

부산지역 해수욕장 개장시 교통량 변화에 따른 대기오염물질 배출량 및 농도 특성 분석

서우미 · 손장호* · 송상근¹⁾

동의대학교 환경공학과, ¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부
(2012년 7월 20일 접수; 2012년 8월 10일 수정; 2012년 8월 24일 채택)

Characteristics of the Emissions and Concentrations of Air Pollutants with Change in Traffic Volume during the Beach Opening Period in Busan

Woo-Mi Seo, Zang-Ho Shon*, Sang-Keun Song¹⁾

Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

¹⁾*Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

(Manuscript received 20 July, 2012; revised 10 August, 2012; accepted 24 August, 2012)

Abstract

The impact of a considerable increase in traffic volume on the emission and concentrations of air pollutants was investigated at three beaches (Haeundae (HB), Gwanganri (GB), and Songjeong (SB)) in Busan during beach opening period (BOP) in 2011. During the BOP, passenger car was the major vehicle type, followed by taxi, and van. CO was the major contributor of total air pollutant emissions followed by NO_x, VOC, and PM₁₀. For the temporal variation of the emission of air pollutants during the BOP, it was generally the highest in the afternoon followed by the evening and morning, except for SB. For the spatial variation of their emission, it was the highest at GB followed by SB and HB. The emissions of air pollutants during the BOP were generally higher than those during the Non-BOP, except for HB. In contrast, the significant impact of the traffic volume increase on the concentrations of air pollutants at monitoring sites near the three beaches during the BOP were not found compared to the Non-BOP due to the significant distances between monitoring sites of air pollutants and monitoring sites of traffic volume at the beaches.

Key Words : Beach opening period, Traffic volume, Road traffic emission, Air pollutant, Busan

1. 서론

우리나라 교통 분야에 있어 가장 큰 비중(전체의 약 80%)을 차지하는 것은 도로교통이다(MLTM(국토해양부): Ministry of Land, Transport and Maritime

Affairs, 2011). 1950년 자동차가 보급된 이후 자동차 산업의 발전은 경제성장에 크게 이바지해 왔으며, 1세대 1대의 마이카시대가 본격화 되면서 어느덧 자동차는 인간에게서는 없어서는 안 될 중요한 요소로 자리 잡았다. MLTM에서 조사한 우리나라 전체 자동차 등록대수를 보면, 2002년 1,395 만대에서 2011년 1,844 만대로 상승했으며, 전년대비 평균 50 만대 이상씩 증가하고 있다. 또한 급속히 증가하는 자동차의 교통량은 많은 다른 인위적 배출량 중에서 상대적

*Corresponding author : Zang-Ho Shon, Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea
Phone: +81-51-890-2078
E-mail: zangho@deu.ac.kr

로 높은 비중을 차지하고 있다. 2009년 기준, 대기오염물질의 연간 총 배출량은 3.6 Mt 이며 이 중에서 도로이동오염원의 배출량은 약 1.1 Mt 으로 전체의 약 31%를 차지하여 가장 많았으며, 유기용제 및 제조업 연소 등 나머지 오염원의 배출량은 15% 이하로 나타났다(NIER(국립환경과학원): National Institute of Environmental Research, 2011). 도로이동오염원의 주요 배출물질은 일산화탄소(CO)와 질소산화물(NO_x)이며 각각 55%와 35%로 가장 높은 비중을 차지하였다. 그 외 휘발성유기화합물(VOC), 미세먼지(PM) 등의 오염물질은 10% 이하로서 상대적으로 낮은 기여도를 보였다.

자동차에 의한 도로교통은 도시 대기오염의 주범인 동시에 다양한 대기오염물질(예, NO_x, CO, VOC 등)의 주요 도로이동오염원이다(Mayer, 1999; He 등, 2002; Tzirakis 등, 2006). 따라서 자동차수의 증가와 도로 정체 현상 등으로 인해 대기오염의 악화와 인체 위해는 물론 기후변화(예, 지구온난화)에까지 영향을 줄 수 있다(Uherek 등, 2010; Smit 등, 2010; Progiou와 Ziomias, 2011). 2005~2009년 동안 유럽에서는 자동차 배출량의 증가로 인해 대기오염물질 중 NO₂ 농도가 연평균 약 20 ppb 정도 초과한 것으로 나타났다(Keuken 등, 2012). 이것은 많은 지역에서 NO₂ 농도가 NO_x보다 느린 속도로 감소하며 주로 디젤연료(55~70%의 NO₂/NO_x 비율)를 사용했기 때문이라고 밝힌바 있다(Carlaw, 2005; Alvarez 등, 2008; Kousoulidou 등, 2008; Carlaw 등, 2011; ETC, 2011; Keuken 등, 2012). 한편 국내의 경우, 최근 11년(1998~2008년) 동안 전국 주요 대도시의 도로변 지점에서 측정된 CO와 NO₂의 평균농도(약 1.15 ppm과 44 ppb)는 배경 지점(0.44 ppm과 5.7 ppb)과 비교하여 매우 높게(각각 3배와 8배) 나타났으며(Kim와 Shon, 2011a; Shon와 Kim, 2011), 도로변 지점의 PM₁₀ 농도(약 68 µg/m³)도 배경 지점(52 µg/m³)에 비해 약간(1.3 배) 높은 편이었다(Kim와 Shon, 2011b). 이것은 도로변 많은 차량에 의해 대기오염물질 농도가 증가한 것으로 해석할 수 있다.

상기에서 언급했듯이, 도로교통에 의한 자동차 배출량에 대한 정보는 주변지역 대기질에 미치는 영향을 평가하는 데 있어 매우 중요하다고 할 수 있다. 따

라서 주변 지역의 특성에 적합하고 보다 현실적인 자동차 배출량 산정이 요구된다. 또한 이러한 자동차 배출에 기인한 대기질 악화의 극심한 조건은 시·공간적 그리고 배출원 특징에 따라 달라질 수 있다. 하나의 예를 들면, 짧은 기간 동안 매우 소규모 지역에서의 차량 및 인구 집중이 대기질 악화의 극심한 조건이 될 수 있으며, 이것은 여름철 해수욕장 개장시 폭발적인 인구 및 차량 증가와 함께 나타날 수 있다. 본 연구에서는 도로이동오염원의 배출이 급증하고 있는 부산 지역 주요 해수욕장(광안리, 해운대, 송정) 개장시의 교통량 변화를 살펴보기 위해 실제 3 곳의 차량 통행량을 측정하였으며, 이를 비개장시의 차량 통행량과 비교하였다. 또한 실제 측정된 자료를 기반으로 대상지역의 대기오염물질 배출량을 산출하였으며, 해수욕장 포함한 인근 지역의 대기오염물질에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 자동차 교통량 측정자료

부산지역의 총 7 곳 해수욕장 중 여름철 방문객수가 가장 많은 해운대(HB: Haeundae Beach), 광안리(GB: Gwanganri Beach), 송정 해수욕장(SB: Songjung Beach)을 선정하고 해변에서 가장 인접한 도로변을 자동차 교통량 실측지점으로 정하였다. 교통량 측정은 해수욕장 개장(BOP: Beach Opening Period, 성수기 집중 휴가철인 7~8월 측정)과 비개장(NBOP: Non Beach Opening Period, 5월 측정) 시기로 구분하였으며, 비강우일에만 수행하였다. 개장시의 측정기간은 총 8일로 2011년 6월 30일, 7월 2~3일, 7월 5일, 7월 29~31일, 8월 2일이며, 비개장시는 2011년 5월 26일, 5월 28~29일, 5월 31일이다. 측정시간은 오전(09:00~11:00), 오후(14:00~16:00), 저녁(19:00~21:00)으로 하루 3회에 걸쳐 교통량 측정을 수행하였다. 또한 실측 교통량과의 비교를 위하여 부산시 교통정보서비스센터의 교통정보수집시스템에 의해 측정된 교통량 자료(BT: Busan Traffic 자료, 10월 측정)를 이용하였다. BT 자료의 조사지점은 총 3 곳으로써 광안리 및 해운대 해수욕장에서 각각 약 2 km 떨어진 지점과 송정 해수욕장에서 약 0.5 km 떨어진 지점이며(Fig.

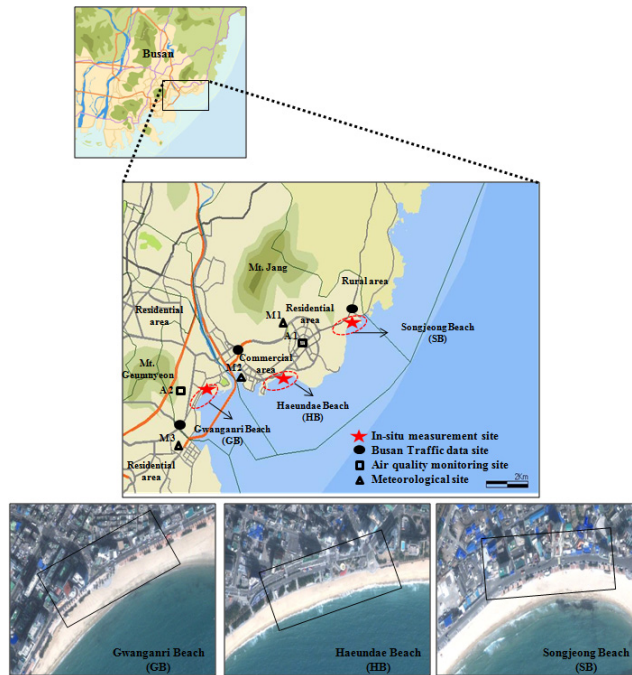


Fig. 1. Geographical locations of the in-situ measurement and Busan Traffic (BT) data sites for traffic volume, monitorings site of air quality (A1-A2) and meteorological monitoring sites (M1-M3), and three beaches (i.e. Haeundae beach (HB), Gwanganri beach (GB), and Songjeong beach (SB)) in Busan.

1), 조사기간은 매년 정기적으로 시행하는 10월 14일이다. 교통량 실측지점과 부산시 교통량 조사지점의 위치 및 상세정보는 Fig. 1과 Table 1에 각각 나타내었다.

교통량 변화에 따른 대기오염물질의 농도 특성을 분석하기 위해 환경부에서 제공하는 주요 대기환경기준 오염물질(CO, NO₂, NO, PM₁₀, O₃)의 시간별 자료

를 이용하였으며, 또한 바람 패턴과의 관계를 면밀히 살펴보기 위하여 기상요소 중 풍향과 풍속 자료를 이용하였다. 대기오염물질의 측정지점은 각 해수욕장에서 가장 인접한 지점(수 km 정도 떨어진), 즉 해운대 해수욕장은 좌동 측정소, 광안리 해수욕장은 광안동 측정소로 선정한 반면, 송정 해수욕장은 인접한 측정

Table 1. General information for traffic volume measurement and Busan Traffic data

Category	In-situ measurement	Busan Traffic data
Site	Haeundae (a five-lane road) Gwanganri (a four-lane road) Songjeong (a two-lane road)	Haeundae (Olympic intersection) Gwanganri (Dae Nam intersection) Songjeong (Songjeong intersection)
Period	Non Beach Opening Period (NBOP): 26 May, 28-29 May, and 31 May Beach Opening Period (BOP)-1: 30 June, 2-3 July, and 5 July Beach Opening Period (BOP)-2: 29-31 July and 2 August	Non Beach Opening Period (NBOP): 14 October
Time	Morning: 09:00-11:00 Local Standard Time (LST) Afternoon: 14:00-16:00 LST Evening: 19:00-21:00 LST	Morning: 09:00-11:00 Local Standard Time (LST) Afternoon: 14:00-16:00 LST Evening: 19:00-21:00 LST

소가 없는 관계로 분석에서 제외하였다(Fig. 1). 기상 요소 측정지점은 2 곳의 대기질 측정소(좌동, 광안동)에서 1 km 이내의 지점으로 선택하였다.

2.2. 자동차 배출량 산정법

일반적으로 자동차에서 배출되는 대기오염물질량을 산정하는 방법으로는 연료판매량 자료(연료 사용량, 연료 유형)를 이용하는 방법(Tier 1), 차종별 속도별 교통량 및 등록대수(Tier 2), 차량별 속도별 교통량과 주행거리를 이용하는 방법(Tier 3) 등이 있다(NIER, 2010). 이 외에도 자동차 배출가스로서 인한 대기오염을 추정하기 위해서는 실측 또는 원격탐사 등을 통하여 얻은 교통자료와 대기오염자료를 이용하는 방법이 있지만 현실적으로 어려움이 따른다(Oh와 Kim, 2011; Park 등, 2000). 본 연구에서는 실제 측정된 자동차 교통량과 주행거리 등을 이용하여 국립환경과학원에서 제공하는 도로이동오염원 배출량 산정 방법 중 Tier 3을 적용하였다(NIER, 2010). 또한 실제 도로에서 주행하는 자동차의 배출량 변화를 알아보기 위한 것이므로 여러 배출유형 중 엔진가열(hot-start) 배출만 고려하였다. 이 산정법은 평균 주행거리와 차종별 차량 등록대수를 이용하여 차량 총 주행거리(Total vehicle kilometers traveled (VKT))를 산정한 다음 이를 교통량이 관측되는 해당 도로의 차량주행거리와 교통량 비실측 도로로 구분하여 공간 할당을 한다(NIER, 2010). 그러나 본 연구에서는 대상지역 차량 배출량의 불확실성을 줄이기 위하여 실제 해수

욕장 해변도로상에서 측정된 차종별 교통량과 도로별 연장거리를 곱하여 주행거리를 산출하였으며, 여기에 배출계수를 적용하여 최종 자동차 배출량을 산정하였다. 배출량 산정에 이용된 해운대, 광안리, 송정 해수욕장 세 곳의 도로별 연장거리는 각각 1.5, 2, 2 km 이다(Fig. 1). 배출계수 산정에 필요한 운행속도는 실측거리(0.02 km)와 소요시간을 바탕으로 계산하여 입력하였다. 아래는 본 연구에 적용된 자동차 배출량 산정식을 나타낸다.

$$\text{배출량(g/hr)} = \text{배출계수(g/km-대수: 차종, 연료, 속도)} \times \text{도로별 주행거리(대수-km/hr)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{도로별 주행거리(km-대수/hr: 차종)} = \\ \text{도로별 교통량(대수/hr: 차종)} \times \\ \text{도로별 연장거리(km)} \end{aligned} \quad (2)$$

본 연구에 적용된 주요차종 및 연료유형에 대한 배출계수를 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해수욕장 개장과 비개장시 통행량 조사

본 연구에서는 대상지역 해수욕장 개장과 비개장시 광안리, 해운대, 송정 해수욕장의 해변도로에서 실측정한 전체 교통량 및 차종별 교통량 조사 자료를 각

Table 2. Summary of emission factors (g/km) for major vehicle types (Model Year: 2003-2007)

		CO	VOC	NO _x	PM
Passenger Car (gasoline)	semi-compact	$Y=4.2580V^{-0.9948}$	$Y=0.7446V^{-0.9392}$	$Y=0.3403V^{-0.5455}$	
	compact	$Y=1.4898V^{-0.3837}$	$Y=0.1738V^{-0.7268}$	$Y=0.1563V^{-0.2671}$	
	midsize/full sized	$Y=2.4938V^{-0.6106}$	$Y=0.4262V^{-1.0122}$	$Y=0.1818V^{-0.4316}$	
Taxi (LPG)	midsize/full sized	$Y=13.380V^{-0.5948}$	$Y=6.3304V^{-1.2443}$	$Y=2.2994V^{-0.6773}$	
Van (diesel)	midsize	$Y=3.2797V^{-0.8887}$	$Y=0.2727V^{-0.7106}$	$Y=4.9702V^{-0.6247}$	$Y=0.4280V^{-0.5186}$
Bus (CNG)	-	$Y=18.235V^{-0.3767}$	$Y=8.0544e^{(-0.0174V)}$	$Y=8.6972e^{(-0.013V)}$	
Truck (diesel)	compact	$Y=1.2211V^{-0.6083}$	$Y=0.1224V^{-0.5684}$	$Y=2.0832V^{-0.6485}$	$Y=0.1759V^{-0.5357}$
	midsize	$Y=15.256V^{-0.7448}$	$Y=2.0502V^{-0.6504}$	$Y=15.001V^{-0.4528}$	$Y=0.2979V^{-0.4008}$
	full sized	$Y=52.136V^{-0.8618}$	$Y=3.7878V^{-0.5425}$	$Y=107.5V^{-0.5679}$	$Y=2.6847V^{-0.6112}$
Motorcycle (gasoline)	over 50cc	7.33	1.10	0.10	

* V: vehicle velocity, Y: emission factor

각 Fig. 2와 Table 3에 나타내었다. 시기별로 살펴보면, 광안리 해수욕장의 경우는 개장시 각 시간대별로 3,024~3,713대로 나타나 비개장시의 2,482~3,267대 보다 대략 446~748대 정도 많은 교통량을 보였으며, 송정 해수욕장의 경우는 큰 차이는 없었지만 개장시가 비개장시보다 약 134~172대 정도 증가한 것을 알 수 있었다. 해운대 해수욕장의 경우는 다른 2 곳에 비해 증감의 차가 매우 적었으며, 오히려 오전과 오후 시간대에는 개장시(각각 2071대와 2350대)가 비개장시(2104대와 2435대) 보다 교통량이 미세하게 감소한 것을 볼 수 있었다. 이것은 도로정체현상으로 인한 혼잡한 차량 이용 대신 대중교통의 이용 가능성이 주요 감소원인인 것으로 사료된다. 이와 관련하여 2011년 월별 부산 도시철도 2호선(광안리 및 해운대 해수욕장 방향 노선) 승·하차 이용현황을 바탕으로 해수욕장 방문 시 대중교통의 이용여부를 살펴보았다(Fig. 3). 해수욕장 방문 시 송정 해수욕장의 경우 해당 노선

이 없으며, 광안리 해수욕장은 광안역과 금련산역, 해운대 해수욕장은 해운대역에서 승·하차한다. 먼저 광안리 해수욕장의 경우, 광안역과 금련산역의 이용횟수는 다른 월에 비해 7~8월에 조금 증가함을 볼 수 있었고, 특히 광안리 불꽃축제로 인해 10월에는 광안역이 658천회, 금련산역이 390천회로 가장 많은 이용횟수를 보였다. 해운대 해수욕장의 해운대역은 광안 및 금련산역에 비해 이용횟수가 훨씬 많은 것으로 나타났다. 특히 6~8월에는 762천회, 910천회, 1036천회로 가장 많이 증가하여 광안역과 금련산역보다 1.5~2배 이상 더 많은 이용 횟수를 나타내었다(BTC: Busan Transportation Corporation, 2011).

차종별로 살펴보면(Table 3), 개장과 비개장시에 가장 교통량이 많았던 차종은 승용차였다. 이는 다른 차종에 비해 49~58% 정도의 높은 비율을 차지하였으며, 두 번째로 많은 차종으로 택시는 14%~32% 정도, 그 다음이 승합차로서 약 0.7~23% 정도로 나타

Table 3. Traffic volume measured at the beach roads close to three beaches (HB, GB, and SB) during the BOP and NBOP (in vehicle/hr)

Category*	Vehicle type	BOP			NBOP			BT data**		
		Morning	Afternoon	Evening	Morning	Afternoon	Evening	Morning	Afternoon	Evening
HB	Passenger car	1021	1333	1455	1049	1394	1436	1551	1592	2186
	Taxi	394	319	421	387	335	371	231	182	136
	Motorcycle	52	73	75	28	45	47	43	29	19
	Van	465	514	488	465	515	523	136	164	270
	Bus	25	26	21	37	36	29	159	152	147
	Truck	114	85	47	138	110	51	235	177	133
	Total	2071	2350	2507	2104	2435	2457	2355	2296	2891
GB	Passenger car	1518	1862	1840	1250	1637	1467	1701	1735	2110
	Taxi	684	960	961	568	877	812	523	474	218
	Motorcycle	252	238	374	207	239	275	125	80	62
	Van	44	66	50	23	31	25	116	172	90
	Bus	314	433	396	266	371	315	216	212	208
	Truck	212	154	59	168	112	38	259	274	127
	Total	3024	3713	3680	2482	3267	2932	2940	2947	2815
SB	Passenger car	407	794	709	320	727	626	1654	2271	2660
	Taxi	212	475	443	166	445	406	180	127	121
	Motorcycle	28	28	32	30	29	31	29	39	23
	Van	17	35	18	7	14	9	158	194	185
	Bus	120	223	199	95	214	168	121	133	123
	Truck	27	31	16	21	23	12	470	422	303
	Total	811	1586	1417	639	1452	1252	2612	3186	3415

* HB: Haeundae beach, GB: Gwanganri beach, SB: Songjeong beach.

** Values were obtained from the Busan Traffic data sites.

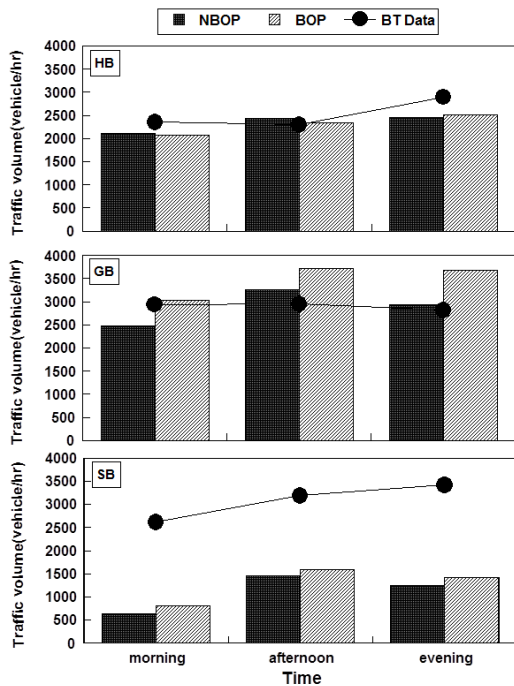


Fig. 2. Traffic volume at the beach roads close to three beaches (HB, GB, and SB) during the BOP and NBOP. Closed circle (●) indicates the traffic volume obtained from Busan Traffic data site.

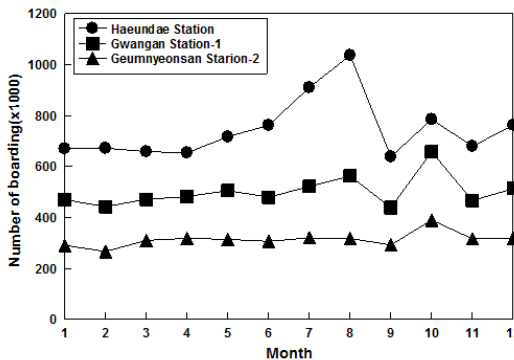


Fig. 3. The number of passengers get in and off at three subway stations (Haeundae, Gwangan, and Geumnyeonsan stations) in 2011.

났다. 이외 다른 차종(이륜차, 버스, 화물차)은 약 15% 이하의 교통량을 보였다. 부산시 교통정보자료(BT 자료)에서도 유사한 경향을 보였다. 즉, 승용차가 58~78%로 가장 많았고 화물차가 4.6~18%, 택시는 3.5

~17.8%, 승합차는 3.2~9.3%, 이외 차종(이륜차, 버스)은 8% 이하의 교통량을 보였다.

해수욕장 지점별로 살펴보면(Table 3), 해운대의 경우 승용차>승합차>택시 순으로 나타났으며, 광안리와 송정의 경우 승용차는 해운대의 경우와 마찬가지로 가장 많은 반면, 승합차보다는 택시가 훨씬 많은 교통량을 보였다. 각 지점에 따라 교통량의 차이가 나타났는데 이는 해운대와 광안리보다 송정 해수욕장의 차량수가 많이 작았으며, Fig. 2의 전체 교통량으로도 확인 할 수 있었다. 예를 들어, 시간대별 교통량을 보면, 해운대의 경우는 오전<오후<저녁 순으로 증가, 광안리와 송정 해수욕장의 각 해변도로에서는 오전<저녁<오후 순으로 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 교통량의 차이는 해수욕장 특성에 기인한 것으로 판단된다. 지점별 교통량을 보면, 광안리>해운대>송정 순이며, 특히 송정의 경우는 해운대와 광안리에 비해 약 2~2.5배 낮은 교통량을 보였다. 하지만 부산시 교통자료(BT 자료)에 의하면, 각 해수욕장 근처 3군데 조사지점(Fig. 1에 제시)의 교통량은 크게 차이가 나지 않았고 오히려 송정 해수욕장의 조사지점의 저녁 시간 교통량이 다른 2 지점보다 증가한 것을 볼 수 있었다. 또한 다른 지점에 비해 송정의 조사지점에서 BT 자료의 교통량이 실측자료보다 약 2배 정도 높게 나타났다. 이것은 송정의 실측지점과 부산시 교통량 조사지점과의 거리가 0.5 km 이내로 나머지 지점 보다 가장 인접해 있음에도 불구하고, 지리적 특성상 매우 제한된 도로에서의 해수욕장 방문 통행량만 측정되었기 때문이다. 이와 반대로 해운대와 광안리의 경우는 두 지점을 경유하는 통행량 및 도로가 많은 지리적 특성으로 인해 실측 교통량과 BT 자료의 교통량이 서로 유사한 것으로 사료된다.

3.2. 해수욕장 개장과 비개장시 교통량에 따른 배출량 특성

Table 4는 해수욕장 개장과 비개장시의 대기오염 물질별 총 배출량을 나타낸다. 해수욕장 개장시 대기오염물질의 총 배출량은 방문객수가 가장 많은 해운대에서 가장 클 것으로 기대하였으나, 광안리가 가장 높게 나타났다. 이는 실제 교통량 측정이 해수욕장에 진입하는 가장 가까운 해변도로에서만 이루어졌기 때

Table 4. Summary of total emissions of four air pollutants during the observations in 2011 (in kg/hr)

Time		HB			GB			SB		
		BOP*	NBOP**	BT data***	BOP	NBOP	BT data	BOP	NBOP	BT data
Morning	CO	2.80	2.63	3.07	11.78	9.73	7.15	3.00	2.43	3.25
	NO _x	1.57	1.73	2.08	9.52	7.49	3.56	2.53	1.66	3.17
	VOC	0.43	0.48	1.24	4.19	3.51	2.52	1.41	1.12	1.09
	PM ₁₀	0.07	0.07	0.03	0.12	0.08	0.04	0.02	0.01	0.07
	Total	4.88	4.92	6.42	25.61	20.81	13.27	6.96	5.22	7.59
Afternoon	CO	3.30	3.23	2.83	15.91	14.38	6.50	6.05	5.67	3.81
	NO _x	1.65	1.96	2.06	10.54	8.98	3.66	4.53	3.86	3.55
	VOC	0.52	0.58	1.20	6.21	5.41	2.46	2.82	2.69	1.29
	PM ₁₀	0.08	0.09	0.03	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0.07
	Total	5.55	5.86	6.12	32.75	28.84	12.67	13.43	12.24	8.73
Evening	CO	3.19	2.81	2.88	16.02	12.57	5.53	6.71	5.88	3.52
	NO _x	1.21	1.32	1.86	7.35	5.69	3.16	4.13	3.24	2.87
	VOC	0.43	0.44	1.19	5.66	4.46	2.40	2.93	2.49	1.15
	PM ₁₀	0.06	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06
	Total	4.89	4.64	5.97	29.07	22.74	11.11	13.79	11.62	7.6

* Beach Open Period (BOP): the data set during July-August.
 ** Non Beach Open Period (NBOP): the data set in May.
 *** Busan Traffic (BT): the data set in October.

문인 것으로 볼 수 있다. 즉, 실제 해수욕장 진입도로가 다양한 해운대의 경우는 해변도로 이외에 인접도로의 교통량을 제대로 반영하지 못한 반면, 광안리의 경우는 진입도로가 해운대에 비해 적어서 오히려 예상과는 다른 결과가 나타난 것으로 사료된다. 한편, 송정 해수욕장의 총 배출량은 해운대 해수욕장의 총 배출량보다 1.4~2.8배 높게 나타났다. 이는 주요 차종의 변화에 기인하였다. 개장시 송정 해수욕장을 방문한 차량은 주로 배출계수가 매우 큰 버스(승용차에 비해 수십 배 이상 큼)였으며, 이는 해운대 해수욕장보다 평균 4.8배 정도 큰 값이므로 이로 인해 송정 해수욕장의 배출량이 더 많이 산출된 것으로 나타났다.

해운대, 광안리, 송정 해수욕장 모두 대부분 개장시의 총 배출량(4.88~32.75 kg/hr)이 비개장시(4.64~28.84 kg/hr)보다 더 많이 산출되었다. 그러나 해운대의 오후시간대에는 비개장시(5.86 kg/hr)가 개장시(5.55 kg/hr)보다 다소 많이 배출되었다. 오염물질별 배출량을 보면, 개장시 광안리의 경우 CO가 오후(15.91 kg/hr) 및 저녁시간대(16.02 kg/hr)에 가장 높게 나타났는데, 이것은 광안리 지점의 교통량(특히, 승용차와 택시)이 가장 많았던 시간대와 일치하므로 이 지점의 자동차 교통량이 CO 배출에 직접적인 영향

을 준 것으로 해석할 수 있다(Table 3). 두 번째로 많은 배출량을 보인 NO_x 개장시 광안리 지점에서 오전(9.52 kg/hr) 및 오후시간대(10.54 kg/hr)에 가장 많은 배출량을 보였으며, 이는 시간대별 주요차종의 변화에 따른 배출계수 차이로 인하여 CO와 다소 다른 경향을 보였다.

Fig. 4는 해수욕장 개장 및 비개장시 대기오염물질(CO, NO_x, VOC, PM₁₀) 총 배출량에 대한 각 오염물질 배출량이 차지하는 기여율(%)을 나타낸다. 이러한 분석은 각 해수욕장의 3군데 실측지점에서의 각 시간대별 평균값을 바탕으로 수행되었다. 분석 결과, CO

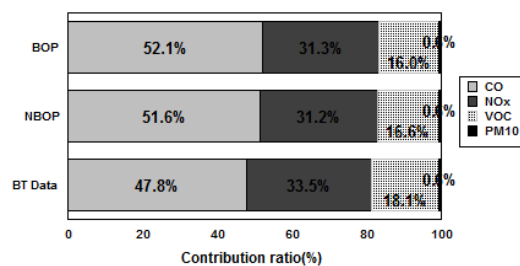


Fig. 4. The contribution of each air pollutant to the total emissions of air pollutants (CO, NO_x, VOCs, and PM₁₀) (%).

가 47.8~52.1%로 가장 크게 기여하는 것을 볼 수 있었고, 그 다음으로 NO_x는 31.2~33.5%, VOC는 16.0~18.1%, PM₁₀은 0.6% 정도로 나타났다. 이것은 NIER(2011)에서 보고된 일반적인 차량배출물질의 기여율과 같은 경향을 보였다.

Figs. 5~7은 실측지점인 해운대, 광안리, 송정 해수욕장의 각 해변도로에서 가장 교통량이 많았던 오후시간대의 차종별(6차종) 오염물질(CO, NO_x, VOC, PM₁₀)의 배출량을 나타낸다. 여기서 오전과 저녁시간대의 배출량은 수치만 제시하고 그림에서는 제외하였다. 전체 총 배출량 중 기여율이 가장 높았던 CO에 대해 먼저 살펴보면, 해운대 지점은 택시로부터의 CO 배출량이 개장시 1.08 kg/hr(오전 및 저녁에 1.14와 1.22), 비개장시 1.13 kg/hr(각각 1.12, 1.07)으로 가장 큰 비중을 차지하였으며 전체 배출량의 32.7%와 35%였다. 두 번째로 비중이 큰 승용차의 경우, CO 배출량은 개장시 0.80 kg/hr(0.53, 0.75), 비개장시 0.84 kg/hr(0.54, 0.74)이며, 각각 전체 배출량의 24.2%와 25.9%를 차지하였다(Fig. 5). 반면 광안리 및 송정 지점은 버스와 택시에 의한 CO 배출량이 가장 많았다. 버스의 경우 광안리 지점의 개장시 5.32 kg/hr(3.36, 4.59), 비개장시 4.55 kg/hr(2.84, 3.65)으로 전체의 33.4%와 31.7%였으며, 택시는 개장시 4.60 kg/hr(2.64, 4.20), 비개장시 4.21 kg/hr(2.19, 3.55)으로 전체의 28.9%와 29.3%를 차지하였다. 송정 지점은 버스의 경우 개장시 2.63 kg/hr(1.30, 2.76), 비개장시 2.52 kg/hr(1.03, 2.33)으로 전체의 43.4%와 44.5%씩 차지하였고, 택시는 개장시 2.14 kg/hr(0.84, 2.58), 비개장시 2.0 kg/hr(0.65, 2.36)으로 전체의 각각 35.3%였다. 이외에도 광안리 지점 이륜차와 승용차의 기여율은 전체의 21.9%(개장), 24.4%(비개장) 그리고 10%(개장 및 비개장 모두)이며, 송정 지점은 각각 6.8%(개장), 7.5%(비개장) 그리고 10.5%(개장), 10.2%(비개장)를 나타내었다.

NO_x의 경우, 해운대 지점에서의 승합차로 인한 배출량이 개장시 0.59 kg/hr(0.45, 0.48), 비개장시 0.59 kg/hr(0.45, 0.51)이며 전체의 35.8%와 30.1%를 차지하며 화물차는 각각 0.53 kg/hr(0.65, 0.25)와 0.73 kg/hr(0.71, 0.28)으로 32.1%와 37.3%로 가장 많은 비중을 차지한 반면, 승용차, 택시, 이륜차는 약 8.8% 이

하로 낮게 나타났다. 광안리 지점에서는 오후에 버스로 인한 NO_x 배출량이 개장시 5.96 kg/hr(3.90, 5.24), 비개장시 5.11 kg/hr(3.30, 4.17)으로 나타났으며 전체의 56.6%와 56.8%로 가장 많은 배출량을 나타냈으며, 그 다음으로 화물차가 개장시 3.58 kg/hr(5.02, 1.19), 비개장시 3.02 kg/hr(3.70, 0.79)으로 나타났다. 그러나 오전의 경우는 화물차 배출량이 버스 배출량보다 높게 나타났다. 송정 지점은 버스의 비중이 개장시와 비개장시 2.99 kg/hr(1.51, 2.92)와 2.87 kg/hr(1.19, 2.47)으로 전체의 66%와 74.3%를 차지하였으며, 다른 차종에 비해 월등히 높은 기여율을 나타냈다.

VOC의 경우, 해운대 지점은 버스와 이륜차에 의해서 가장 많이 배출되었는데, 버스는 개장과 비개장시 배출량이 0.22 kg/hr(0.19, 0.16)와 0.31 kg/hr(0.28,

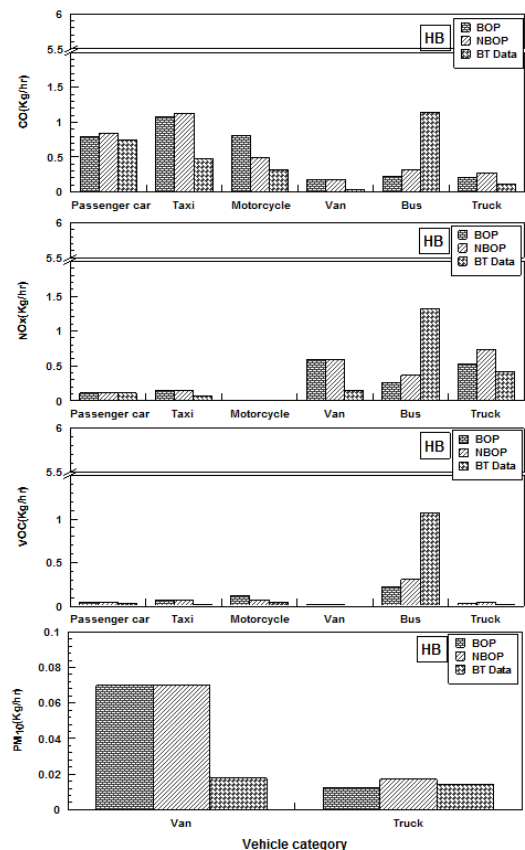


Fig. 5. Emissions of four air pollutants (CO, NO_x, VOC, and PM₁₀) according to the vehicle category at Haeundae beach.

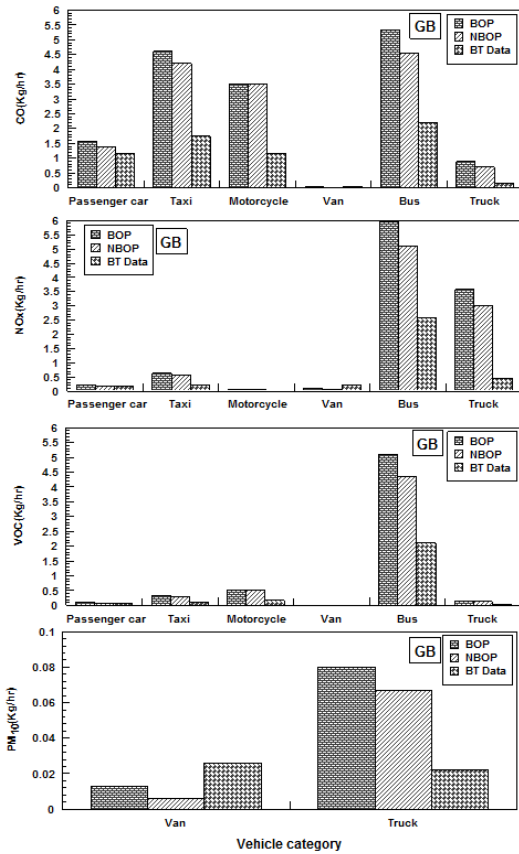


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for pollutant emissions at Gwangnari beach.

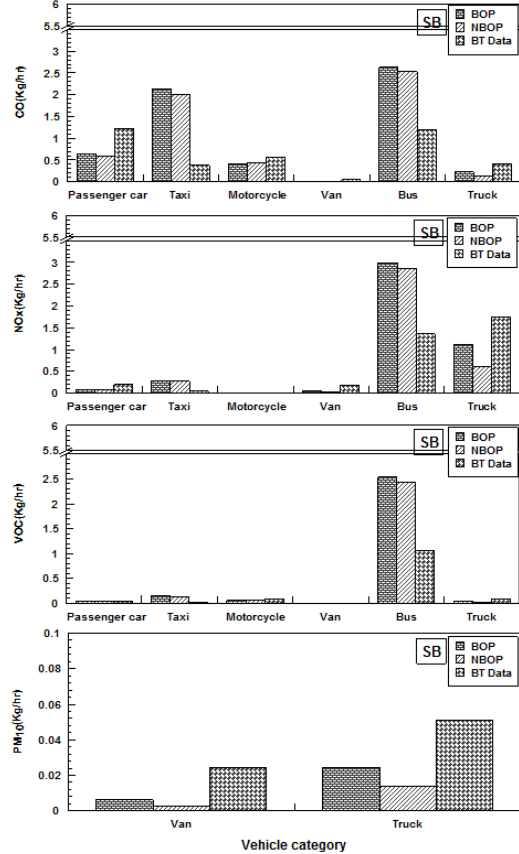


Fig. 7. Same as Fig. 5 except for pollutant emissions at Songjeong beach.

0.22)였으며, 이륜차는 각각 0.12 kg/hr(0.09, 0.12)와 0.07 kg/hr(0.05, 0.08)으로 나타나며 배출기여도는 전체의 42.4%(개장)와 53%(비개장) 그리고 23%(개장)와 12.8%(비개장)를 차지하였다. 한편, 해운대의 경우 부산시 교통자료(BT 자료)로부터 산정된 버스의 VOC 배출량은 1.07 kg/hr(1.08, 1.07)으로 전체의 88.9%가 가장 많이 배출되었는데, 이것은 BT 자료의 측정지점이 지리적 특성상 버스터미널과 정류장이 밀집되어 있기 때문이다. 광안리와 송정의 경우는 해운대와 달리 승용차의 배출량이 각각 1.5%(개장과 비개장 모두), 1.3%(개장), 1.2%(비개장)로 매우 적은 기여도를 보인 반면, 버스 배출량은 광안리에서 82.1%(개장)와 80.7%(비개장), 송정에서 89.8%(개장)와 90.4%(비개

장)으로 높은 기여율이 나타났다. PM₁₀의 경우는 승합차와 화물차 차종에만 배출계수가 적용되어있으며, 해운대지점의 경우 승합차의 개장과 비개장시 모두 0.07 kg/hr(0.06, 0.06)이며 기여율은 85%와 80.3%로 가장 높았다. 반면 광안리의 경우 개장시와 비개장시 화물차가 0.08 kg/hr(0.11, 0.03)와 0.07 kg/hr(0.08, 0.02), 송정의 경우 0.02 kg/hr(0.02, 0.02)와 0.01 kg/hr(0.01, 0.01)으로 나타나며 각각 86.4%와 91.9% 그리고 79.3%와 84.2%의 높은 기여율을 나타냈다.

본 연구에서 산정한 전체 총 배출량에 대한 오염물질별 배출량의 기여율은 통행량에 따라 서로 달라지는 것을 볼 수 있었으나, 대부분 오염물질에서 개장과 비개장시 기여율의 차이가 크지 않았다. 그러나 BT

자료에서는 실측자료와 달리 배출량의 차이가 상당히 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 개장과 비개장시 대기질 특성 분석

해운대, 광안리, 송정 해수욕장의 해변도로에서 실측정한 교통량 변화에 따른 배출량이 주변 대기질에 미치는 영향을 살펴보기 위해 2년간(2010~2011년) 광안리 및 해운대 해수욕장 인접 지점(Fig. 1과 2.1절에 제시)에서의 주요 대기오염물질(CO, NO₂, NO, PM₁₀, O₃)의 농도 특성을 분석하였다(Table 5). 또한 해수욕장 개장과 비개장시의 변화를 간접적으로 비교 분석하기 위하여 개장시는 여름철(6~8월)로 비개장시는 여름철을 제외한 나머지 계절로 선정하여 해당하는 자료를 이용하였다.

전체적으로 살펴보면, 대부분 오염물질의 평균농도가 개장시보다 비개장시에 더 높은 것을 알 수 있다. 자동차 배출량으로 인해 비개장시보다 개장시에 더 높은 농도를 예상한 것과는 다른 결과가 나타났다. 이와는 달리 2011년 광안리 해수욕장 인접 지점의 NO 농도는 개장시(6.2±7.0 ppb)가 비개장시(5.3±9.2 ppb)보다 다소 높게 나타났다. 한편, 여름철 장마로 인한 강수효과로 농도가 감소하였을 것이라 판단하여 이를 알아보기 위해 강수일을 제외한 오염물질의 평균농도를 살펴보았다(Table 6). Table 5와 마찬가지로 대부분 오염물질의 농도가 개장시보다 비개장시에 더 높

게 나타났음을 확인하였다. 하지만 NO의 경우, 광안리 주변지점에서만 2010년은 개장시와 비개장시의 농도는 동일하였고 2011년 강수일을 포함한 패턴과 동일하였다. 또한 모든 오염물질의 농도가 강수일을 포함한 결과에 비해 개장시와 비개장시의 농도 폭이 크게 감소한 것을 알 수 있었다. 다시 말해, NO를 제외한 모든 오염물질이 차량으로 인한 배출량 영향이 뚜렷하지 않음을 확인하였다. 즉, 가장 많은 자동차 배출량을 나타내는 CO와 NO_x의 배출원은 도로이동오염원(주로 차량) 이외에도 비도로이동오염원과 에너지산업에 의한 주거 및 공업지역의 공공 난방시설 등이 있으며 이로 인해 비개장시에 일부 영향을 받은 것으로 추정할 수 있다. 또한 우리나라는 2000년 6월, 2003년, 2004년 이후로 시행된 차량 배출량 제어 전략(순서대로 Natural gas vehicle supply(NGVS) program, 저배출 디젤엔진의 사용, 연료질의 향상)을 통해 이 기간 이후로 NO₂ 및 CO의 농도감소는 물론 NO₂/NO_x 비율도 다소 감소한 것으로 밝혀졌다(Shon와 Kim, 2011; Kim와 Shon, 2011a). PM₁₀의 경우, 우리나라 봄철에 주로 나타나는 황사현상과 공업지역의 연소에 의해 여름철인 개장시보다 오히려 비개장시가 더 높게 관측된 것으로 사료된다. 대표적 광화학 오염물질인 O₃은 전구물질(NO_x와 VOC)과 기상조건(수평 및 연직 수송, 대기정체, 강수효과 등)에 의해 여름철보다 오히려 봄철에 더 높은 농도가 나타났다고 볼

Table 5. A statistical summary of pollutant species measured at several monitoring sites close to three beaches (HB, GB, and SB) during summer and other seasons in 2010-2011

Year	Category	Season	Pollutant species					
			CO (ppb)	NO ₂ (ppb)	NO (ppb)	NO _x (ppb)	PM ₁₀ (μg/m ³)	O ₃ (ppb)
2010	HB	Summer [*]	483.3±144.3 ^a	16.8±8.8	6.6±4.8	22.5±11.9	26.0±12.8	27.7±17.0 ^b
		Other ^{**}	524.3±272.7	22.9±14.2	9.5±18.8	31.7±29.7	36.6±56.9	30.2±17.3
	GB	Summer	287.2±90.7	15.2±9.1	6.1±6.5	20.9±13.6	23.6±12.9	22.9±15.4
		Other	420.3±201.8	16.6±10.8	6.3±13.5	22.3±21.4	35.5±59.1	30.9±14.5
2011	HB	Summer	403.4±151.4	21.2±10.1	7.4±6.8	27.8±14.9	25.2±14.6	25.2±14.7
		Other	556.4±260.7	23.9±13.6	8.1±13.5	29.8±23.6	33.2±36.6	29.5±15.5
	GB	Summer	-	10.8±7.8	6.2±7.0	16.5±11.6	26.8±15.1	27.5±17.0
		Other	-	15.2±9.1	5.3±9.2	18.9±15.4	33.3±39.9	33.8±13.7

* Values were calculated with the data set during June through August.

** Values were calculated with the data set during January through May and September through December.

^a Mean±1σ.

Table 6. A statistical summary of pollutant species measured at several monitoring sites close to three beaches (HB, GB, and SB) during non-rainy days of summer and other seasons in 2010-2011

Year	Category	Season	Pollutant species					
			CO	NO ₂	NO	NO _x	PM ₁₀	O ₃
2010	HB	Summer*	484.6±149.3 ^a	18.5±9.6	6.9±5.1	24.5±12.7	28.6±13.2	^a 28.8±18.7
		Other**	530.9±287.2	23.8±14.9	10.4±20.4	33.4±32.0	39.4±44.8	29.8±17.6
	GB	Summer	296.7±93.8	16.2±9.5	6.4±6.5	22.0±14.0	26.7±13.5	24.2±16.7
		Other	431.4±206.4	17.1±11.1	6.4±13.5	22.9±21.6	38.9±49.4	31.0±14.8
2011	HB	Summer	435.0±138.3	21.8±9.0	7.4±6.5	28.1±13.4	29.2±15.1	29.1±15.5
		Other	573.6±272.4	24.3±14.1	8.2±13.8	30.5±24.5	34.8±36.5	30.0±16.0
	GB	Summer	-	11.5±8.8	6.0±7.0	17.2±12.0	31.6±16.1	33.5±18.1
		Other	-	15.3±9.2	5.3±9.4	18.9±15.5	35.6±40.6	35.0±13.9

* Values were calculated with the data set during June through August.

** Values were calculated with the data set during January through May and September through December.

^a Mean±1σ.

수 있다(Kim 등, 2002; Song와 Shon, 2008).

해수욕장의 해변도로에서의 자동차 배출량과 주변 대기질과의 관계를 보다 면밀히 검토하기 위하여 실측정기간을 포함하는 2011년 광안리 및 해운대 해수욕장 인접 지점(Fig. 1과 2.1절에 제시)에서의 풍계 특성을 분석하였다(Figs. 8~9). 전체적으로 볼 때, 해수욕장에서 다소 멀리 떨어진 곳에 대기질 측정소가 위치하고 또한 적절한 기상조건(예, 풍향 영향)이 나타나지 않아 교통량 증가가 인접 대기질 측정소에서의 대기오염물질 농도에 반영되기 못한 것으로 사료된다. 예를 들어, 광안리 주변지점의 주풍은 개장시(여름철)에는 남서풍 및 동풍계열, 비개장시인 봄철에는 서풍 및 동풍계열, 가을철에는 북동풍계열 그리고 겨울철에는 서풍계열로 나타났(Fig. 8). 측정지점이 광안리 해수욕장의 남서쪽에 위치하므로 비개장시인 가을철에 영향이 가장 큰 것으로 추정할 수 있다. 이와는 달리, 해운대 주변지점의 주풍은 개장시(여름철)에는 남풍계열, 비개장시인 봄철에는 남풍계열, 가을철에는 북풍계열 그리고 겨울철에는 북서풍계열로 나타났(Fig. 9). 해운대 해수욕장의 북동쪽에 측정지점이 위치하므로 개장시인 여름철과 비개장시인 봄철에 어느 정도의 영향을 추정할 수 있다. 그러나 일반적으로 대기오염물질의 농도에 미치는 영향은 기상조건 이외에도 여러 다른 조건(예, 대상지역 지리·지형적 특성)이 있기 때문에 이와 같이 부족한 관측 자료를

이용한 분석만으로는 자동차 배출이 대기질에 미치는 영향을 정확하게 평가하기에는 여전히 많은 한계점이 있다. 향후 기상 및 화학작용은 물론 지리·지형적 특성 등이 모두 고려된 3차원 광화학 수송모델을 이용한 수치모델의 연구가 반드시 필요하다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 도로이동오염원의 배출이 급증하고 있는 부산 지역의 주요 해수욕장(광안리, 해운대, 송정) 개장시의 교통량 변화를 살펴보기 위해 2011년도에 실제 3 곳의 차량 통행량을 측정하였으며, 이를 비개장시의 차량 통행량과 비교하였다. 또한 실제 측정 자료를 기반으로 대상지역의 대기오염물질 배출량을 산출하였으며, 해수욕장 포함한 인근 지역의 대기오염물질에 미치는 영향을 분석하였다.

교통량에 대해 살펴보면, 개장과 비개장시에 가장 교통량이 많았던 차종은 승용차(49~58%), 택시(14%~33%), 승합차(0.7~23%) 순으로 나타났다. 시간대별 교통량은 3지점에서 해수욕장의 특성에 따라 서로 다르게 나타났다. 지점별 특징으로는 광안리>해운대>송정 순이었으며, 특히 송정은 다른 지점에 비해 약 2~2.5배 낮은 교통량을 보였다. 교통량의 경우 광안리에서 개장시가 비개장시보다 약 500대, 송정은 약 150대 이상씩 증가하였고, 해운대의 경우 오히려 개

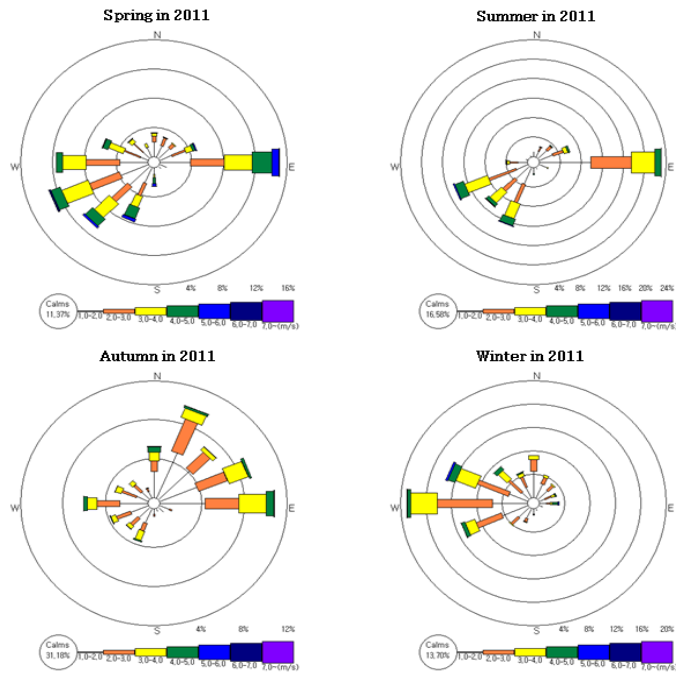


Fig. 8. Wind rose patterns at a meteorological monitoring site (Daeyeon site) close to Gwananri beach (GB) in 2011.

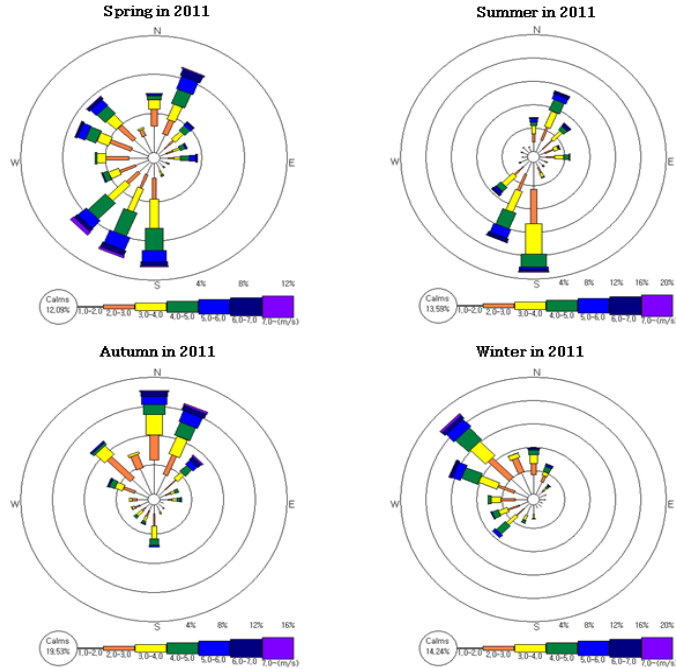


Fig. 9. Wind rose patterns at two meteorological monitoring sites (Jwa-dong and Suyoungman sites) close to Haeundae beach (HB) in 2011.

장 시에 교통량이 감소하였는데 이는 도시철도 승·하차 이용현황을 통해 대중교통 이용 가능성을 예상할 수 있다.

배출량의 특성을 살펴보면, 해운대를 제외한 지점에서 비 개장시보다 개장시에 높은 배출량을 나타내었다. 개장시 해수욕장별 배출량을 살펴보면, 해운대, 송정, 광안리 순으로 높게 나타났다. 그리고 개장시 시간별 배출량을 살펴보면, 해운대와 광안리 해수욕장의 경우 오후에 가장 높게 나타났으며, 오전이 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면 송정의 경우 저녁에 가장 높게 나타났다. 그 이유는 지점별, 시간별 교통량(주요차종)의 특성변화에 기인하였다. 전체 대기오염물질(4종) 배출량 중 개별 대기오염물질의 배출기여도를 살펴보면 $CO(47.8 \sim 52.1\%) > NO_x(31.2 \sim 33.5\%) > VOC(16.0 \sim 18.1\%) > PM_{10}(0.6\%)$ 순으로 나타났다. 해운대 개장과 비개장시 차종별 배출량은 CO의 경우 택시(32.7%, 35%)와 승용차(24.2%, 25.9%)의 영향이 컸으며, 광안리와 송정은 버스(33.4~43.4%, 31.7~44.5%)와 택시(28.9~35.3%, 29.3~35.3%)가 가장 크게 나타났다. NO_x 는 주요 배출원 차종이 해수욕장에 따라 차이를 보였다(해운대 승합, 광안리와 송정 버스). VOC는 버스와 이륜차에서 가장 많이 배출되었으며 기여율은 42.4(개장), 53%(비개장)와 23%(개장), 12.8%(비개장)로 나타났으며, PM_{10} 의 경우는 승합차와 화물차에만 배출계수가 적용되었다.

해수욕장 개장에 따른 대기질의 영향을 살펴보면, 자동차 배출로 인해 비개장보다 개장 시에 대기오염물질농도가 더 높을 것이라 예상한 것과는 달리 비개장시에 더 높은 농도를 나타내었다. 강수일 포함자료를 살펴보면 대기오염물질들은 대부분 모두 비개장시에 농도가 더 높았으나, 2011년 광안리의 경우 자동차 배출의 주요물질인 NO의 경우에서만 개장 시에 6.2 ppb로 비개장시보다 0.9 ppb 높게 나타났다. 강수일을 제외한 평균농도를 살펴보면 강수일 포함자료와 유사하게 나타났으며 모든 오염물질들이 전체적으로 강수일을 포함한 농도에 비해 개장시와 비개장시의 농도 폭이 감소함을 확인 할 수 있었다. 이는 기상과 대기오염물질간의 밀접한 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 대기오염물질 측정소에서 인근 해수욕장 개장시 자동차 배출량의 증가에 따른 대기오염물질의

농도 증가가 나타나지 않은 주된 이유는 교통량 실측 장소와 대기질 측정소 사이의 거리가 다소 멀었고 풍향 분석에 의하면 자동차 배출량 증가의 영향을 직접적으로 받지 못하는 곳에 대기질 측정소가 위치하기 때문에 교통량 증가에 따른 대기오염물질의 농도 증가가 뚜렷하지 않은 것으로 사료된다. 이에 향후 연구로 해수욕장 개장시 인접지역의 대기질 영향을 3차원 수송모델을 이용해서 살펴보고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었습니다.

참고 문헌

- Alvarez, R., Weilenmann, M., Favez, J. Y., 2008, Evidence of increased mass fraction of NO_2 within real-world NO_x emissions of modern light vehicles-derived from a reliable online measuring method, *Atmospheric Environment*, 42, 4699-4707.
- Busan Transportation Corporation (BTC), 2011, http://www.humetro.busan.kr/program/board/main/view.php?id=data&num=3337&c=6&action=&field=&adminfield=&s_name=&category=&stype=&view=&page_now=&page=.
- Carslaw, D. C., Beevers, S. D., Tate, J. E., Westmoreland, E. J., Williams, M. L., 2011, Recent evidence concerning higher NO_x emissions from passenger cars and light duty vehicles, *Atmospheric Environment*, 45, 7053-7063.
- Carslaw, D., 2005, Evidence of an increasing NO_2/NO_x emissions ratio from road traffic emissions, *Atmospheric Environment*, 39, 4793-4802.
- ETC, 2011, Report on the European Ambient Air Quality Monitoring and State in 2009, <http://acm.eionet.europa.eu/announcements/ann1308731514>.
- He, K. B., Huo, H., Zhang, Q., 2002, Urban air pollution in China: current status, characteristics, and progress. *Annual Review of Energy and the Environment* 27, 397-431.
- Keuken, M. P., Roemer, M. G. M., Zandveld, P., Verbeek, R. P., Velders, G. J. M., 2012, Trends in primary NO_2 and exhaust PM emissions from road

- traffic for the period 2000-2020 and implications for air quality and health in the Netherlands, *Atmospheric Environment*, 54, 313-319.
- Kim, K. -H., Shon, Z. -H., 2011a, Nationwide shift in CO concentration levels in urban areas of Korea after 2000, *Journal of Hazardous Materials*, 188, 235-246.
- Kim, K. -H., Shon, Z. -H., 2011b, Long-term changes in PM₁₀ levels in urban air in relation with air quality control efforts, *Atmospheric Environment*, 45, 3309-3317.
- Kim, Y. -K., Moon, Y. -S., Song, S. -K., Oh, I. -B., 2002, Case study of surface ozone enhancement due to vertical transport of tropospheric ozone, *Korean Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 307-317.
- Kousoulidou, M., Ntziachristos, Mellios, G., Samaras, Z., 2008, Road-transport emission projections to 2020 in European urban environments, *Atmospheric Environment*, 42, 7465-7475.
- Mayer, H., 1999, Air pollution in cities, *Atmospheric Environment*, 33, 4029-4037.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2011, http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=1257&bb_s=INDX_001.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2010, National Air Pollutants Emission Manual Calculation Method (2).
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2011, National Air Pollutants Emission 2009.
- Oh, J. S., Kim, B. K., 2011, A model for estimating NO_x emission concentrations on national road, *Journal of the Korea Society of Road Engineers*, 13 (3), 121-129.
- Park, S. K., Kim, S. D., Yun, J. S., Hwang, E. H., 2000, Vehicle Emission Calculation by Using Traffic Volume, *Proceeding of the Korean Society for Atmospheric Environment*, 152-154.
- Progiou, A. G., Ziomas, I. C., 2011, Road traffic emissions impact on air quality of the Greater Athens Area based on a 20 year emissions inventory, *Science of the Total Environment*, 410-411, 1-7.
- Shon, Z. -H., Kim, K. -H., 2011, Impact of emission control strategy on NO₂ in urban areas of Korea, *Atmospheric Environment*, 45, 808-812.
- Smit R, Ntziachristos L, Boulter P, 2010, Validation of road vehicle and traffic emission models a review and meta-analysis. *Atmos Environ*, 44, 2943 - 53.
- Song, S. -K., Shon, Z. -H., 2008, Analysis of chemical and meteorological effects on the concentration difference of photochemical air pollutants between coastal and inland regions in Busan, *Journal of the Environmental Sciences*, 17(10), 1169-1182.
- Transportation Bureau, 2012, The Result of Traffic Volume, Busan Metropolitan City, Korea.
- Tzirakis, E., Pitsas, K., Zannikos, F., Stourmas, S., 2006. Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC). *Global NEST Journal* 8, 282-290.
- Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., 2010, Transport impacts on atmosphere and climate land transport. *Atmos Environ*, 44, 4772-816.