

국내 시간별 대기환경지수 방법의 문제점과 개선 방안

Korean HAEI Method-a Critical Evaluation and Suggestions

백 성 옥* · 이 여 진 · 박 대 권
영남대학교 건설환경공학부 대기환경연구실
(2006년 4월 29일 접수, 2006년 6월 14일 채택)

Sung-Ok Baek*, Yeo-Jin Lee and Dae-Gwon Park
School of Civil and Environmental Engineering, Yeungnam University

(Received 29 April 2006, accepted 14 June 2006)

Abstract

The air quality index (AQI) is an index for reporting daily or hourly air quality to the general public. The AQI focuses on health effects that can happen within a few hours or days after breathing polluted air. Many countries have their own AQI reporting systems, and the HAEI (hourly air environment index) method is now being used in Korea. In this study, in order to compare the AQI results from different methods, we applied three methods, i.e. US AQI, Canadian AQI, and Korean HAEI, to the same air quality data-base. The data-base was constructed from 10 monitoring sites in Gyeong-buk province for the last four years since 2000. Based on the results, a critical evaluation of the Korean HAEI method was made, and a number of suggestions and recommendations were presented to improve the AQI reporting system in Korea.

Key words : AQI, HAEI, Air Quality Standards, PM10, Ozone, Sulphur dioxide, NOx, CO

1. 서 론

대기질지수(Air quality index 이하, AQI)는 공기가 얼마나 오염되어 있는지를 표준화된 지수로 나타내어 비전문가인 주민이 쉽게 이해할 수 있도록 하며, 대기 중 오염물질이 부적절한 농도에 도달했을 때, 주민들이 취할 수 있는 행동강령을 제시하는데 그 목적이 있다(USEPA, 2000). AQI 방법의 효시는 1971년 미국 Oak Ridge 국립연구소에서 개발한 ORAQI(Oak Ridge Air Quality Index)로서 당시에는

여러 오염물질의 환경기준치를 기준으로 각 항목별 지수를 합산하는 개념으로 사용하였다. 그러나 각기 다른 특성을 갖는 오염물질에 대하여 그 영향을 서로 상쇄할 수는 없으므로 최근에 개발된 AQI는 공통적으로 그날의 가장 나쁜 항목이 당일의 AQI를 결정하는 방식을 취하고 있다.

현재 국외에서 사용 중인 지수들은 미국 EPA에서 사용하고 있는 6등급 AQI, 캐나다 앤버타 주의 4등급 AQI, 영국의 4등급 BI(band index), 프랑스의 6등급 ATMO Index, 일본의 6등급 AQI, 홍콩의 5등급 API 등이 있다. 프랑스와 일본, 홍콩 등은 그 분류체계가 대체로 미국식 방법과 대동소이하며 캐나다와 영국은 독자적인 4등급 체계를 사용하고 있다. 우리

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)53-810-2544, E-mail : sobaek@yu.ac.kr

나라의 경우 HAEI(Hourly Air Environment Index)라 하여 시간별 대기환경지수로 표현하는데, 환경부의 대기오염에 대한 적극적인 정책 반영 결과, 2005년 12월부터 'AirKorea'라고 하는 인터넷 웹페이지에 실시간 대기오염정도를 대기오염지도, 대기오염시계, 대기오염달력 등으로 표현하고 있다(국립환경과학원, 2005). 그러나 기존 대기환경지수(HAEI)는 인체 위해성을 고려하지 않고 단지 대기환경기준치에 대한 상대비율을 계산하는 방식이어서 체감오염도 평가의 실효성이 의문이 제기되고 있다. 따라서 정부의 적극적인 대기질 관리 정책과 국민의 높은 관심도를 고려할 때, 대기환경지수의 적합한 선정과 적용은 필수불가결한 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 2000~2004년간 경상북도에서 얻어진 기준성오염물질 농도자료를 한국의 HAEI, 미국

AQI, 캐나다 알버타 주의 AQI의 세가지 방식을 적용하여 각 방식으로 산정된 지수의 분포 특성을 비교·평가하였다. 이 자료를 바탕으로 기존 대기환경지수방법의 장·단점을 검토하고, 국내 대기환경지수 방법의 문제점을 비판적으로 고찰하여 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 경북지역 10개 측정지점의 과거 5년간 대기오염자료 D/B(백성우, 2006)를 이용하여 우리나라와 미국 및 캐나다 알버타 주의 AQI 산출방식을 적용하여 그 결과를 살펴 비교하였다. 참고로 한국과 캐나다의 경우는 매시간별 자료를 입력하여 각 항목별 AQI 값을 산출한 후 당일 중 가장 나쁜 AQI 값을 그날의 AQI 값으로 결정하게 되어 있으며, 미국은 오존은 8시간 평균치(혹은 지역에 따라 1시간 평균치)를 대상으로, 그리고 다른 항목은 모두 1일 평균치를 대상으로 각 오염물질별로 AQI 값을 산출한 후 가장 나쁜 값을 당일의 AQI 값으로 결정하도록 되어 있다(USEPA, 1999). 한편, 캐나다는 우리와 같이 시간별 자료를 대상으로 계산하는 것은 동일하나 미세먼지의 경우 PM_{10} 이 아닌 초미세먼지 ($PM_{2.5}$)를 입력하도록 되어 있다(Alberta Canada, 2005). 표 1에는 현행 우리나라 HAEI방법의 개요를

Table 1. Summary of the Korean HAEI method.

	HAEI less than value	20	20 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 90	90 ~ 97	97 ~ 100
Category	Very poor	Poor	Slightly poor	Modemate	Good	Very good	
HAEI calculation equation							
SO_2	$HAEI(SO_2)=100-50/0.15 \times 1 \text{ hour average } SO_2 (\text{ppm})$						
NO_2	$HAEI(NO_2)=100-50/0.15 \times 1 \text{ hour average } NO_2 (\text{ppm})$						
O_3	$HAEI(O_3)=100-50/0.10 \times 1 \text{ hour average } O_3 (\text{ppm})$						
CO	$HAEI(CO)=100-50/25 \times 1 \text{ hour average } CO (\text{ppm})$						
PM_{10}	$HAEI(PM_{10})=100-50/200 \times 1 \text{ hour average } PM_{10} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$						

Table 2. The USA AQI classification and breakpoints for the AQI.

Breakpoints								AQI	Category
O_3 8-hour	O_3 1-hour ¹⁾	$PM_{2.5}$ 24-hour	PM_{10} 24-hour	CO 8-hour	SO_2 24-hour	NO_2 1-hour			
0 ~ 64	1)	0 ~ 15	0 ~ 54	0 ~ 4.4	0 ~ 34	2)	0 ~ 50	Good.	
65 ~ 84	1)	15 ~ 40	55 ~ 154	4.5 ~ 9.4	35 ~ 144	2)	51 ~ 100	Moderate.	
85 ~ 104	125 ~ 164	40 ~ 65	155 ~ 254	9.5 ~ 12.4	145 ~ 224	2)	101 ~ 150	Unhealthy for sensitive groups	
105 ~ 124	165 ~ 204	65 ~ 150	255 ~ 354	12.5 ~ 15.4	225 ~ 304	2)	151 ~ 200	Unhealthy.	
125 ~ 374	205 ~ 404	150 ~ 250	355 ~ 424	15.5 ~ 30.4	305 ~ 604	0.65 ~ 1.24	201 ~ 300	Very unhealthy.	
³⁾	405 ~ 504	250 ~ 350	425 ~ 504	30.5 ~ 40.4	605 ~ 804	1.25 ~ 1.64	301 ~ 400		
³⁾	505 ~ 604	350 ~ 500	505 ~ 604	40.5 ~ 50.4	805 ~ 1004	1.65 ~ 2.04	401 ~ 500	Hazardous.	

¹⁾ Areas are generally required to report the AQI based on 8-hour ozone values. However, there are a small number of areas where an AQI based on 1-hour ozone values would be more precautionary. In these case, in addition to calculating the 8-hour ozone index value, the 1-hour ozone index value may be calculated, and the maximum of the two values reported.

²⁾ NO_2 has no short-term NAAQS and can generate an AQI only above an AQI value of 200.

³⁾ 8-hour ozone value do not define higher AQI values (> 301). AQI values of 301 or higher are calculated with 1-hour ozone concentrations.

Table 3. The Canadian AQI classification and calculation method in Alberta.

Index	0 ~ 25	26 ~ 50	51 ~ 100	100 or higher
Category	Good	Fair	Poor	Very poor
AQI calculation equations				
Parameter name	Concentration	Units	Formula	
Carbon monoxide	If ≤ 13	ppm	$AQI = 1.92 \times \text{Concentration}$	
	If > 13	ppm	$AQI = (1.47 \times \text{Concentration}) + 5.88$	
Ozone	If $\leq .05$	ppm	$AQI = 500 \times \text{Concentration}$	
	If $.05 < \text{Concentration} \leq .08$	ppm	$AQI = (833 \times \text{Concentration}) - 16.67$	
	If $> .08$	ppm	$AQI = (714 \times \text{Concentration}) - 7.14$	
Sulphur dioxide	All	ppm	$AQI = 147.06 \times \text{Concentration}$	
Nitrogen dioxide	If ≤ 0.21	ppm	$AQI = 238.09 \times \text{Concentration}$	
	If > 0.21	ppm	$AQI = (156.24 \times \text{Concentration}) + 17.19$	
Particulate matter (PM _{2.5})	If ≤ 30	µg/m ³	$AQI = 0.8333 \times \text{Concentration}$	
	If > 30	µg/m ³	$AQI = (0.5 \times \text{Concentration}) + 10$	

나타내었으며, 표 2와 3에는 미국과 캐나다 알버타 주의 AQI 산출 방식을 각각 나타내었다.

3. 경북지역 대기오염도 자료에 대한 평가

경북지역에는 2005년 12월 현재 11개 측정지점이 있으나 본 연구의 대상기간인 2001~2004년 시점에는 총 10개의 측정소가 설치되어 있었다. 원 계획은 과거 5년간의 자료를 대상으로 하였으나 2000년 자료의 경우 미세먼지 측정치 중 결측치가 너무 많은 관계로 D/B에서 제외하지 않을 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 D/B 검색은 5년간 자료를 대상으로 하였으나 AQI 지수 환산을 위한 D/B 자료는 전체 측정지점에서 동시에 자료가 확보된 2001년에서 2004년의 4년간의 자료를 대상으로 하였다.

과거 5년간의 약 20여만 개의 대기오염자료를 검색한 결과 몇가지 특징과 문제점을 발견할 수 있었는데, 자동 측정망에서 얻어지는 자료의 균질성(호환성)에 있어서 측정지점에 따라 편차가 심한 것을 알 수 있다. 특히 오존의 경우 표 4에 나타낸 일례와 같이 포항 장흥동에서 2000~2002년기간 중의 최소값이 1.0 ppb였으나, 2003년과 2004년의 경우 최소값이 8 ppb로 무려 7 ppb나 갑자기 증가하였으며, 평균치 역시 같은 기간 중 23 ppb에서 30 ppb로 7 ppb가 증가한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 갑작스럽게 이 지역의 오존 농도가 7 ppb나 상승할 이유가 없으므

Table 4. An example of air quality data-base examinations-in the case of Jangheong-dong in Pohang.

Year	Statistics	SO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
2000	Data	7,856	8,502	8,227	8,289	629
	Effect. (%)	89.4	96.8	93.7	94.4	7.2
	Average	9.2	23.2	27.6	0.9	69.8
	Maximum	77.0	109.0	133.0	3.7	287.0
	Minimum	1.0	2.0	3.0	0.1	11.0
2001	Data	8,613	8,440	8,544	8,632	7,743
	Effect. (%)	98.3	96.3	97.5	98.5	88.4
	Average	8.4	23.1	23.8	0.9	61.7
	Maximum	68.0	98.0	111.0	4.0	495.0
	Minimum	1.0	1.0	4.0	0.1	8.0
2002	Data	8,325	8,564	8,520	8,372	8,326
	Effect. (%)	95.0	97.8	97.3	95.6	95.0
	Average	9.2	23.3	27.5	0.7	68.1
	Maximum	87.0	97.0	100.0	4.4	1079.0
	Minimum	1.0	1.0	5.0	0.1	3.0
2003	Data	8,279	8,526	8,532	8,336	7,797
	Effect. (%)	94.5	97.3	97.4	95.2	89.0
	Average	11.1	29.5	25.8	1.1	72.0
	Maximum	87.0	116.0	148.0	7.1	631.0
	Minimum	1.0	8.0	3.0	0.1	6.0
2004	Data	8,333	8,513	8,513	8,323	8,119
	Effect. (%)	94.9	96.9	96.9	94.8	92.4
	Average	13.1	29.5	32.8	1.0	74.6
	Maximum	110.0	119.0	100.0	4.6	642.0
	Minimum	1.0	8.0	3.0	0.1	4.0

로, 자동측정기기의 보정과정에서 7 ppb라는 편차가 생긴 것으로 추정된다. 이외에도 미세먼지나, 일산화

탄소, 이산화질소 등에서도 부분적으로 분포함수개형이 매우 불규칙적으로 나타나는 것으로 미루어 볼 때, 측정장비의 유지관리 및 보정 유무에 따라 대기오염도 자료의 측정신뢰도에 문제가 있음을 추정할 수 있다.

4. 각국의 AQI 방법 적용 결과 비교

경북지역에서 얻어진 동일한 대기오염도 자료에 위의 세 가지 방법을 각각 적용하여 각 지점별로 4년간의 HAEI 값을 매 시간별 자료로 먼저 산출하고, 각 항목별로 분류등급에 따라 6단계로 분류하였다. 이렇게 계산된 결과를 바탕으로 각 항목별로 ‘매우 좋음’에서 ‘매우 나쁨’의 각 등급별로 분류된 상대 빈도를 전체자료를 대상으로 분석하였다. 같은 방법으로 미국과 캐나다 방식을 적용하여 계산을 반복하였으며, 그 결과를 한국식 HAEI의 결과와 비교하였다. 자료가 방대한 관계로 표 5에는 포항시의 자료에 대하여 세가지 방식을 적용한 결과를 예시하였다.

이들 결과를 종합해 볼 때, 경북지역은 오존과 미세먼지를 제외한 연료 연소관련 가스상 오염물질의 경우는 대체로 90% 이상이 보통 보다 좋은 상태를 보여 전반적으로 양호한 수준을 나타내었다. 그러나 미세먼지는 지역에 따라 공단지역에서는 약 25~30% 수준이 ‘약간 나쁨’, ‘나쁨’, ‘매우 나쁨’과 같은 불량한 상태로 나타났으며, 주거와 상업지역에서도 10~25% 빈도로 보통보다 나쁜 상태인 것으로 조사되었다. 따라서 미세먼지는 연료연소 뿐만 아니라 토사 등의 비산먼지에서도 영향을 받으므로 경북지역 전체에서 가장 시급한 대책을 수립하여야 할 항목으로 보아진다.

한편, 여름철에 집중적으로 상승하는 오존의 경우 주거와 공업 등 토지용도와는 무관하게 광역적으로 오염현상이 유사한 경향을 보이고 있는데, 바닷가에 인접한 포항 대도동에서 시간대별 측정 빈도 측면에서 약 25% 정도가 보통 보다 나쁜 상태인 것으로 나타나 가장 오존오염이 심한 것으로 판정되었으며, 다른 지역도 10~25% 수준의 빈도로서 보통보다 나쁜 상태인 것으로 나타났다. 오존의 고농도가 하절기에 집중되어 있다는 점을 감안하면, 5~9월의 하절기 기간의 약 절반 정도가 오존오염이 적정수준을 지키

지 못하고 있다는 사실을 알 수 있다. 그러나 같은 자료를 다른 나라의 분류체계를 적용했을 때는 그 결과에 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 미국과 캐나다 식으로 분류하면, 미세먼지에 의해 오존과 이산화질소는 우리나라 분류체계가 너무 민감하게 되어 있는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 항목별 AQI 산정 결과에 대한 비교 결과가 당일의 AQI 산정 결과와 반드시 일치하지는 않을 수 있다. 그 이유는 5가지 오염물질에서 가장 나쁘게 나타난 항목에 대한 지수 값이 곧 그날의 AQI 값으로 결정되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 각 항목별 산출된 AQI 값을 토대로 매일의 AQI 값을 결정하게 한 주요 오염물질의 선정빈도를 각 방법별로 비교하였다(표 6). 일례로서, 표 6에 수록된 자료 중 포항 장흥동의 오존의 선정 빈도가 37.64%라는 의미는 4년간 약 35,000여개의 시간별 측정 자료를 대상으로 오존에 대한 AQI 값을 계산하고, 그 값이 그날의 AQI 값으로 채택된 빈도가 4년(1,460일)중의 37.64%인 550일에 해당된다는 의미이다. 같은 방식으로 미세먼지의 경우 50.62%라는 뜻은 1,460일 중 739일이 미세먼지로 인해 AQI 값이 가장 나쁜 것으로 결정되었다는 사실을 나타낸다.

한편, 표 6에 나타낸 미국식과 캐나다식의 계산결과는 경북지역 대기오염도 자료를 만약 미국이나 캐나다 방식으로 평가한다는 가정 하에 계산된 결과를 토대로 당일의 AQI 결정에 채택된 오염물질의 선정 빈도를 각각 계산한 결과이다. 캐나다의 경우 미세먼지는 PM_{10} 이 아닌 $PM_{2.5}$ (초미세먼지)를 입력하도록 되어 있는데, 우리나라에서는 아직 초미세먼지에 대한 기준도 설정되어 있지 않을 뿐 아니라 측정도 되지 않고 있다. 따라서 비교 목적에서 일단 국내 PM_{10} 측정치의 50% 값이 $PM_{2.5}$ 수준일 것으로 가정하고 (백성옥 등, 2002) 미세먼지 측정치의 절반 값을 입력하였다. 표 6의 결과를 요약하여 세 가지 방식의 AQI 산정 결과를 항목별, 지점별로 비교한 결과는 그림 1에 나타내었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 AQI 산정 방식에 따른 몇 가지 특징을 발견할 수 있다. 첫째, 어느 방식을 사용하던지 AQI 결정에 가장 중요한 오염물질은 미세먼지인 것으로 나타났다. 경북 지역 10개 측정지점을 대상으로 계산해 본 결과 한국식 방식은 평균 42.38%, 미국식에 의하면 평균 83.50%, 캐나다식은

Table 5. Comparison of AQI classification for each pollutant by Korean HAEI, US AQI, and Canadian AQI methods-an example of applications to the air quality data in Pohang.

	Site	Pollutant	Missing data (%)	Very good (%)	Good (%)	Fair (%)	Slightly poor (%)	Poor (%)	Very poor (%)	Number of data			
Korean HAEI method	Jangheung	SO ₂	4.32	52.18	39.79	3.63	0.08	0.00	0.00	35064			
		O ₃	2.91	3.66	29.53	48.60	15.27	0.03	0.00				
		NO ₂	2.72	1.27	59.23	35.88	0.90	0.00	0.00				
		CO	4.00	85.03	10.95	0.02	0.00	0.00	0.00				
		PM ₁₀	8.78	2.72	20.67	40.55	25.60	1.20	0.48				
	Jukdo	SO ₂	1.62	68.85	28.80	0.64	0.09	0.00	0.00	35064			
		O ₃	0.96	6.96	32.61	47.58	11.86	0.03	0.00				
		NO ₂	4.73	4.41	51.75	33.97	5.13	0.01	0.00				
		CO	1.01	96.61	2.36	0.02	0.00	0.00	0.00				
		PM ₁₀	8.24	4.78	39.48	30.83	15.49	0.87	0.30				
	Daedo	SO ₂	5.69	72.93	20.62	0.74	0.02	0.00	0.00	35064			
		O ₃	2.86	2.69	25.62	44.14	24.63	0.06	0.00				
		NO ₂	3.47	1.95	57.32	33.25	4.01	0.00	0.00				
		CO	4.26	90.97	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00				
		PM ₁₀	6.01	0.90	20.32	50.15	21.97	0.38	0.26				
USA AQI method	Jangheung	Site	Pollutant	Missing data (%)	Less than break-point (%)	Above than break-point (%)	Good (%)	Moderate (%)	Unhealthy for sensitive groups (%)	Unhealthy (%)	Very unhealthy (%)	Hazardous (%)	Number of data
		Jangheung	SO ₂	1.44	0.00	0.00	98.02	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	1461
		Jangheung	O ₃	1.30	0.00	0.00	97.74	0.89	0.07	0.00	0.00	0.00	
		Jangheung	NO ₂	0.75	99.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Jangheung	CO	1.51	0.00	0.00	98.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Jukdo	Jukdo	PM ₁₀	4.18	0.00	0.00	36.41	57.63	1.44	0.07	0.07	0.21	1461
		Jukdo	SO ₂	0.14	0.00	0.00	99.79	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Jukdo	O ₃	0.27	0.00	0.00	98.90	0.75	0.07	0.00	0.00	0.00	
		Jukdo	NO ₂	3.29	96.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Jukdo	CO	0.27	0.00	0.00	99.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Daedo	Daedo	PM ₁₀	5.61	0.00	0.00	62.29	30.05	1.71	0.21	0.00	0.14	1461
		Daedo	SO ₂	2.53	0.00	0.00	97.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Daedo	O ₃	0.75	0.00	0.00	95.82	3.08	0.34	0.00	0.00	0.00	
		Daedo	NO ₂	0.96	99.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Daedo	CO	1.44	0.00	0.00	98.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Canadian AQI method	Jangheung	Site	Pollutant	Missing data (%)	Good (%)	Fair (%)	Poor (%)		Very poor (%)	Number of data			
		Jangheung	SO ₂	4.32	95.68	0.00	0.00		0.00	35064			
		Jangheung	O ₃	2.91	92.86	4.04	0.19		0.00				
		Jangheung	NO ₂	2.72	97.27	0.01	0.00		0.00				
		Jangheung	CO	4.00	96.00	0.00	0.00		0.00				
	Jukdo	Jukdo	PM _{2.5}	8.78	49.81	38.30	2.77		0.33	35064			
		Jukdo	SO ₂	1.61	98.39	0.00	0.00		0.00				
		Jukdo	O ₃	0.96	95.89	3.05	0.09		0.00				
		Jukdo	NO ₂	4.73	95.05	0.21	0.00		0.00				
		Jukdo	CO	1.01	98.99	0.00	0.00		0.00				
	Daedo	Daedo	PM _{2.5}	8.24	66.58	22.74	2.23		0.21	35064			
		Daedo	SO ₂	5.69	94.31	0.00	0.00		0.00				
		Daedo	O ₃	2.86	88.19	8.45	0.50		0.00				
		Daedo	NO ₂	3.47	96.51	0.02	0.00		0.00				
		Daedo	CO	4.26	95.74	0.00	0.00		0.00				
		Daedo	PM _{2.5}	6.01	53.83	38.89	1.06		0.21				

Table 6. Selection frequencies of individual pollutants to decide a final AQI value for a certain day.

Method	Site	Missing data (%)	SO ₂ (%)	O ₃ (%)	NO ₂ (%)	CO (%)	PM ₁₀ (%)
Korean HAEI	Pohang	Jangheung-dong	1.98	0.37	37.64	10.21	0.01
		Jukdo-dong	0.45	0.18	44.14	22.78	0.00
		Daedo-dong	2.34	0.12	46.60	12.07	<0.01
	Gumi	Gongdan-dong	0.93	0.02	29.08	16.46	0.00
		Wonpyeong-dong	2.27	0.29	40.12	31.99	0.05
		Hyeunggok-dong	1.72	0.08	42.96	13.99	0.00
	Gyeongju	Gimcheon	0.58	0.03	39.81	13.79	0.05
		Pyunghwa-dong	2.56	0.13	42.38	18.17	0.00
		Seungkeun-dong	1.68	0.08	42.98	11.49	0.01
		Yeongju	8.26	0.05	38.20	4.37	0.04
	Average		2.27	0.13	40.39	15.53	0.02
USA AQI	Pohang	Jangheung-dong	0.55	0.55	5.75	0.00	0.00
		Jukdo-dong	0.00	0.48	22.72	0.00	0.00
		Daedo-dong	0.41	0.14	11.64	0.00	0.00
	Gumi	Gongdan-dong	0.14	0.68	6.64	0.00	0.21
		Wonpyeong-dong	0.75	1.23	30.60	0.00	1.37
		Hyeunggok-dong	0.55	0.07	11.09	0.00	0.21
	Andong	Gimcheon	0.00	0.21	8.90	0.00	1.85
		Pyunghwa-dong	1.37	0.07	18.75	0.00	0.21
		Seungkeun-dong	0.62	0.27	16.36	0.00	0.27
		Yeongju	7.34	0.00	13.20	0.00	0.39
	Average		1.17	0.37	14.56	0.00	0.45
Canada Alberta AQI	Pohang	Jangheung-dong	1.98	0.01	22.61	1.99	0.01
		Jukdo-dong	0.45	0.00	32.35	6.98	0.01
		Daedo-dong	2.34	0.03	25.72	1.15	0.03
	Gumi	Gongdan-dong	0.93	0.00	17.90	4.14	0.00
		Wonpyeong-dong	2.27	0.01	31.16	6.58	0.05
		Hyeunggok-dong	1.72	0.00	27.04	2.28	0.00
	Gyeongju	Gimcheon	0.58	0.00	23.13	2.08	0.15
		Pyunghwa-dong	2.56	0.09	29.68	4.08	0.00
		Seungkeun-dong	1.68	<0.01	28.49	1.40	0.00
		Yeungju	8.26	0.01	24.17	0.38	0.02
	Average		2.27	0.01	26.22	3.11	0.03

평균 68.55%로서 하루 중 AQI 결정에 가장 큰 영향을 주는 오염물질은 미세먼지인 것을 알 수 있었다. 두 번째 특징은 미세먼지 다음으로 중요한 항목은 오존인 것으로 나타났다. 오존 다음으로는 이산화질소가 선정 빈도가 높은 것으로 나타났으며, 한 때 대기오염의 대명사로 불리던 아황산가스는 어느 방식으로 계산하더라도 1% 이하로 선정되어 이제 더 이상 대기오염지수에 큰 영향을 주는 오염물질이 아닌 것으로 보아진다. 아황산가스와 함께 산업체와 주거 상업지역 난방연료 연소에서 많이 배출되는 일산화

탄소 역시 AQI 선정빈도가 4년간에 걸쳐 0.5%에도 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 국내의 경우 과거 10년간 꾸준히 도시지역 연료개선작업을 정책적으로 추진해온 결과인 것으로 사료된다. 따라서 향후 대기오염지수 산정에 있어서 아황산가스와 일산화탄소는 포함하지 않더라도 전체 지수 값의 크기와 경향에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되며, 오히려 계산절차만 복잡하게 할 가능성이 있다.

세 번째 특징은 우리나라의 경우 그날의 AQI 값 결정에 있어 오존의 선정 빈도가 미국식이나 캐나다

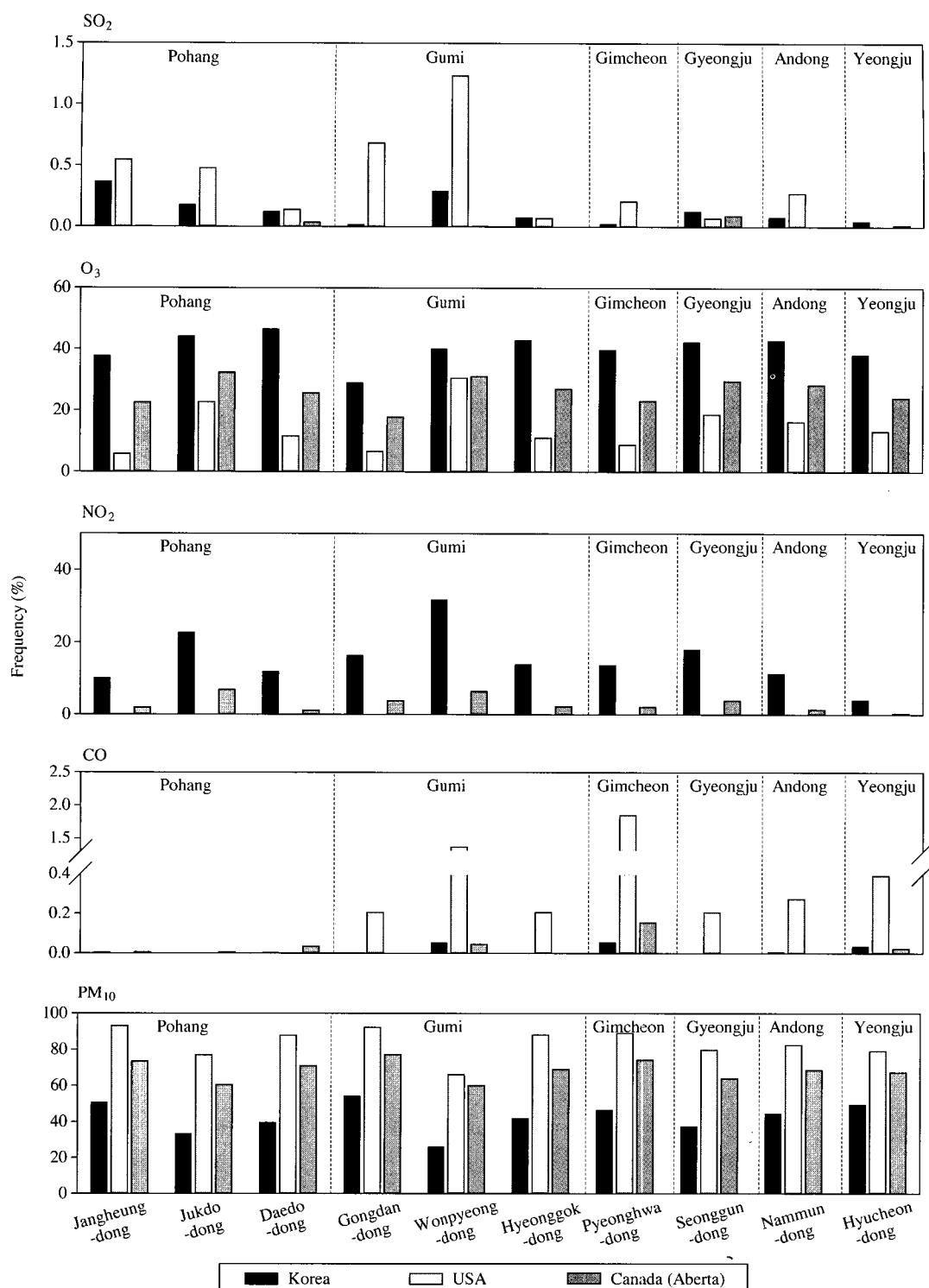


Fig. 1. Comparisons of selection frequencies of individual pollutants to decide a final AQI value for a certain day.

식에 비하여 약 1.5배에서 2배 정도 높게 나타나고 있다는 점이다. 이에 대한 이유는 두 가지로 설명할 수 있다. 첫째, 국내 AQI 산정식이 오존에 대하여 지나치게 민감하게 과대평가하고 있다는 점이다. 상대적으로 미세먼지에 대한 AQI 산출방식은 그 영향을 과소평가하는 경향이 있다. 두 번째는 AQI 산출방식의 문제와 함께 산출된 AQI의 분류체계에 있어서 오존에 대해서는 지나치게 민감하게(과대평가), 그리고 미세먼지에 대해서는 지나치게 둔감하게(과소평가) 등급이 매겨져 있다는 사실이다. 많은 연구에서 대기오염으로 인한 인간 사망률(mortality)에 가장 큰 영향을 주는 기준성 오염물질은 미세먼지라고 알려져 있다(WHO, 1997). 따라서 국내의 HAEI 산정방식과 분류등급체계는 오존과 미세먼지의 영향을 단순히 환경기준치와 산술적으로 비교하는 수준이며, 실제 오염물질의 특성에 따른 인체 위해성을 고려한 등급체계로 보기是很 어렵다.

5. 각국의 대기오염지수 분류체계의 비교 평가

각국의 AQI 산출식의 결과에 대한 비례(혹은 반비례)관계를 파악하기 위하여 우리나라와 같이 시간별 자료를 사용하는 캐나다 AQI 값과 우리나라 HAEI 값과의 관련성을 분석하였다. 한국의 HAEI 계산 결과는 캐나다의 계산결과와 대체로 선형적인 반비례관계를 매우 양호하게 ($r=0.99$) 나타내었다. 반비례 관계가 나타난 이유는 캐나다는 점수가 높을수록 대기질이 나쁘다고 분류하며, 한국식은 점수가 100에 가까울수록 좋다고 분류하는 차이에서 기인된다. 따라서 우리나라의 대기오염지수 산정식 자체에 큰 문제가 있다고 볼 수는 없으며, 단지 계산된 AQI 값에 대한 6단계 분류체계가 미국이나 캐나다에 비해서는 상당한 차이가 있으며, 결과적으로 대기질 상태에 대한 좋고 나쁨에 대한 판정 결과 역시 과대평가 혹은 과소평가하는 경향을 유발하고 있다고 보아진다. 이러한 문제점을 파악하기 위하여, 실제 대기오염 물질의 항목별 농도를 기준으로 한국과 미국 및 캐나다 방식의 분류체계에 대입하여 각국의 산정결과를 비교 평가하였으며 그 결과를 표 7에 나타내었다. 비교결과 아황산가스와 일산화탄소 등은 분류체계는

상이하지만 전체적으로 큰 영향을 미치지 않는 항목 이므로 고찰에서 제외해도 무방할 것으로 사료된다. 따라서 오존과 미세먼지 및 이산화질소에 대해서만 각국의 분류체계를 고찰하고자 한다.

오존의 경우, 우리나라에서는 40 ppb 이하면 보통에서 좋은으로 분류하고 있으나, 미국은 8시간 평균치로서 84 ppb 이하를, 그리고 캐나다는 1시간 평균치로서 80 ppb 이하를 보통 혹은 좋은 상태로 분류하고 있다. 고농도의 경우는 비교적 비슷한 경향을 나타내고 있다. 특히 우리나라는 6 ppb 미만을 매우 좋은 상태로 판정하고 있는데, 이는 과학적 근거가 결여된 분류체계이다. 그 이유는 지표면 오존의 경우 평균 농도가 20 ppb로서 오염이 되지 않은 대기도 어느 정도의 오존은 함유하고 있는 것이 오히려 정상적인 환경상태이다. 그럼에도 불구하고 오존을 다른 일차오염물질과 같이 인위적 배출원에서 배출되는 오염물질인 것처럼 발생자체가 없는 것이 가장 최적인 상태로 판정기준을 만든 것은 매우 불합리한 방법이어서 향후 우선적으로 수정되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 이유에서 미국과 캐나다와 같이 우리보다 광화학적 오염의 피해를 심하게 받고 있는 나라에서 조차 65 ppb 이하 혹은 50 ppb 이하이면 정상적인 상태로 판정하고 있다는 점을 염두에 두어야 할 것이다. 특히 해변가 지역이나 삼림이 우거진 청정지역에서는 별다른 오염원이 없어도 지표면 대기 중 오존 농도가 40 ppb를 상회하는 경우가 많으므로 오존에 대하여 지나치게 민감한 판정기준을 설정하면 오히려 다른 오염물질에 대한 중요성이 감가되므로 전체적인 AQI 판정결과가 오도될 수 있는 문제점이 내재되어 있다.

이산화질소의 경우에도 우리나라의 분류체계가 일견 세밀한 것 같지만 미국과 캐나다에 비해 지나치게 과장되어 있다는 것을 알 수 있다. 이산화질소는 대기질 판정기준 5개 항목 중에서 인체 위해성이 비교적 낮은 항목으로서 미국의 경우에는 24시간평균치가 650 ppb 이하일 경우에는 어떤 인체 위해성을 판단할 근거가 없다고 분류된 항목이다. 그럼에도 불구하고 우리나라 분류체계는 60 ppb 이하의 단계를 3 단계로 세분하고 있으며 캐나다에 비해서도 그 농도가 지나치게 엄격한 수치를 적용하고 있다. 이러한 문제점은 오염물질의 인체 위해성을 상대적으로 고려하여 분류체계를 설정하지 않고 단지 오염물질의

Table 7. Comparison of AQI classification systems for Korea, USA and Canada.

Pollutant	Category	Korea HAEI (1-hour)	USA AQI			Alberta AQI (1-hour)
			24-hour	8-hour	1-hour	
SO_2 (ppb)	Very good	9 or less	35 or less	-	-	177 or less
	Good	9~30	-	-	-	177~340
	Fair	30~60	35~144	-	-	340~680
	Slightly poor	60~150	145~224	-	-	680 or higher
	Poor	150~240	225~304	-	-	-
	Very poor	-	305~604	-	-	-
	Hazardous	240 or higher	605~1004	-	-	-
O_3 (ppb)	Very good	6 or less	-	65 or less	-	50 or less
	Good	6~20	-	-	-	50~80
	Fair	20~40	-	65~84	-	80~150
	Slightly poor	40~100	-	85~104	125~164	-
	Poor	100~160	-	105~124	165~204	-
	Very poor	-	-	125~374	205~404	-
	Hazardous	160 or higher	-	-	405~604	150 or higher
NO_2 (ppb)	Very good	9 or less	-	-	-	110 or less
	Good	9~30	-	-	-	110~210
	Fair	30~60	-	-	-	210~530
	Slightly poor	60~150	-	-	-	-
	Poor	150~240	-	-	-	-
	Very poor	-	-	-	650~1240	-
	Hazardous	240 or higher	-	-	1250~2040	530 or higher
CO (ppm)	Very good	1.5 or less	-	4.5 or less	-	13.7 or less
	Good	1.5~5	-	-	-	13.7~30.0
	Fair	5~10	-	4.5~9.4	-	30.0~64.1
	Slightly poor	10~25	-	9.5~12.4	-	-
	Poor	25~40	-	12.5~15.4	-	-
	Very poor	-	-	15.5~30.4	-	-
	Hazardous	40 or higher	-	30.5~50.4	-	64.1 or higher
PM_{10} or $\text{PM}_{2.5}^{(1)}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Very good	12 or less	55 or less	-	-	30 or less
	Good	12~40	-	-	-	30~80
	Fair	40~80	55~154	-	-	80~180
	Slightly poor	80~200	155~254	-	-	-
	Poor	200~320	255~354	-	-	-
	Very poor	-	355~424	-	-	-
	Hazardous	320 or higher	425~604	-	-	180 or higher

¹⁾ for Alberta AQI.

대기환경기준치를 산술적으로 6등급으로 나누는 과정에서 발생한 것으로 보아지며, 이에 대한 전면 검토가 요망된다고 판단된다.

가장 문제가 되는 미세먼지의 경우는 미국은 24시간 평균치를 적용하고, 캐나다는 $\text{PM}_{2.5}$ 를 적용하고 있으므로 분류체계를 직접적으로 비교평가하기가 어려운 항목이다. 따라서 어떤 문제점을 명확하게 지적하기는 쉽지 않은 상태이며, 단지 1시간 평균치가 설정되지 않은 국내 실정에서 HAEI 계산과정에 적용

한 1시간 기준치는 일본의 경우($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 준용한 것으로서 그 타당성에 의문이 제기되기도 한다. 그러나 현실적으로 국내의 가장 심각한 대기오염문제가 미세먼지임을 감안할 때, 우리나라의 HAEI 분류체계는 오존과 이산화질소에 대하여 지나치게 엄격한 분류체계를 적용하고 있으며, 이로 인해 실제 미세먼지의 AQI 설정 범도가 상대적으로 떨어지게 되는 구조적인 모순점이 있다는 점을 지적하지 않을 수 없다.

결과적으로 우리나라 대기오염도 지수 방법은 AQI 산출방식(계산과정)에는 큰 문제가 없는 것으로 보아지나 계산된 AQI에 대한 분류 등급상에 큰 문제가 있는 것으로 결론지을 수 있다. 즉, 오존에 대해서는 지나치게 과대평가하고 있으며, 그 결과로 하루 중 가장 낮은 AQI값을 결정하게 하는 항목을 선정하는 과정에서 미세먼지는 오존에 순위가 밀려 그날의 AQI 결정 변수로 선정되지 못하게 되는 불합리한 점이 있다. 이러한 결과를 토대로 대기질 판정기준을 단순히 ‘좋다’ ‘나쁘다’라고 일반국민에게 발표할 경우 실제 일반 대중의 인체 위해성과는 동떨어진 정보를 제공할 수 있는 오류를 범할 수 있으므로, 측정 자료의 수집과 네트워크 운영과 같은 hardware적인 면의 중요함과 함께, 수집된 자료에 대한 분류체계를 개선하여 정확한 정보를 전달할 수 있는 software적인 측면의 방법 개선이 무엇보다 중요한 사안이라고 할 수 있다.

6. 대기오염 측정 자료에 대한 정도관리의 문제점

AQI 산정의 기본 입력 자료는 당일의 대기오염 농도 자료이다. 과거 5년간 경북지역에서 얻어진 약 20여만 개의 대기오염자료를 검색한 결과 자동 측정망에서 얻어지는 자료의 균질성(호환성)에 있어서 측정지점에 따라 편차가 심한 것을 알 수 있었다. 같은 장소라 하더라도 기기의 보정(calibration)에 의문이 제기되는 자료가 포함되어 있었다. 국내의 경우, 대기오염자동측정망의 경우 현재 수집된 자료에 대한 정보처리 및 홍보 측면에서의 시스템은 비교적 잘 계획되고 있다고 보아진다. 그러나 가장 중요한 현장에서의 측정 장비에 대한 보정과 점검에 대한 부분은 매우 취약한 실정에 있다. 더욱이 최근에 지방자치단체로 환경 업무가 이관되면서 장비의 유지 보수와 자료의 정도관리 등이 이원화되어 있다는 구조적인 문제점을 안고 있다.

대기오염 자동 측정 장비의 경우 무엇보다도 정기적인 기기의 보정이 가장 중요한데, 표준가스를 이용한 장비 교정은 특정 기관과 위탁계약을 통해 이루어지고 있어 경북지역과 같이 그 면적이 넓고 방대한 지역에서는 10여개의 측정소를 단시간에 모두 일

관성 있게 유지 관리한다는 것은 매우 어려운 과제일 수 있다. 실제 본 연구에서도 일부 자료에서 측정 기간에 따른 편차(bias)가 있는 것으로 추정되는 자료들을 발견 할 수 있었다. 결국 대기오염 측정 자료의 신뢰성을 제고하기 위해서는 측정과정 전반에 걸쳐 불확실성을 최소화할 수 있도록 세심한 주의를 기울인 실험계획을 수립하는 것이 최선의 접근방식이라고 할 수 있다. 즉, 자동측정기기의 교정 및 보정의 표준화와 정도관리(QC/QA) 및 통계처리와 자료의 문서화(documentation) 등과 같은 구성 단계들이 체계적으로 잘 설계되어 운용된다면, 대기환경 측정 자료의 타당성과 신뢰성이 확보될 것이다.

7. 결론 및 제언

본 연구에서는 한국과 미국 및 캐나다 알버타 주에서 사용하고 있는 세 가지 방식의 AQI 산정 결과를 비교 분석하였다. 우리나라 HAEI 방식의 분류등급은 미국이나 캐나다 방식에 비해 오존과 이산화질소에 대해서 지나치게 엄격하게(민감하게) 설정되어 있으며, 결과적으로 당일의 AQI 결정 항목으로서 미세먼지가 선정되는 빈도는 상대적으로 적게(둔감하게) 나타나는 것으로 파악되었다. 즉, HAEI 계산 방식에는 큰 문제가 없는 것으로 보아지나 계산된 AQI에 대한 분류 등급상에 문제가 있는 것으로 결론지을 수 있다. 따라서 국내 HAEI 분류체계 개선을 위하여 다음과 같은 몇 가지 제언을 하고자 한다.

첫째, 오존과 이산화질소에 대하여 분류등급 농도를 현실성을 고려하여 미국의 AQI 분류 등급 수준으로 완화할 필요가 있다. 둘째, 현재 가장 국내에서 문제가 되고 있는 항목인 미세먼지의 경우 등급을 강화하고, 궁극적으로는 건강 영향을 고려하여 초미세먼지($PM_{2.5}$)에 대한 상시 측정과 기준설정을 앞당길 필요가 있다고 사료된다. 셋째, 현재와 같이 단일 항목에 대한 평가 방법을 개선하여 대기오염 물질간의 상승작용(synergy effect)을 고려한 분류체계를 도입할 필요가 있다. 즉, 오존과 미세먼지의 농도를 같이 고려하여 가중치를 부가하거나 등급을 강화하는 방안을 고려할 필요가 있다. 넷째, 대기오염물질에의 노출시간의 영향을 반영하기 위하여 고농도가 지속된 시간(duration)을 고려하여 같은 농도라 하더라도 지

속시간의 상태에 따라 등급을 강화해 나가는 방안이 필요하다. 마지막으로 협행 6단계 분류체계를 ‘매우 좋음’과 ‘좋음’을 하나의 등급으로 단일화하여(대기 질은 좋은 것이 당연하기 때문이다) 5단계의 등급체계를 구성하는 것이 보다 단순 명료한 정보를 제공해 줄 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 경북지역환경기술개발센터의 2005년도 연구비 지원(과제번호 05-3-40-41-12)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

국립환경과학원 (2005) 실시간 대기환경정보 공개시스템.

<http://airmap.nier.go.kr/airinfo/>

백성옥 (2006) 경북지역 특성에 맞는 대기오염표준화지수 개발에 관한 연구, 경북지역환경기술개발센터 보고서 05-3-40-41-2, 84pp.

백성옥, 박지혜, 서영교 (2002) 실내·외 공기 중 부유먼지 측정방법 상호간의 비교평가-중량법을 대상으로, 한국대기환경학회지, 18(4), 285-295.

Alberta Canada (2005) Air Quality Index, <http://www3.gov.ab.ca/env/air/Ambientairmonitoring/airqualityindex.html>. (2005.8.13. accessed)

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2000) A Guide to Air Quality and Your Health, EPA-454/R-00-005.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1999) Air Quality Index Reporting; Final Rule, Federal Register, 64(149), 42530-42549.

WHO (1997) Guidelines for Air Quality, Geneva, WHO, 190pp.