM-2.5와 유사하게 주의보발령 사례 분석, 측정소별 평균 농도차, 군집분석, 지형, 행정구역 등의 요소를 고려하여 표19 및 그림24와 같이 6개 권역으로 구분하였다.

표20에는 위와 같이 기존 4개 권역에서 6개 권역으로 재설정된 경우 주의보 발령 예상횟수를 나타내었다. 동부와 중부권역은 기존 운영 지점과 동일하여 발령횟수에는 변화가 없으나, 남부와 서부권역은 4개 권역(중서부, 서부, 남동부, 남서부)으로 세분되어 전체적으로 발령횟수 또한 증가(기존: 서부 26회, 중부 32회 → 권역 재설정시 : 중서부 12회, 서부 18회, 남동부 34회, 남서부 11회)하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 대기오염경보제 시행(오존 2006년 시행, PM-10 2011년 시행, PM-2.5 2015년 시행)시 설정된 4개 권역(동부, 서부, 남부, 중부)에 대하여 권역 타당성 여부와 특성에 대한 평가를 하였다. 2006년 시행 당시 17개소였던 도시대기측정소는 2022년 현재 28개소로 9개소 증가하였으며, 이에 따라 효율적인 경보제 운영을 위해 권역구분에 필요한 여러 요소를 고려하여 현재 운영중인 경보권역에 대해 검토해 보았으며, 그 결론은 다음과 같다.

(1) 대기환경측정소가 늘어남에 따라 실제 경보발령 사례를 참고하여 경보권역 설정을 검토함에 있어서 현실적 접근이 가능하였다. 경보권역 검토결과 기존 운영중인 권역보다 세분되었으며, 이에 따라 주의보 발

령횟수는 증가할 것이지만 실질적으로 미세먼지 및 오존의 고농도로 인해 피해를 보는 지역에 한하여 경보를 발령할 수 있을 것이다. 단, 권역 세분화에 따른 잦은 경보발령으로 경보발령에 둔감해질 수 있으며, 경보제 운영을 위한 행정적인 효율성도 감소할 수 있음을 고려하여야 할 것이다.

(2) 미세먼지(PM-2.5, PM-10)는 오존보다 광역적으로 농도가 분포되는 특성이 있으며, 특히 황사 발생시는 부산 전역이 동시에 고농도로 나타나지만, PM-2.5의 경보발령 권역을 주의보발령 사례, 측정소별 평균 농도차, 군집분석, 지형 및 행정구역 등을 고려하여 5개 권역(동부, 중동부, 중서부, 서부, 남부)으로 구분할 수 있었다. 단 중동부와 중서부 권역은 실제 주의보 발령농도 사례를 고려하여 하나의 권역으로 설정하여도 무리가 없을 것으로 판단되며 해당권역의 지역구를 조정하여 4개 권역(동부, 중부, 서부, 남부)으로 설정할 수 있을 것이다.

(3) 오존은 특정 지역에서 고농도로 나타나 주의보가 발령되는 경우와 광역적으로 농도가 높아져 주의보가 발령되는 경우가 있다. 오존의 경보발령 권역 또한 PM-2.5와 유사하게 주의보발령 사례, 측정소별 평균 농도차, 군집분석, 지형, 행정구역 등의 요소를 고려하여 6개 권역(동부, 중부, 중서부, 서부, 남동부, 남서부)으로 구분할 수 있었다. 기존 동부와 중부권역은 변화가 없으며, 서부권역과 남부권역 등 2개 권역을 4개 권역으로 세분화하였다.

(4) 본 연구는 기존 대기오염경보제 권역 구분의 타당성과 특성을 평가한 것으로서 이미 실시 중이던 미세먼지와 오존의 권역도 비교적 타당한 것으로 판단된다. 단 미세먼지는 농도분포가 광역적인 형태로 나타나 구·군과 행정구역에 따른 세분화보다는 인접 지역에 미치는 영향을 고려하여 광범위하게 하나의 권역으로 설정하는 타 지자체(서울, 광주, 울산 1권역)의 운영도 참고하여야 한다. 오존은 농도분포가 사례에 따라 국지적 또는 광역적인 형태로 나타나므로 인접 구군의 영향범위가 미세먼지보다는 상대적으로 좁은 범위에서 나타나므로 미세먼지 대비 권역구분이 세분화가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 심규승, 우정식, 김복준, 김세광, 홍순모, 민윤기, 권상조, 김찬혁, 유현욱, 신정은, 김명숙, 정선희,

- 김지민, 김동완, 김종수, “경기도 대기오염 경보제 권역 설정 연구”, 2015년도 경기도보건환경연구원 보, 28, pp.91~101 (2016).
2. 김민준, 최진무, “미세먼지 관리 권역 설정에 관한 연구”, 대한지리학회지, 57(4), pp.401~409 (2022).
 3. 백정희, 송재민, “지역 차원의 미세먼지 관리를 위한 권역 설정 및 특성에 관한 연구”, 환경정책 27(3), pp.75~104 (2019).
 4. 김학열, 김운수, “마야코프연쇄를 이용한 도시대기 오염예측에 관한 연구”, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」 42(1), pp.127~136 (2007)
 5. 최태영, 문호경, 강다인, 차재규, “서울시 토지피복에 따른 계절별 미세먼지 농도 차이 분석”, 환경영향평가 27(6), pp.635~646 (2018)
 6. 통계연보, 부산광역시, <http://www.busan.go.kr>
 7. 부산연구원 아카이브, <https://data.bdi.re.kr/>