한국환경과학회지 제20권(제1호), 81~91, 2011
Journal of the Environmental Sciences
DOI: 10.5322/JES.2011.20.1.81

대구지역 대기오염자동측정망 위치의 타당성 분석

최성우* · 이중범
계명대학교 환경과학과
(2010년 10월 18일 접수; 2010년 12월 7일 수정; 2010년 12월 20일 채택)

Feasibility Study for the Location of Air Quality Monitoring Network in Daegu Area

Sung-Woo Choi*, Jung-Beom Lee
Department of Environmental Science, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Manuscript received 18 October, 2010; revised 7 December, 2010; accepted 20 December, 2010)

Abstract

Air quality monitoring networks are very important facilities to manage urban air pollution control and to set up an environmental policy. Since air quality monitoring network of Daegu was allocated from 1980s to mid-90s, there is need to reevaluate it and relocated its site. This study was evaluated the position of Daegu air quality monitoring station by unit environmental sensitivity index, grid emission rate, CAI (Comprehensive Air-quality Index) point. The investigation domain covered an area of 16 × 24 km centered at the metropolitan area of Daegu with grid spacing of 2 km. The location of alternative air quality monitoring networks was selected through optimization and quintiles analysis of total score. The result showed that all things considered, new air quality monitoring network need to install grid numbers 10, 28, 36, 37, 46. We also recommand three scenarios of alternative air quality monitoring network when considering unit environmental sensitivity index, emission rate and CAI point.

Key Words : Air quality monitoring network, CAI, Quintiles

1. 서 론

대기환경보전법에 따르면, 대기환경의 변화나 대기오염의 실태를 파악하기 위하여 지방자치단체에서는 관할 구역 내에 대기오염 측정소를 설치 운영 하도록 규정하고 있다. 2007년 말 현재 총 363개소의 측정소가 전국적으로 설치 운영 중에 있으며(환경부, 2005), 대구광역시의 대기오염자동측정소는 도시대기측정소 11개, 도로변 측정소 2개가 운영되고 있다.

대기오염자동측정망의 결과는 대기오염경보체계의 운영, 대기오염 방지대책수립과 평가를 위한 기초자료의 제공, 환경기준 달성여부의 판단 및 감시 등으로 활용되고 있다(Jung, 2000). 따라서 대기오염측정망의 적절한 배치와 운영은 지역 대기질 관리에 매우 중요하다.

대기오염측정망 재배치를 위한 선행연구를 살펴보면 Munn(1981)은 기존의 측정망의 적합성 평가 방법으로 통계적 배치방법을 사용하였으며, 복잡한 지형에서의 보전성 대기오염물질의 확산특성 해석을 위해 Park과 Park(1998)은 누적반분산기법을 적용하였다.

*Corresponding author : Sung-Woo Choi, Department of Environmental Science, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5245
E-mail: swchoi@kmu.ac.kr

그 밖에 Kao와 Hsieh(2006)는 의사결정시스템을 통해 대기오염측정망을 배치한 사례가 있고 Oh와 Kwon(2001)은 GIS를 기반으로 전산체제화한 다기준 평가법을 사용하였다. 대부분의 선행연구에서는 통계적분석법 및 모델링기법을 기반으로 자동측정망을 배치하였으나 본 연구에서는 인구와 오염물질의 발생량, 예측농도 및 측정소간 이격거리를 동시에 고려하며, 오분위수 개념을 도입하여 자동측정망의 위치의 타당성을 검토하고자 하였다.

대구시의 측정망은 대명동 측정망이 1981년에 설치가 되었으며 나머지 측정망은 1980년대에서 1990년대 중반에 설치가 되었다. 도시화 등으로 인하여 측정소 주변으로 건물 등이 밀집되어 최초설치 당시와 다른 주변 환경을 가지게 되는 지점이 증가하고 있다(Kim 등, 2009). 현재 특정지구에 대규모 주거단지가 조성되어진 것과 같이 지역의 성격이 설치당시와 다르게 변화 되고 있다. 특히 우리나라 대기측정망 기본계획 2006-2010년 도심 및 도로변 대기측정망설치기준을 살펴보면 측정소간 간격은 4 km이상을 유지하여야 하나 대구지역 일부 측정소의 경우 반경 4 km내외에 위치하여 중복성문제가 대두될 것으로 사료된다. 따라서 과거 10년 동안 대구지역의 도심성장 및 특정지역의 인구편중을 고려해 볼 때 인구수 성장을 고려한 자동측정망의 위치 타당성을 검토할 필요성이 있다고 생각된다.

따라서 본 연구의 목적은 대구지역 대기자동측정망간의 이격거리 및 대기오염도 현황을 분석하며, 격자별 인구수, 환경특성 분석 및 대기오염 배출량을 평가하여 측정소 신규배치 시나리오를 제시하고 시나리오별 대기오염물질의 농도를 추정하여 측정소간의 중복성을 최소화하고 인구수를 고려한 자동측정망 배치의 타당성을 제안함으로써 대구지역 대기질 관리의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 자료 및 방법

대구지역을 TM좌표를 기초로 하여 가로세로 2 km씩 96개 격자로 나누어 전체 지역 중 산악지역, 농경지, 시 · 도 경계지역 등을 제외한 측정망 설치가 가능하다고 판단되는 46개의 지역을 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서는 대기오염 측정망의 현황을 파악하기 위하여 2003년 1월1일 01시부터 2008년 12월 31일 23시까지 대구지역 일반대기오염측정망인 도심대기측정망 11개소와 도로변대기측정망 2개소의 대기오염물질의 시간당 평균 자료를 국립환경과학원에서 제공받아 자료 분석에 활용하였다. 또한 대기오염배출량 자료는 국립환경과학원에서 제공하는 2006년도 CAPSS (Clean Air Policy Support System)의 점, 선, 면 오염원 배출량 자료를 활용하였다. 또한 대구지역의 기상자료는 대구기상대에서 관측하고 있는 지표기상자료와 포항관측소에서 관측하고 있는 고층기상자료를 활용하였다.

격자별 인구수는 대구시 통계연보의 행정 동별 인구수를 자료로 이용하였으며(대구통계연보, 2008), 행정 구역의 TM좌표를 디지타이징하여 격자별로 행정동의 인구를 계산하였다. 대구지역의 인구수 및 자연환경분석은 Inyang 등(2003)의 연구 방법론을 이용하였으며, Table 1에 관련 인자를 나타내었다. 인자 a, b, c, d를 각 격자별로 비율을 분석하여 환경민감점수(Fi, environmental sensitivity score)를 계산하였으며 인자별 가중치(Wi)를 곱하여 단위환경민감지수($G_n = \sum G_i$, unit environmental sensitivity index)를 계산하였다. 단위환경민감지수의 값은 환경의 영향을 얼마나 민감하게 받는가를 나타낸 수치로 높을수록 환경에 민감한 인자들이 많다는 것을 의미한다.

격자별 인구수분석, 자연환경분석, 대기오염물질별 배출량분석, 대기오염물질 농도 예측치와 측정소간 이격거리 분석을 통해 배치 시나리오별로 10개의 자동측정망을 선정하고 기존측정망과 비교분석하였다. 격자별 예측농도는 ISC3(Industrial Source Complex Dispersion Model Version-3)모델을 이용하여 계산하였으며 대기오염물질 예측농도를 기초로 4개 대기오염물질인 SO_2, NO_2, CO, PM-10 별로 통합대기환경지수인 CAI(Comprehensive Air-quality Index) 점수를 산정하여 가장 높은 점수를 통합지수값으로 사용하였다. 또한 대구지역 자동측정망별 대기오염도를 분석과 대기모델링의 예측치 및 실측치간의 관련성을 평가하기 위해 SPSS(ver 17)를 이용하여 상관성분석을 실시하였다. 또한 빈도분석, 군집분석으로 기존측정망의 타당성을 평가하였다.

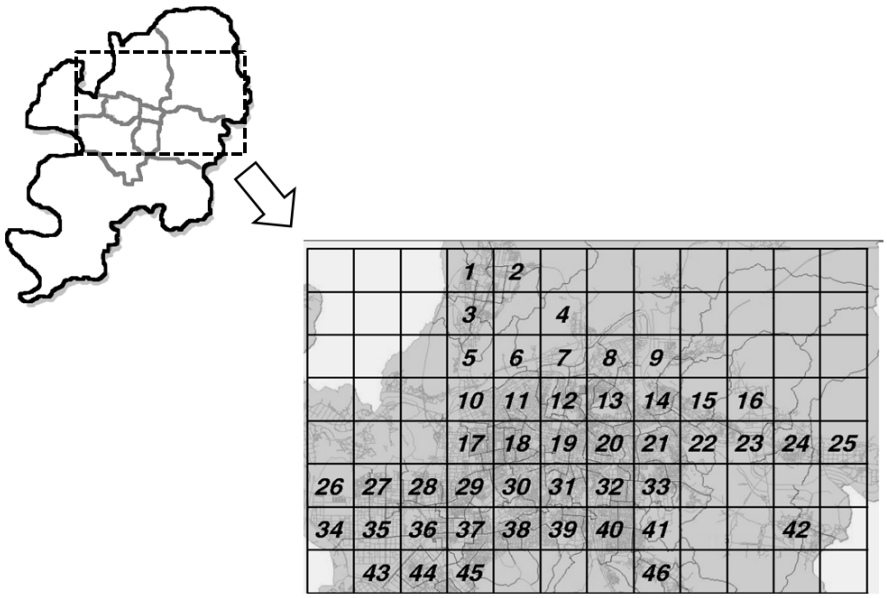

Fig. 1. Grid numbers and topographical features in this study.

Table 1. Evaluation factors and their relative weights

Factor		F_i = environmental sensitivity score							W_i=
i	Description	10	8	6	4	2	1	0	weight
a	Population ×1000	>75	75-60	64-45	45-30	30-15	15-0	0	0.4
b	Fraction of population 〈 5 yr old (%)	50-43	42-35	34-26	25-18	17-9	8-1	0	0.3
c	Fraction of area = surface water (%)	100-86	85-69	68-52	51-35	14-17	17-1	0	0.2
d	Fraction of area = agricultural (%)	100-86	85-69	68-52	51-35	14-17	17-1	0	0.1

3. 결과 및 고찰

3.1. 대구지역 자동측정망의 현황분석

대구지역 대기측정망의 운영 현황을 보면 전체 결측율은 SO_2, NO_2, CO, PM10 항목에서 0.19, 0.18, 0.21, 0.35로 나타났으며, 이현동 측정소의 경우 전 항목 모두 20% 이상의 결측율을 보여주었다. PM-10은 이현, 노원 남산측정소에서 50%이상의 결측율을 보여 대기측정망의 효율적인 유지 및 점검이 필요한 것으로 나타났다. 대기측정망 기본계획 2006-2010년 도심 및 도로변 대기측정망설치기준을 살펴보면 도시대기측정망의 경우 인구 10만 이상 도시에 설치함을 원칙으로 하며 측정소간 간격은 4 km 이상을 유지하여 측정소간 중복성을 최소화하고 넓은 지역을 감시할 수 있도록 권고 하고 있다. Table 2는 대기오염 자동측정소간 거리별 분포의 결과를 보여준다. 현풍면의 경우 대구도심으로부터 멀리 떨어져 있어 본 분석에서는 제외하였다. 설치기준 4 km이하의 이격거리를 유지하는 측정망간의 거리는 1.146-3.906 km로 15개 지점이 조사되었다. 특히 2 km이하의 이격거리를 가지는 곳이 3군데로 수창-남산, 이현-평리, 노원-평리동이었으며 도심측정망과 도로변측정망의 중복현상이 매우 뚜렷하게 나타났다.

Table 2. Distribution of distance between air quality monitoring networks [m]

	SC	IH	DM	NW	SA	MC	WS	GS	YH	TJ	HP	NS
IH	3,571*											
DM	3,349*	3,566*										
NW	2,950*	3,192*	5,447									
SA	4,661	8,156	7,386	6,186								
MC	5,163	8,620	6,587	7,688	2,965*							
JS	6,090	8,634	5,439	9,038	6,362	3.632*						
GS	8,234	5,080	6,090	8,204	12.881	12.621	11.303					
YH	10,041	13,576	11,554	12,206	6.153	5.019	7,270	17,622				
TJ	6,283	5,999	8,840	3,436*	8.172	10.39	12,289	10,376	14,306			
HP	23,040	20,853	19,796	24,035	27.072	25.463	22,357	16,162	29,599	26,527		
NS	1,146*	4,237	2,878*	4,093	4.551	4.392	4,953	8,449	9,383	14,538	22,667	
PN	2,071*	1,967*	3,906*	1,573*	6.338	7.219	7,974	7,034	12,031	5,479	22,617	3,083*

SC(Suchang-dong), IH(Ihyeon-dong), DM(Daemyeong-dong), NW(Nowon-dong), SA(Sinam-dong), MC(Manchon-dong), JS(Jisan-dong), GS(Galsan-dong), YH(Yulha-dong), TJ(Taejeon-dong), HP(Hyeonpung), NA(Namsan-dong), PN(Pyeongni-dong)
* Distance between air quality monitoring networks is less then 4000 m

Fig. 2는 대구지역 측정소간의 군집분석 결과를 보여준다. 군집 분석은 분류할 집단에 특정 대상을 배정하여 통일집단에 속한 대상이 유사성을 갖게 함으로써 집단 간의 차이를 명확하게 하는데 이용되는 통계기법이다. 따라서 측정소간의 군집 분석을 통하여 측정소간의 유사성이 얼마나 있는지 판단할 수 있다. SO_2의 경우 3개의 군집이 형성되며 1그룹은 만촌, 신암, 노원, 2그룹은 수창, 평리 ,대명, 지산, 3그룹은 이현, 남산으로 형성된다. NO_2는 2개의 그룹(1그룹 : 노원, 이현, 만촌, 신암, 2그룹 : 대명, 지산, 수창), PM-10은 2개 그룹(1그룹 : 만촌, 지산, 대명, 2그룹 : 노원, 이현, 신암, 수창), CO는 4개의 그룹(1그룹 : 노원, 만촌, 수창, 2그룹 : 신암, 이현, 3그룹 : 대명, 남산, 4그룹 : 지산, 평리)으로 형성된다. 이는 측정소간의 유사성을

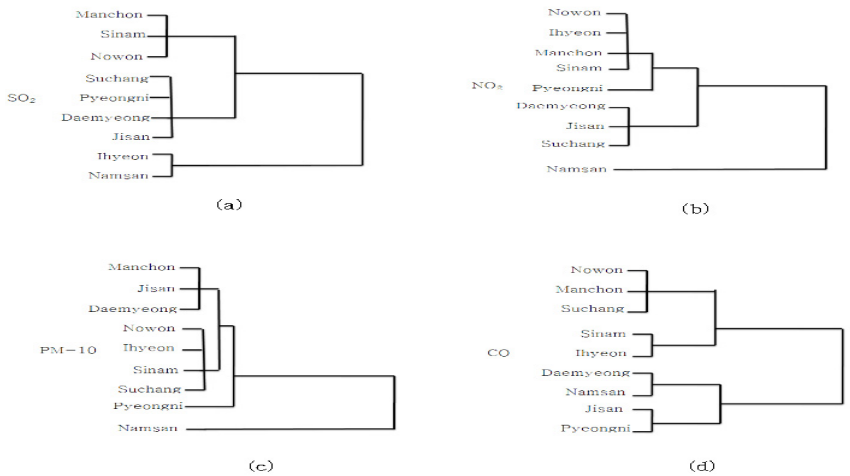

Fig. 2. Clusters analysis between air quality monitoring networks.

나타내고 있으며, 측정소간 이격거리 등을 고려해 볼 때 만촌과 신암, 노원과 이현의 측정소간의 중복성을 보이고 있는 것으로 사료된다.

3.2. 격자별 환경특성분석

격자별 대기오염물질의 농도는 ISC3를 이용하여 SO_2, NO_2, CO, PM-10의 예측치를 구하였으며 실측치와 예측치의 상관계수를 Table 3에 나타내었다. SO_2와 NO_2의 상관계수가 0.238과 0.319로 나타났다. 그리고 CO와 PM-10의 상관계수는 0.444, 0.419로 나타났으며, 통계적으로 유의한 상관성을($p<0.01$) 보여주었다. 그러나 상관계수의 절대값이 0.6이상일 때 상관관계가 있고 절대값이 0.4이상 0.6미만일 때 약한 상관관계를 가진다고 판단 할 수 있는데, CO와 PM-10은 약한 상관관계를 가지고 있으나 SO_2와 NO_2의 경우 상관성이 다소 낮게 나타났다. ISC3 모델은 현재 U.S.EPA 추천모델(preferred/recommended model)에서는 제외되었으나, Park 등(2007)의 연구에 따르면 운용비가 적고 모델구조가 단순하며, 타 확산모델보다 예측성이 더 좋다고 보고되었다. 또한 ISC모델은 입자상오염물질의 침강, 건물 주변으로의 세류현상, 그리고 부분적인 지형을 고려할 수 있는 모델로 Kim과 Son(1992)이 추천하였다.

Table 3. Correlation coefficients between measured and predicted concentration of air pollutants

		Predicted value			
		SO_2	NO_2	CO	PM-10
Measured value	SO_2	0.238**			
	NO_2		0.319**		
	CO			0.444**	
	PM-10				0.419**

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

연구대상 지역의 격자별 인구수, 자연환경, 단위환경민감지수, 대기오염물질별 배출량 및 CAI점수를 Table 4에 나타내었다. 인구수분석결과 가중치가 가장 높게 나온 격자는 2번, 12번, 13번, 20번, 28번, 37번, 44번, 45번으로 4점을 받았다. 이들 지역은 아파트단지가 조성된 곳이거나 주택단지가 모여 있는 주거지역이 대부분이다. 7번, 10번, 43번 지역은 공업지역으로 16번, 22번은 농경지, 공원지역으로 인구점수의 가중치 값이 적게 측정되었다. 각 격자에 단위환경민감지수의 값 또한 2번 격자가 최고점으로 나타났으며, 12번, 13번, 20번, 28번, 30번, 37번, 44번, 45번이 4점 이상의 점수를 받아 환경 민감성이 큰 지역으로 이중 자동측정망이 설치된 곳은 30번 격자 하나밖에 존재하지 않았다. 또한 2.5점 이하에 설치된 자동측정망이 5개로 기존측정망의 반을 차지하였다. 인구수와 환경특성 분석을 통하여 인구수가 많고 단위환경민감지수가 높은 2번, 44번, 45번 격자에 자동측정망 배치가 필요하다고 사료되어진다.

CAPSS 자료를 바탕으로 대구지역 대기오염물질 배출원을 격자별로 분석한 결과 CO의 배출량의 경우 평균 배출량이 723,708 kg/yr로 평균배출량 보다 높은 영역에 6개의 자동측정망이 설치되어 있으며 28번과 45번 격자에서 가장 많이 배출된 것으로 나타났다. NO_X 평균 배출량은 610,770 kg/yr으로 평균이상의 배출량을 가지는 영역에 4개의 측정망이 있으며 배출량이 가장 많은 격자는 10번과 36번으로 나타났다. SO_X의 경우 평균 142,428 kg/yr의 발생량이 나타났으며 평균발생량보다 적은 영역에 모든 측정망이 설치가 되어있고 평균치 이상 발생되는 지역에는 단 하나의 측정망도 분포하지 않는다. PM-10의 발생량을 보면 6개의 측정망이 평균발생량인 106,109 kg/yr이상인 영역에 분포되어 있으며, 10번과 28번 격자에서 배출량이 가장 높게 나타났다.

통합대기환경지수인 CAI점수를 분석한 결과 평균 CAI점수는 58점으로 평균점수보다 상위에 6개의 측정망이 설치되어있으며 최고 CAI점수는 105점으로 28번 격자에 나타났다.

3.3. 오분위수를 이용한 환경특성분석

속성별 특성분석을 위해 오분위수(quintiles)로 5개 범위로 나눈 후 크기 순서별로 그룹화 하였다. 각 속성별 그룹과 기존측정망 및 신규배치 가능 격자를 Table 5에 나타내었다. 그룹 1은 제 20백분위수로 적용하였으며 그룹 2는 40백분위수, 그룹 3은 60백분위수, 그룹 4는 80백분위수의 범위를 나타낸다. 즉 그룹 1은 환경특성 점수가 낮고 그룹 5는 환경특성점수가 높음을 의미한다.

Table 4. Results of population, environment characteristics, unit environmental sensitivity index and emission rate of each grid

Grid	Population		Population 〈5 yr old		Surface water		Green zone		G_n***	CAI	Emission rate[kg/yr]			
	F_i*	G_i**	F_i	G_i	F_i	G_i	F_i	G_i			PM-10	CO	SO_x	NO_x
1	6	2.4	1	0.3	1	0.2	0	0.0	2.9	22	82,563	516,410	44,921	366,606
2	10	4.0	1	0.3	0	0.0	4	0.4	4.7	27	56,376	573,021	68,784	384,628
3	6	2.4	1	0.3	1	0.2	2	0.2	3.1	21	42,644	271,383	47,614	217,691
4	2	0.8	1	0.3	1	0.2	4	0.4	1.7	7	39,285	97,677	9,448	173,311
5	2	0.8	1	0.3	1	0.2	6	0.6	1.9	18	51,072	149,476	15,926	248,703
6	2	0.8	1	0.3	1	0.2	4	0.4	1.7	46	133,042	489,010	86,496	558,133
7	1	0.4	1	0.3	1	0.2	1	0.1	1.0	81	189,899	732,764	102,355	776,595
8	4	1.6	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.9	60	96,923	740,030	120,922	502,065
9	2	0.8	1	0.3	1	0.2	0	0.0	1.3	45	52,818	427,065	46,078	310,554
10	1	0.4	1	0.3	1	0.2	0	0.0	0.9	89	330,558	1,005,817	2,501,967	3,246,036
11	2	0.8	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.1	69	142,479	1,150,560	133,986	703,327
12	10	4.0	1	0.3	1	0.2	1	0.1	4.6	69	136,696	1,134,578	134,586	731,863
13	10	4.0	1	0.3	0	0.0	0	0	4.3	64	123,907	925,846	102,572	641,747
14	6	2.4	1	0.3	1	0.2	0	0	2.9	51	75,288	780,110	78,923	438,289
15	2	0.8	1	0.3	1	0.2	0	0	1.3	52	81,889	637,775	37,240	484,081
16	1	0.4	1	0.3	0	0.0	6	0.6	1.3	36	50,389	356,357	31,027	278,292
17	2	0.8	1	0.3	0	0.0	1	0.1	1.2	71	159,644	942,625	108,234	708,692
18	4	1.6	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.9	62	106,905	1,071,306	133,768	572,781
19	4	1.6	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.9	72	127,814	1,098,099	104,511	822,238
20	10	4.0	1	0.3	1	0.2	0	0.0	4.5	77	156,764	1,181,031	67,825	829,583
21	8	3.2	1	0.3	0	0.0	0	0.0	3.5	66	114,535	981,240	60,150	585,701
22	1	0.4	1	0.3	1	0.2	2	0.2	1.1	68	107,864	933,362	32,945	666,827
23	2	0.8	1	0.3	1	0.2	1	0.1	1.4	41	14,329	88,283	6,177	262,684
24	4	1.6	1	0.3	0	0.0	2	0.2	2.1	53	49,521	276,737	26,133	298,663
25	2	0.8	1	0.3	0	0.0	1	0.1	1.2	50	43,675	319,361	28,179	308,699
26	2	0.8	1	0.3	1	0.2	2	0.2	1.5	29	63,844	383,399	68,404	314,784
27	4	1.6	1	0.3	0	0.0	1	0.1	2.0	61	122,803	732,447	176,162	596,141
28	10	4.0	1	0.3	0	0.0	1	0.1	4.4	105	247,553	1,396,273	182,248	1,213,973
29	8	3.2	1	0.3	0	0.0	2	0.2	3.7	71	146,103	1,008,657	200,316	931,422
30	10	4.0	1	0.3	0	0.0	2	0.2	4.5	71	113,070	858,075	134,554	772,132
31	8	3.2	1	0.3	0	0.0	0	0.0	3.5	68	102,584	1,014,060	77,245	519,414
32	6	2.4	1	0.3	1	0.2	0	0.0	2.9	76	165,685	1,346,530	69,847	759,311
33	6	2.4	1	0.3	0	0.0	0	0.0	2.7	65	73,094	723,769	42,806	405,161
34	2	0.8	1	0.3	1	0.2	4	0.4	1.7	21	6,090	33,893	13,701	100,392
35	2	0.8	1	0.3	0	0.0	1	0.1	1.2	58	126,882	831,028	85,145	516,105
36	2	0.8	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.1	85	179,382	1,058,255	302,314	1,403,129
37	10	4.0	1	0.3	0	0.0	1	0.1	4.4	92	175,026	1,168,365	254,662	988,049
38	6	2.4	1	0.3	0	0.0	2	0.2	2.9	76	112,281	885,910	131,321	505,511
39	4	1.6	1	0.3	0	0.0	4	0.4	2.3	72	61,154	516,226	19,711	304,059
40	6	2.4	1	0.3	1	0.2	2	0.2	3.1	67	73,347	599,510	31,428	454,303
41	2	0.8	1	0.3	0	0.0	0	0.0	1.1	57	80,723	763,567	61,419	503,211
42	8	3.2	1	0.3	0	0.0	2	0.2	3.7	51	51,758	301,751	13,835	377,228
43	1	0.4	1	0.3	0	0.0	2	0.2	0.9	34	41,756	174,323	43,260	174,790
44	10	4.0	1	0.3	0	0.0	0	0.0	4.3	60	78,381	451,439	163,864	467,764
45	10	4.0	1	0.3	0	0.0	2	0.2	4.5	78	177,680	1,360,044	206,239	1,059,994
46	8	3.2	1	0.3	0	0.0	4	0.4	3.9	38	14,903	113,317	14,647	87,683

*Fi = Environmental sensitivity score

**$G_i = F_i \times W_i$

***Gn = Unit environmental sensitivity index

Table 5. Quintile group by environmental characteristics, emission rate and CAI point

Characteristics	Group	Grid numbers	Grid number of current network	Grid number of alternative network
Unit environmental sensitivity index	1	17, 25, 41, 11, 36, 22, 7, 43, 10	17, 41, 11	-
	2	34, 6, 4, 26, 23, 16, 15, 9, 35	35	-
	3	1, 33, 39, 24, 27, 19, 18, 8, 5	24, 19	39,24
	4	42, 29, 21, 31, 3, 40, 14, 38, 32	21, 3, 14	42
	5	2, 12, 30, 45, 20, 37, 28, 44, 13, 46	30	2, 12, 30, 45, 20, 28, 46
Emission rate	1	25, 24, 3, 43, 5, 4, 23, 46, 34	24, 3	3, 24
	2	33, 40, 2, 1, 26, 39, 9, 16, 42	-	39, 42
	3	35, 31, 22, 8, 6, 44, 41, 14, 15	35, 41, 14	8, 41
	4	19, 7, 17, 30, 27, 18, 13, 38, 21	19, 17, 30, 21,	21, 30
	5	10, 36, 28, 45, 37, 29, 32, 11 12 20	11	11, 36
CAI point	1	16, 43, 26, 2, 1, 3, 34, 5, 4	3	3, 34
	2	24, 15, 14, 42, 25, 6, 9, 23, 46	24, 14	9, 24
	3	21, 33, 13, 18, 27, 8, 44, 35, 41	21, 35, 41	21, 41
	4	39, 17, 29, 30, 11, 12, 22, 31, 40	17, 30, 11	17, 39
	5	28, 37, 10, 36, 7, 45, 20, 32, 38, 19	19	19, 36

단위환경민감지수의 결과 그룹 1, 4에 3개의 측정망이 배치되어 있으며 그룹 2, 5에는 1개의 측정망, 그룹 3에는 2개의 측정망이 배치되어 있음을 알 수 있었다. 즉 상위등급인 그룹 5에 30번 격자 하나뿐이며, 나머지는 중위와 하위권에 분포하여 있는 것을 볼 수 있다. 단위환경민감지수만을 고려해 볼 때 기존 측정망은 두 그룹으로 치중 되어 인구수, 자연환경 등을 고려한 기존측정망의 신규배치가 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 격자별 배출량의 오분위수 분석결과 그룹 5에 1개의 자동측정망이 설치 되어있으며, 그룹3과 그룹 4에 7개의 자동측정망이 중점적으로 설치되어 있었다. 배출량기준으로 대기오염자동측정망의 위치를 평가 하였을 때 격자별 배출량을 고려하지 못한 위치 선정으로 생각된다. 격자별 CAI 점수는 대부분의 기존 측정망이 중위 그룹인 2, 3, 4에 배치되어있다. 그러나 상위 범주에는 단 하나의 측정망이 배치되어있는 것을 볼 수 있다. CAI 점수가 높은 지역은 대기오염물질에 따른 인체영향이 클 곳으로 사료되는 지역으로 자동측정망이 배치되어야 할 것으로 생각된다.

대기오염자동측정망의 위치를 선정하기 위해서는 위의 결과에서처럼 하나의 속성을 택하여 신규배치 지역을 설정시 문제가 있음을 알 수가 있었다. 따라서 인구수, 지역의 환경특성, 배출량, 대기오염물질농도 등을 다각적으로 분석해야 한다. 이를 위해 단위환경민감지수, 배출량, CAI를 표준화하여 종합적 평가 자료로 활용하였다. 격자별 환경특성을 표준화하여 종합평가한 결과는 Table 6에 나타내었다. $W_p=P_j/P_t$, W_p는 격자별 인구수의 표준화 값, P_j는 j격자의 인구수, P_t 는 인구수 총합을 나타낸다. $W_E=E_{ji}/E_{ti}$, W_E 는 격자별 대기오염물질 배출량의 표준화 값, E_{ji} 는 j격자의 i 오염물질의 배출량, E_{ti} 는 i오염물질의 배출량의 총합이다. 그리고 ISC3 모델에서 예측된 격자별 대기오염물질별 농도에 따른 CAI 점수 역시 $W_c=C_j/C_t$ 식을 통하여 표준화 계산을 하였다. W_c 는 CIA 점수의 표준화 값을 나타내며 C_j 는 j격자의 CAI점수, C_t 는 CAI의 총합이다.

총 점수의 합계(T)를 오분위수로 분석하면 그룹 1은 9, 26, 25, 16, 5, 23, 43, 4, 34, 그룹 2는 22, 6, 1, 41, 39, 15, 3, 46, 24, 그룹 3은 18, 17, 7, 14, 8, 40, 33, 35, 42, 그룹 4는 13, 44, 31, 21, 19, 38, 2, 11, 27, 그룹 5는 10, 28, 45, 37, 36, 12, 20, 29, 30, 32로 나타났다. 기존의 대기오염자동측정망과 비교시 그룹 1에는 0개소, 그룹 2는 3개로 41, 3, 24번 격자, 그룹 3은 17, 14, 35, 그룹 4는 21, 19, 11, 그룹 5는 30번 1개 격자로 나타나므로 그룹 2, 3, 4번에 기존 측정망이 집중되어 있는 것을 알 수 있었다. 총 점수의 합계(T)에서 높은 점수를 가지는 10, 28, 45, 37, 36번 격자에 현재 자동측정망이 설치되어 있지 않았다. T 값이 높을수록

Table 6. Results of standardization of population, emission rate, CAI point and unit environmental sensitivity index of each grid

Grid number	W_c*	W_e**				W_p***	G_n****	T*****
		CO	NO_x	SO_x	PM-10			
1	0.83	1.58	1.33	0.70	1.73	2.43	2.9	11.50
2	1.02	1.76	1.39	1.07	1.18	4.90	4.7	16.02
3	0.79	0.83	0.79	0.74	0.89	2.44	3.1	9.58
4	0.26	0.30	0.63	0.15	0.82	1.27	1.7	5.13
5	0.68	0.46	0.90	0.25	1.07	0.81	1.9	6.07
6	1.73	1.50	2.02	1.35	2.78	0.83	1.7	11.91
7	3.05	2.25	2.82	1.59	3.97	0.16	1.0	14.84
8	2.26	2.27	1.82	1.88	2.03	1.79	1.9	13.95
9	1.70	1.31	1.13	0.72	1.10	1.03	1.3	8.29
10	3.36	3.09	11.77	38.95	6.91	0.50	0.9	65.48
11	2.60	3.53	2.55	2.09	2.98	1.08	1.1	15.93
12	2.60	3.48	2.65	2.10	2.86	4.16	4.6	22.45
13	2.41	2.84	2.33	1.60	2.59	3.71	4.3	19.78
14	1.92	2.39	1.59	1.23	1.57	2.81	2.9	14.41
15	1.96	1.96	1.76	0.58	1.71	1.37	1.3	10.64
16	1.36	1.09	1.01	0.48	1.05	0.47	1.3	6.76
17	2.68	2.89	2.57	1.68	3.34	0.97	1.2	15.33
18	2.34	3.29	2.08	2.08	2.24	1.84	1.9	15.77
19	2.71	3.37	2.98	1.63	2.67	1.78	1.9	17.04
20	2.90	3.62	3.01	1.06	3.28	4.08	4.5	22.45
21	2.49	3.01	2.12	0.94	2.40	2.98	3.5	17.44
22	2.56	2.86	2.42	0.51	2.26	0.53	1.1	12.24
23	1.55	0.27	0.95	0.10	0.30	0.94	1.4	5.51
24	2.00	0.85	1.08	0.41	1.04	1.94	2.1	9.42
25	1.89	0.98	1.12	0.44	0.91	1.00	1.2	7.54
26	1.09	1.18	1.14	1.06	1.34	0.96	1.5	8.27
27	2.30	2.25	2.16	2.74	2.57	1.83	2.0	15.85
28	3.96	4.28	4.40	2.84	5.18	4.25	4.4	29.31
29	2.68	3.09	3.38	3.12	3.06	3.04	3.7	22.07
30	2.68	2.63	2.80	2.09	2.36	3.59	4.5	20.65
31	2.56	3.11	1.88	1.20	2.15	3.05	3.5	17.45
32	2.87	4.13	2.75	1.09	3.47	2.77	2.9	19.98
33	2.45	2.22	1.47	0.67	1.53	2.64	2.7	13.68
34	0.79	0.10	0.36	0.21	0.13	0.96	1.7	4.25
35	2.19	2.55	1.87	1.33	2.65	1.12	1.2	12.91
36	3.21	3.25	5.09	4.71	3.75	1.40	1.1	22.51
37	3.47	3.58	3.58	3.96	3.66	4.37	4.4	27.02
38	2.87	2.72	1.83	2.04	2.35	2.17	2.9	16.88
39	2.71	1.58	1.10	0.31	1.28	1.74	2.3	11.02
40	2.53	1.84	1.65	0.49	1.53	2.58	3.1	13.72
41	2.15	2.34	1.83	0.96	1.69	1.23	1.1	11.30
42	1.92	0.93	1.37	0.22	1.08	3.41	3.7	12.63
43	1.28	0.53	0.63	0.67	0.87	0.56	0.9	5.44
44	2.26	1.38	1.70	2.55	1.64	4.79	4.3	18.62
45	2.94	4.17	3.84	3.21	3.72	4.70	4.5	27.08
46	1.43	0.35	0.32	0.23	0.31	3.03	3.9	9.57

* W_c = standardized CAI point
** W_e = standardized emissions of air pollutants
*** W_p = standardized population
**** G_n = Unit environmental sensitivity index
***** $T = W_c + W_e + W_p + G_n$

고농도의 대기오염물질의 영향이 클 것으로 생각되며, 대구지역 자동측정망의 위치를 이들 지역으로 이전 설치 및 관리가 필요할 것으로 사료된다.

3.4. 시나리오별 자동측정망의 위치 선정

단위환경민감지수, 대기오염물질 배출량 및 CAI점수의 표준화 총합계인 T값을 중심으로 3가지 신규배치 시나리오를 구성하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 (a)는 기존의 측정망의 분포를 나타내었으며, (b), (c), (d)는 3가지 시나리오에 의해 신규배치 분포한 것이다. (b)에서는 T값이 높은 그룹 5번을 중심으로 신규배치 후 중복성이 있는 측정소에 대하여 그룹 4번, 그룹 3번의 격자로 이전하여 2, 10, 14, 24, 28, 30, 32, 35, 42, 45격자로 배치하였다. 그룹 5번에 속하는 측정망은 5개, 그룹 3번은 3개, 그룹 4번과 2번에 각각 1개의 측정소가 배치되었으며, 이 시나리오는 높은 배출량과 고농도의 대기오염물질의 관리에 용이하며, 인구 및 자연환경에 대한 대기오염물질의 피해를 예방할 수 있는 시나리오이다. 그러나 신규배치 측정소의 오염물질의 평균 농도가 전체의 오염물질 평균농도 보다 높게 나타나므로 대표성이 다소 떨어지는 경향이 있다. Fig. 3의 (c)시나리오의 경우 T값의 오분위수 나눈 그룹에 골고루 분포하기 위하여 각 그룹 마다 2개씩 1, 7, 9, 10, 18, 23, 28, 31, 41, 44번 격자에 배치하였다. 전체 오염물질의 농도와 신규배치 측정망의 평균 농도를 비교시 큰 차이를 보이지 않고 있는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 3의 (d)의 경우 T값의 평균을 중심으로 정규분포 되도록 그룹 3에 4개의 측정망, 그룹 2번, 4번에 2개 그리고 그룹 1번과 5번에 각각 1개의 측정망을 분포하여 1, 5, 7, 14, 18, 24, 28, 38, 40, 44번 격자에 분포하였다. (d) 시나리오는 전체 오염물질별 평균농도와 가장 유사하게 나타났다. 세 가지 시나리오를 보면 28번, 44번, 45번 격자인 달서구 지역에 신규배치가 되는 경향이 있다. 이는 기존 측정망에는 설치가 되어 있지 않은 곳으로 대규모 주거단지가 형성되어 대기질 관리가 필요한 지역으로 신규배치가 이루어 졌음에 판단되어진다. 세 가지 시나리오에 따른 신규배치에서 (d)의 신규배치의 경우 전체 평균농도치와 유사하며, 종합적인 환경특성을 고려한 시나리오라 판단되며 측정망의 측정거리인 4 km

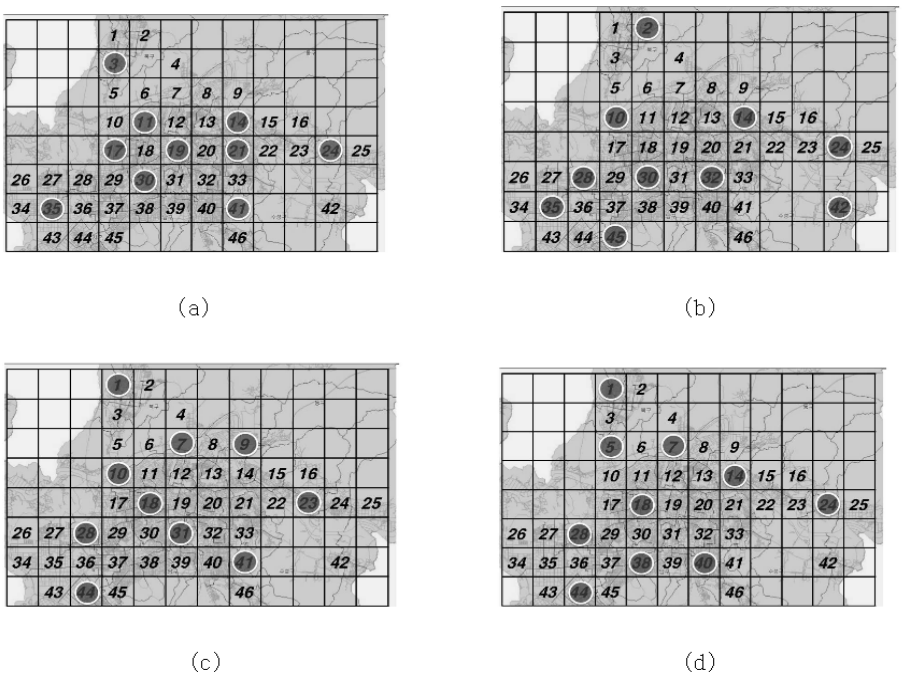

Fig. 3. Location of a current monitoring network(a) and three scenarios of alternative monitoring network(b,c,d).

를 적용하면 중복성을 최소화 하며, 가장 넓은 측정 지역을 가질 것이라 판단된다.

또한 예측된 CAI값을 기존측정망과 3개의 시나리오별로 빈도분석 하여 히스토그램과 함께 Fig. 4에 나타내었다. 기존측정망 (a)의 경우 CAI값이 58.9±15.5, (b)의 경우 68.4±22.2 (c)의 경우 63.0±15.5 (d)의 경우 59.5±26.1로 d의 경우 CAI값 농도 분포가 정규분포에 가장 가까웠으며 기존측정망과 비교시 평균값은 약간 상회하였으나 첨도가 0.172 왜도가 -0.126으로 농도분포가 골고루 퍼져있음을 알 수 있었다. 대기측정망 기본계획에 따르면 도시대기측정망의 경우 인구 10만 이상 도시에 설치함을 원칙으로 하나 인구 10만 미만인 도시라도 공업시설을 포함하고 있어 대기질 악화가 우려되거나 유동인구가 많은 경우에는 측정망을 설치할 수 있도록 되어 있다. 2개 이상의 측정소를 설치할 경우에는 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 용도지역별로 설치해야 하며 이때 고농도 지역과 저농도 지역을 고려한다면 정규분포적 농도분포를 갖는 것이 가장 적절할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 대구지역 대기자동측정망의 대기오염도 현황을 분석하여, 인구와 환경특성 분석 및 발생원 평가, 대기오염물질별 최고농도에 의한 CAI 평가, 종합적 격자별 요인분석을 통해 대기오염 자동측정소의 배치를 위한 연구를 실행하였다.

본 연구의 결과는 첫째, 환경 특성 분석에서 인구수가 많고 가중점수총합이 높은 2번, 44번, 45번 격자에 자동측정망 배치의 필요성이 나타났으며, 격자별 대기오염 배출량 분석을 통하여 10번, 28번, 36번, 45번 격자에 대기 오염물질의 배출량이 높으나 측정망이 설치가 되어있지 않아 측정망의 설치가 필요하며, 예측농도 분석의 결과로는 CAI점수가 가장 높은 28번 격자 및 7번, 10번, 36번, 37번, 45번 격자에 자동측정망의 설치가 필요하다고 사료된다.

둘째, 오분위수를 이용한 환경특성분석으로 기존의 측정망의 배치가 적절하게 설치되지 못한 것을 알 수 있었으며, 또한 각 속성별 특성에 따라 신규배치 한

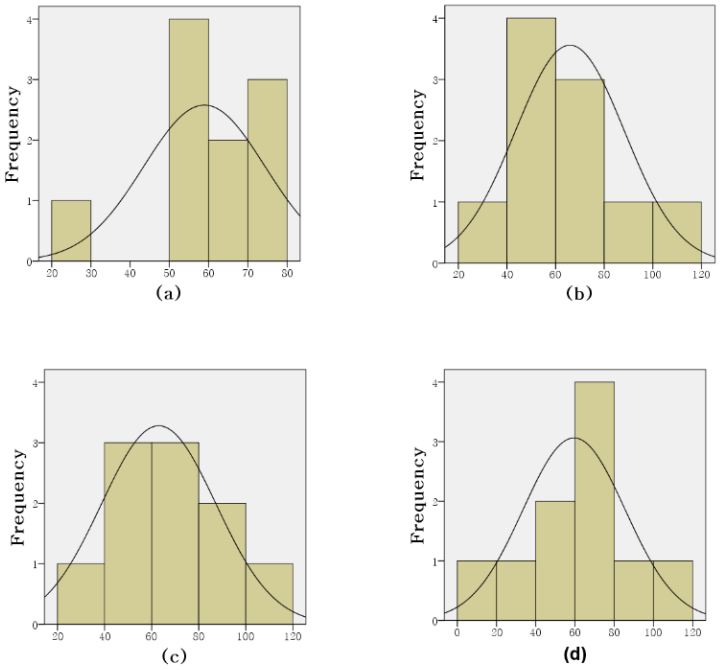

Fig. 4. Histogram of CAI value with normal curve of a current monitoring network(a) and three scenarios of alternative monitoring network(b,c,d).

결과로 모든 환경특성과 지역의 대표성이 고려되어 설치하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 격자별 환경특성 종합평가에서 10번, 28번, 36번, 37번, 45번 격자에 자동측정망의 설치가 필요한 것으로 나타났다. 또한 총 점수합계(T) 값을 기준으로 3가지 시나리오를 제안하였으며 모든 환경특성 및 대기오염물질의 배출량과 농도를 고려하여 신규 배치한 경우 (d)시나리오가 가장 적합할 것으로 생각된다.

본 연구는 인구수, 단위환경민감지수, 대기오염물질의 배출량 및 격자별 농도를 분석하여 자동측정망의 배치 신뢰도를 높였다. 그러나 격자별 분석에 사용된 농도 값이 대기오염모델에 의한 예측농도이므로 실측농도간의 차이를 보일 것으로 사료된다. 특히 대구시와 같이 복잡한 인공구조물과 지형을 갖는 도시의 대기오염 유동장을 다루려면 도시경계층 내의 바람을 고해상도로 관측하거나, 고해상도의 기상순환모델을 활용하여 예측농도와 실측농도간의 차이를 줄여야한다. 하지만 이를 위해서 많은 예산과 인력 및 기술력이 요구되어지므로 본 연구의 한계성으로 남는다. 따라서 대기오염모델링 예측치의 신뢰도를 높일 수 있는 방법과 대기오염물질의 실측을 통해 선정된 자동측정망 지역의 대표성 및 타당성 검증이 향후 연구로 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

대구시, 2008, 제48회 대구통계연보.

정장표, 2000, 환경오염물질의 시공간적 특성평가시스템개발, 2000년도 산학연 컴소시엄 연구개발보고서, 경성대학교 산학연 컴소시엄센터.

환경부, 2005, 2006-2010 대기오염측정망 기본 계획 .

Inyang, H. I., Fisher, G. F., Mnamalu, G. E., 2003, A quantitative methodology for indexing environntal sensitivity and pollution potential, Environ. Monit. Assess., 84, 159-173.

Kao, J. J., Hsieh, M. R., 2006, Utilizing multi objective analysis to determine an air quality monitoring networking an industrial district, Atmos. Environ., 40 1092-1103.

Kim, Y. S., Son, J. E., 1992, Modeling of SO2 distributions in the seoul area by using ISCLT, J. KAPRA., 8(2), 128-137.

Kim, M. K., Lee, H. W., Dou, W. D., Jung, W. S., 2009, An analysis of wind field around the air quality monitoring station in the urban area by using the Envi-met Model, J. Environ. Sci., 18(9), 941-952.

Munn, R. E., 1981, The design of air quality monitoring networks, Macmillan Publishers Ltd., London.

Oh, K. S., Kwon, O. K., 2001, Developing a Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MC-SDSS) for analyzing the suitability of waste landfill sites, J. GISAK., 9(2), 227-238.

Park, O. H., Park, S. Y., 1998, Application of semi - variogram and cumulative semi-variogram to understand the characteristics of atmospheric dispersion, J. KSEE., 20(1), 67-82.

Park, O. H., Shin, J. Y., Seok, M. G., 2007, Improvement of atmospheric pollution prediction in coastal area using a "GIS-based decision support system", to be published.

Yoo, E. C., Park, O. H., 2007 Optimization of air quality monitoring networks in Busan using a GIS based Decision support system, J. KOSAE., 23(5), 526-538.