

자동차 배출가스 중 BTEX의 비율과 C₂-benzenes의 상관성 연구

문선희 · 정택호 · 정성운 · 김선문 · 서석준 · 이승환 · 김정화 · 홍유덕 · 홍희경*

A Study on the BTEX Ratio and Correlation of C₂-benzenes in Vehicle Exhaust

Sunhee Mun, Taekho Chung, Sungwoon Jung, Sunmoon Kim, Seokjun Seo, Seounghwan Lee, Jounghwa Kim, Youdeog Hong and Heekyoung Hong

Key Words: BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), T/B ratio, X/E ratio, C₂-benzenes, Vehicle Exhaust

Abstract

Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) were well known as ozone precursors from photochemical reactions and contribute to the formation of photochemical smog which pose health hazards. Also, some of these compounds directly affect the human health due to their toxicity such as benzene. In this study, BTEX ratios and correlation of C₂-benzenes (xylenes, ethylbenzene) in vehicle exhaust from recreational vehicle (RV) and multi-purpose vehicle (MPV) were characterized using a chassis dynamometer. VOCs were collected by tedlar bag and a GC/MS system was used for their quantification. Among all of the BTEX, toluene has the highest concentration(more than 30% in composition of BTEX). The average ratio of toluene to benzene emissions (T/B ratio=2.2) was found in vehicle exhaust. The average m,p-xylene/ethylbenzene and m,p-xylene/o-xylene ratios were 1.0 and 3.0 respectively. As a result, it showed a good correlation between the C₂-benzenes (R²=0.98~0.99). In the future, it can be used as a marker for effect evaluation to atmospheric environment by vehicle exhaust.

1. 서 론

VOCs(Volatile Organic Compunds) 중 BTEX로 알려진 benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene 과 같은 방향족 탄화수소(aromatic hydrocarbons)는 대기 중에서의 광화학반응을 통해 오존(O₃) 및 질산과산화아세틸(PAN, Peroxyacetyl Nitrate) 등을 생성시켜 광화학스모그를 유발한다⁽¹⁻³⁾. 또한 호흡기 질환, 두통, 눈 자극성 등 인간 건강에 상당한 영향을 미치는 위해성 뿐만 아니라 BTEX 중 xylene은 대기 반응성이 매우 높아

오존형성과 기후변화에 기여하기 때문에 지속적인 모니터링이 필요한 중요한 물질이다⁽³⁾.

대기 중 VOCs는 도로이동오염원, 유기용제, 생산, 공정 등에서 배출되며⁽¹⁾ Mohamed *et al.* (2002), Vega *et al.* (2000), Cai *et al.* (2010) 등의 연구에서 주요 배출원이 자동차 배출가스인 것으로 알려졌다.⁽⁴⁻⁶⁾

Monod *et al.* (2001), Lee *et al.* (2011), Kerchich *et al.* (2012), Lan *et al.* (2013) 등은 도로변, 터널 등 교통량 밀집 지역의 대기 측정을 기반으로 BTEX 농도비를 활용하여 자동차 배출가스로부터의 대기오염영향에 대한 다양한 연구들을 보고하고 있다^(2,3,7,8). BTEX 농도비는 배출원을 추적하고 기단(air mass)의 광화학적 과정에 대한 정보를 얻기 위해 활용된다⁽⁹⁾.

이에 따라 본 연구에서도 실측을 기반으로 한 현재 운행 중인 소·중형 RV(Recreational Vehicle) 및 소형승합차량(MPV, Multi-Purpose Vehicle)을 대상으로 BTEX

(Received: 2 Oct 2018, Received in revised form: 14 Nov 2018, Accepted: 17 Nov 2018)

*교통환경연구소

[†]책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : sds87@korea.kr

TEL : (032)560-7622 FAX : (032)561-7013

(benzene, toluene, ethylbenzene, xylene)의 배출량을 산정하고, T/B (toluene/benzene) 비율과 C₂-benzenes (xylenes, ethylbenzene)의 상관성을 파악하고자 연구를 수행하였으며, 자동차 배출가스에 의한 대기오염영향의 기여율 추적 및 평가 등 대기질 관리의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 시험방법

2.1 시험차량

본 연구에서 사용 된 시험대상 차량은 국내 보급되고 있는 차량 중 판매 점유율이 높은 소형 RV(3대), 중형 RV(2대), 소형 승합차(3대)를 선정하였으며 시험차량의 연료는 경유를 사용하였다. 시험차량인 Euro-5 RV 차량의 등록대수는 전국 Euro-5 경유차량의 약 42.5%로 가장 높게 차지하고 있으며(Capss, 2015), 또한 경유차 배출가스는 1급 발암물질로 분류되어 있기 때문에 인체 위해성과 관련이 높은 BTEX의 배출특성을 분석하고자 하였다. 본 연구에 선정된 시험차량의 제원을 Table 1에 나타내었다.

2.2 주행모드

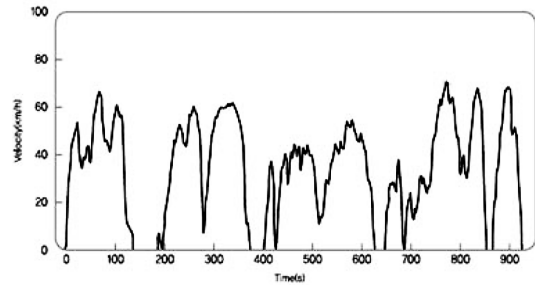
주행모드는 국내 도로 운행조건을 반영하여 국립환경과학원에서 개발한 차속별 모드인 NIER-9 모드를 사용하였으며 모드의 주행특성과 운행패턴을 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. NIER-9 모드는 배출가스 인증시험모드인 CVS-75, NEDC 모드와 평균차속이 동일하여 선정하게 되었다.

Table 1 Specifications of the tested vehicles

No.	Vehicle type	Displacement (cc)	Vehicle weight (kg)	Emission Standard	After-treatment
RV1	RV	2,000	1,644	Euro-5	DOC+DPF
RV2		2,000	1,644	Euro-5	DOC+DPF
RV3		2,000	1,857	Euro-5	DOC+DPF
RV4		2,200	1,929	Euro-5	DOC+DPF
RV5		2,200	2,017	Euro-5	DOC+DPF
MPV1	MPV	2,200	2,095	Euro-5	DOC+DPF
MPV2		2,200	2,175	Euro-5	DOC+DPF
MPV3		2,500	2,290	Euro-5	DOC+DPF

Table 2 Specifications of driving mode

Test mode	Total driving distance (km)	Driving time (s)	Average speed (km/h)	Maximum speed (km/h)
NIER-9	8.76	926	34.1	70.9



NIER-9

Fig. 1 The driving patterns on NIER modes

2.3 시험방법

2.2.1 차대동력계 배출가스 측정장치 및 시스템

Figur 2에는 본 연구에 사용된 차대동력계(Chassis dynamometer)에 의한 배출가스 측정 시스템을 나타낸 것으로, 차대동력계는 자동차가 실제 도로주행 시의 상태를 반영하기 위해 롤러 위에서 시험차량이 정지, 정속, 가속, 감속 등의 도로주행 조건을 모사하여 주행할 수 있도록 기계적으로 부하를 걸어 주는 장치이다. 배출가스 측정장치는 정용량 시료채취 장치, 희석터널, 보조운전 장치, 입자상 물질 측정 장치, 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다.

2.2.2 배출가스 분석

시험 차량이 차대동력계의 롤러 위에서 설정된 주행 모드에 따라 운전 시 배기관으로 배출되는 가스는 희석터널에서 희석공기와 함께 혼합된 후 정용량 시료채취장치(CVS, Constant volume sampler)로 유입되며, 혼합 가스는 시료 채취백에 포집하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 배출가스 중 CO 항목은 비분산 적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC 항목은 열식 불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx 항목은 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)으로 각각 분석하였다.

2.2.3 휘발성유기화합물(VOCs) 분석

배출가스 중 VOCs 분석을 위해 희석터널에서 희석공

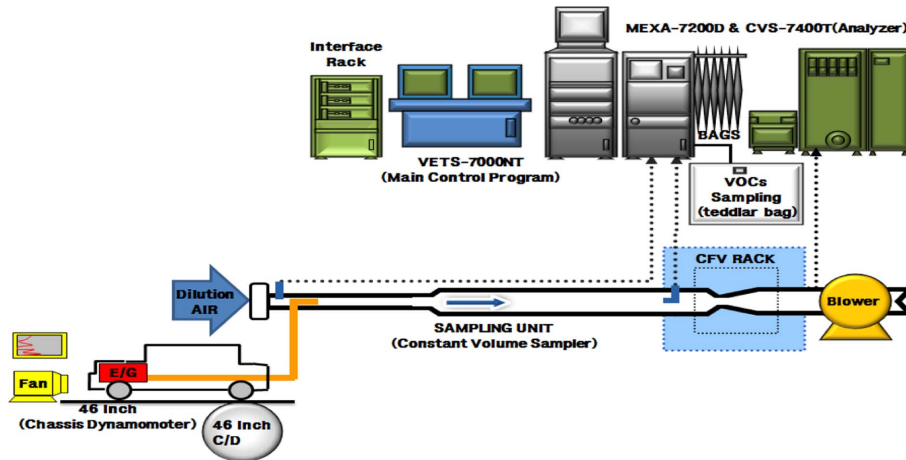


Fig. 2 Schematic diagram on vehicle emission test process

Table 3 Analysis conditions of TD and GC/MS

Activity	Conditions
TD (Thermal Desorption)	
Prepurge Time	1 min
Trap Purpurge Time	1 min
Sample Flow Rate	20 ml/min
Trap Low Temperature	-15°C
Trap High Temperature	300°C
Trap Hold Temperature	5 min
Split Flow	30 ml/min
Gas Chromatography	
Column	DB-1, 60 m × 0.32 mm × 3 μm film thickness
Carrier Gas	Helium
Column flow	2 ml/min
Temperature Program	
Initial Column Temperature	30°C
Initial Hold Time	30 min
Program	5°C/min to 150°C and hold 10 min 15°C/min to 200°C and hold 10 min
Final Temperature	200°C
Final Hold Time	10 min
Mass Spectrometer	
Transfer Line Temperature	200°C
Ion Source Temperature	200°C
Electron Energy	70 volts
Ionization Mode	EI (Electron Ionization)
Mass Range	35 ~ 350 amu (SCANE Mode)

기와 함께 혼합된 후 CVS(Constant volume sampler)로 유입되는 배기관의 배출가스를 유기화합물에 대한 흡착성이 적은 것으로 알려져 있는⁽¹⁰⁾ 5 L 용량의 테들러 백(Tedlar bag)에 시료채취 하였다. 또한 희석공기 중에 포함된 오염물질의 양을 보정하기 위하여 희석공기도 동시에 포집하여 배출량 정량 시 배경농도로 활용하였다.

VOCs 분석은 EPA TO-14A 방법을 활용하였으며⁽¹¹⁾ 테들러 백에 포집된 시료는 열탈착장치(Markes, Unity)에 주입하여 저온농축트랩(Cold trap)에 농축된 후 고온 열탈착하여 GC(Gas Chromatography) 분석 컬럼을 통해 GC/MS(Agilent 7890B/ALMSCO BenchTOF-Select, Markes)로 분석하였다. GC 오븐의 온도는 30°C에서 30분간 유지하고, 5°C/min의 온도 증가속도로 150°C 까지 온도를 서서히 올려주어 10분간 유지한 후 15°C/min의 온도 증가속도로 200°C까지 온도를 올려주어 10분간 유지하였다.

Yoo *et al.*(2015)의 선행연구에서도 배출가스 중 VOCs는 차대동력계를 이용하여 측정하였으며EPA TO-14A 방법을 적용하여 열탈착장치가 부착된 GC/MS로 분석하였다.⁽¹²⁾ 분석대상 VOCs 항목은 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene)이며, Table 3에 VOCs 분석조건을 나타내었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 BTEX 농도에 관한 고찰

Table 4에 RV, MPV 차량의 BTEX 배출량을 나타내었으며 측정결과는 전체 차량의 각 4회 평균값으로 분

Table 4 Emission of the BTEX (unit: mg/km)

Compounds	Vehicles	
	RV	MPV
Benzene	0.083	0.061
Toluene	0.182	0.133
Ethylbenzene	0.157	0.083
Xylene	0.137	0.082

석하였다. toluene은 각각 0.182 mg/km, 0.133 mg/km로 가장 높게 배출되는 경향을 보였다.

자동차 배출가스에 의한 대기오염영향을 평가하기 위해 Lee *et al.* (2011)의 선행연구로부터⁽⁸⁾ 자동차 배출가스의 영향을 반영할 수 있는 교통량이 많은 터널, 도로변의 측정 결과를 활용하여 본 연구의 결과와 비교·분석하였다. Fig. 3에 자동차 배출가스, 터널, 도로변에서 측정된 BTEX 구성비율을 나타내었다. 본 연구의 BTEX 배출특성 결과 RV, MPV 차량은 toluene, ethylbenzene, xylene, benzene 순으로 배출되었다. BTEX 중 toluene과 ethylbenzene이 50% 이상 대부분 차지하는 것으로 나타났다. 선행연구의 터널과 도로변에서는 toluene, xylene, benzene, ethylbenzene 순으로 배출되었으며 toluene이 자동차 배출가스, 터널, 도로변 각각 32.5~37.0%, 58.5%⁽⁸⁾, 60.2%⁽⁸⁾로 가장 높게 차지하는 경향을 보였다. 자동차 배출가스에서 toluene의 비율이 터널과 도로변 보다 낮게 나타났으며, 이는 터널과 도로변이 유기용제나 외부 배출원의 영향을 받은 것으로 판단된다.

3.2 Toluene과 Benzene의 비율(T/B Ratio)

대기 중 benzene은 lifetime이 길기 때문에 OH 라디칼의 반응성이 낮고 안정적이며 이에 반해 toluene의 OH 라디칼 반응성은 benzene보다 5배 높다^(3,13,14).

benzene은 자동차 배출가스와 증발 배출의 marker로

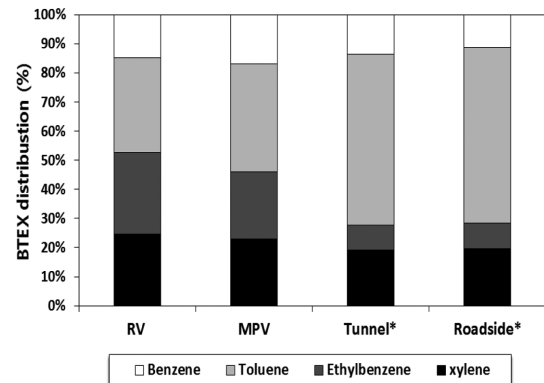


Fig. 3 Comparison of the BTEX distribution at different sources

주로 배출되는 반면 toluene은 자동차 배출가스 이외 용제의 증발, 페인트 등에서 배출되므로 T/B 비는 발생원의 지표, 교통과 비교통 발생원의 상대 존재비를 확인하는데 활용된다^(15,16). 따라서 T/B 비를 이용하여 자동차 배출가스의 발생원을 예측할 수 있다. Julia Griselda *et al.* (2017)는 선행 연구를 통해 BTEX 농도에 대한 2 이하의 T/B 비는 자동차 배출가스의 영향이 높고 2보다 높은 T/B 비는 산업시설, 지역적 발생과 상관성이 높다고 보고하고 있다⁽¹⁶⁾. 또한 Lan *et al.* (2013)은 여러 나라들의 교통량 연구결과로부터 T/B값을 3이하로 나타내었으며⁽²⁾, Sweet and Vermette(1992), Scheff and Wadden(1993)는 자동차 배출가스에서의 T/B값을 2.0으로 나타내었다^(17,18). 본 연구결과 T/B값은 2.2로 유사한 경향을 보였다. 향후 T/B의 비율을 이용하여 자동차 배출가스에 의한 대기오염영향을 파악하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

벤젠 농도를 기준으로 VOCs의 상대비를 나타낸 결과 BTX 상대농도비는 1:2.2:1.1로 나타났다. 이는 Park *et al.* (2002)에 의해 VOCs 농도에 미치는 발생원의 영향 평가를 위해 이용하는 방법이라고 알려져 있다⁽¹⁹⁾. 차량 배출

Table 5 Correlations between BTEX compounds

	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene
Benzene	1				
Toluene	0.78	1			
Ethylbenzene	0.82	0.90	1		
m,p-Xylene	0.88	0.98	0.98	1	
o-Xylene	0.90	0.97	0.97	0.97	1

가스의 영향력이 높은 국내 터널 내부의 경우와 비교해본 결과 Park *et al.* (2002)은 BTX 상대농도비를 1:1.5:0.8로 나타내었으며⁽¹⁹⁾ 본 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

Table 5은 BTEX 상호간의 상관계수를 나타낸 것으로 0.78~0.98의 양호한 상관성을 보였다. khoder (2007)의 연구에 따르면 benzene은 교통밀집 지역에서 다른 VOCs에 대한 marker로써 알려져있다⁽²⁰⁾. 이와 같이 BTEX 간의 양호한 상관성은 유사한 시험차량 및 동일한 배출원인 차량 배출가스의 영향을 받고 있기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

3.3 C₂-benzenes(xylene, ethylbenzene)비율과 상관성

특정 VOC의 비율은 배출원을 확인하고 구별하기 위한 fingerprint로 이용된다⁽²¹⁾. Na *et al.* (2005)에 의해 Xylene(m,p-xylene, o-xylene)은 BTEX 중 오존생성에 가장 기여하는 물질로 알려져 있으며⁽²²⁾ Nelson and Quigley (1984), Monod *et al.* (2001), Hsieh and Tsai (2003)의 연구결과에서 m,p-xylene/ethylbenzene의 비는 대기 중 광화학적 반응성을 조사하고 기단(air mass)의 광화학적 경과시간을 예측하는데 활용된다^(7,9,13). 이는 Wang *et al.* (2014)에 의해 ethylbenzene과 xylene은 유사한 배출원이지만 대기 중 화학적 반응성이 다르기 때문인 것으로 보고하고 있다⁽²¹⁾. RAMÍREZ-LARA *et al.* (2013)의 연구결과에 따르면 높은 X/E 값은 기단이 대기 중 오래 머무름(old emissions)을 의미하며, 낮은 X/E 값은 최근(fresh emissions) 기단을 의미하는 것으로 나타내었다⁽²³⁾.

Figure 4는 m,p-xylene, o-xylene의 상관관계를 나타낸 것으로, m,p-xylene/o-xylene비는 약 3.0이며 R²값은 0.99로 높은 상관성을 보였다. Monod *et al.* (2001)는 m,p-xylene과 o-xylene의 끓는점이 138.4~144.5°C로 거의 비슷하기 때문에 상관성이 높으며⁽⁷⁾ Limpaseni *et al.* (2008)는 m,p-xylene, o-xylene는 이성질체로 화학적 성질이 비슷하기 때문에 연소 과정이 유사한 것으로 보고하고 있다⁽²⁴⁾. 선행연구로부터 자동차 배출가스의 영향이 큰 도로, 터널에서의 m,p-xylene/o-xylene 비를 비교해본 결과 각각 2.7~3.1^(8,24,25), 2.8⁽⁸⁾로 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

Monod *et al.* (2001)의 연구결과에서 m-xylene/p-xylene와 m-xylene/o-xylene의 상관성은 도시 대기, 교통밀집 대기, 액체 연료 배출원에서 모두 높았으며 일정한 비를 나타내었다⁽⁷⁾. 또한 m,p-xylene/ethylbenzene (X/E) 비는 Fig. 5의 결과 같이 약 1.0이며 R²값은 0.98로 높은 상관

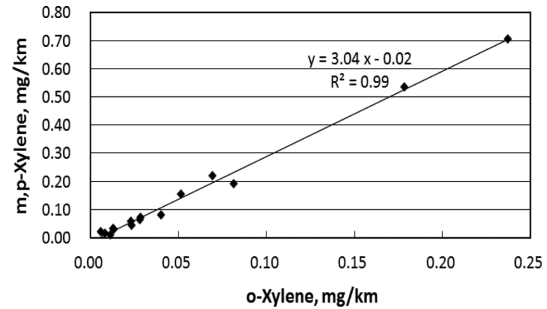


Fig. 4 Correlation between m,p-xylene and o-xylene

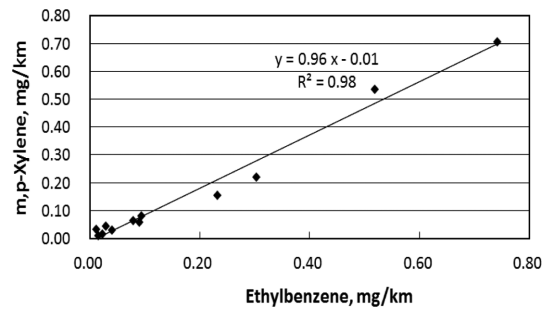


Fig. 5 Correlation between m,p-xylene and ethylbenzene

성을 보였다. 선행연구로부터 자동차 배출가스의 영향이 큰 도로, 터널에서의 X/E 비를 비교해본 결과 각각 1.4⁽⁸⁾, 1.4⁽⁸⁾로 본 연구의 결과는 0.4정도 낮았다.

향후 본 연구결과와 비율을 이용하여 대기오염 발생원 추적 시 자동차 배출가스에 의한 대기오염의 marker로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 소·중형 RV 및 MPV 차량에 대한 BTEX 배출특성 및 C₂-benzenes의 상관성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) BTEX 농도에 대한 분석결과 RV, MPV 차량의 toluene은 각각 0.182 mg/km, 0.133 mg/km로 가장 높게 배출되었으며, toluene과 ethylbenzene이 50% 이상 대부분 차지하는 것으로 나타났다.

(2) BTX 상대농도비는 1:2.2:1.1, BTEX 상호간의 상관계수는 0.78~0.98로 이는 유사한 시험차량 및 동일한 배출원인 배출가스에 의해 높은 상관성을 보인 것으로 판단된다.

(3) 자동차 배출가스의 T/B(toluene/benzene)비는 2.2로

도로이동오염원의 영향 파악에 활용될 수 있을 것이다.

(4) 자동차 배출가스의 m,p-xylene/ethylbenzene 비는 1.0, m,p-xylene/o-xylene는 3.0으로 나타났으며, R²값은 각각 0.98, 0.99로 높은 상관성을 보여 자동차 배출가스에 의한 대기오염의 marker로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

(5) BTEX는 오존 및 2차 유기 에어로졸 생성에 기여할 뿐만 아니라 인체 위해성과 관련한 유해물질로 분류되어 있는 바, 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구결과는 BTEX간의 비율을 활용하여 향후 자동차 배출가스에 의한 기여도 평가 및 대기오염 특성 예측의 기초자료로 활용될 것이다.

후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2016-01-01-016).

참고문헌

- (1) NIER, "National air pollutants emission service", 2014.
- (2) Tran Thi Ngoc Lan, Pham Anh Minh, "BTEX pollution caused by motorcycles in the megacity of HoChiMinh", *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 25, No. 2, 2013, pp. 348-356.
- (3) Yacine Kerchich and Rabah Kerbachi, "Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene) levels at urban and semirural areas of Algiers City using passive air samplers", *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 62, No. 12, 2012, pp. 1370-1379.
- (4) Mahmoud F. Mohamed, Daiwen Kang, Viney P. Aneja, "Volatile organic compounds in some urban locations in United States", *Chemosphere*, Vol. 47, 2002, pp. 863-882.
- (5) Elizabeth Vega, Violeta Mugica, RocmHo Carmona, Edgar Valencia, "Hydrocarbon source apportionment in Mexico city using the chemical mass balance receptor model", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, 2000, pp. 4121-4129.
- (6) Changjie Cai, Fuhai Geng, Xuexi Tie, Qiong Yu, Junlin An, "Characteristics and source apportionment of VOCs measured in Shanghai, China", *Atmospheric Environment*, Vol. 44, 2007, pp. 5005-5014.
- (7) Anne Monod, Barkley C. Sive, Pasquale Avino, Tai Chen, Donald R. Blake, F. Sherwood Rowland, "Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene", *Atmospheric Environment*, Vol. 35, 2001, pp. 135-149.
- (8) Je Seung Lee, Yu Ri Choi, Hyun Soo Kim, Soo Mi Eo and Min Young Kim, "Characteristics of hazardous volatile organic compounds (HVOCs) at roadside, tunnel and residential area in Seoul, Korea", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 27, 2011, pp. 558-568.
- (9) P. F. NELSON and S. M. QUIGLEY, "The hydrocarbon composition of exhaust emitted from gasoline fuelled vehicles", *Atmospheric Environment*, Vol. 18, 1984, pp. 79-87.
- (10) NIER, "A Study on the estimation of the HAPs emission factors for the mobile source (II)", 2005.
- (11) EPA, "Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air", EPA/625/R-96/010b, 1999.
- (12) Heung-Min Yoo, JiHwan Son, Gyu-Tae Park, SunHee Mun, ChangWan Yun, JeongSoo Kim, and JongTae Lee, "Evaluation on Emission Characteristics of Trace Hazardous Material from Motorcycle Exhaust by EURO III", *Journal of Illass-korea*, Vol. 20, No. 4, 2015.
- (13) Chu-Chin Hsieh, Jiun-Horng Tsai, "VOC concentration characteristics in Southern Taiwan", *Chemosphere*, Vol. 50, 2003, pp. 545-556.
- (14) Calvert, J. G., Atkinson, R., Becker, K.H., Kamens, R. M., Seinfeld, J. H., Wallington, T. J., Yarwood, G., "The mechanisms of atmospheric oxidation of aromatic hydrocarbons", Oxford University Press, New York, 2000.
- (15) M. A. Alghamdi, M. Khoder, A. S. Abdelmaksoud, R. M. Harrison, T. Hussein, H. Lihavainen, H. Al-Jeelani, M. H. Goknil, I. I. Shabbaj, F. M. Almeahmadi, A.-P. Hyvärinen, K. Hämeri, "Seasonal and diurnal variations of BTEX and their potential for ozone formation in the urban background atmosphere of the coastal city Jeddah, Saudi Arabia", *Air Qual Atmos Health*, Vol. 7, 2014, pp. 467-480.
- (16) Julia Griselda Cerón Bretón, Rosa Maria Cerón Bretón, Francisco Vivas Ucan, Cynthia Barceló Baeza, Maria de la Luz Espinosa Fuentes, Evangelina Ramirez Lara,

- Marcela Rangel Marr, Jorge Alfredo Montero Pacheco, Abril Rodriguez Guzman and Martha Patricia Uc Chi, "Characterization and sources of aromatic hydrocarbons (BTEX) in the atmosphere of two urban sites located in yucatan peninsula in mexico", *Atmosphere*, Vol. 8, 107, 2017.
- (17) Sweet, C. W. and S. J. Vertmette, "Toxic volatile organic compounds in urban air in Illinois", *Environmental Science and Technology*, Vol. 26, No. 1, 1992, pp. 165~173.
- (18) Scheff, P. A. and R. A. Wadden, "Receptor modelling of volatile organic compounds. 1. emission inventory and validation", *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, No. 4, 1993, pp. 617~625.
- (19) Mi-Hyun kim, San-Gon Park, Sung-Ok Baek, "Characteristics of atmospheric concentration of volatile organic compounds at a heavy-traffic site in a large urban area", *J. Kosae*, Vol. 18, 2002, pp. 113~126.
- (20) M. I. Khoder, "Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo", *Atmospheric Environment*, Vol. 41, 2007, pp. 554~566.
- (21) Hongli Wang, Shengrong Lou, Cheng Huang, Liping Qiao, Xibin Tang, Changhong Chen, Limin Zeng, Qian Wang, Min Zhou, Sihua Lu, Xuena Yu, "Source profiles of volatile organic compounds from biomass burning in yangtze river delta, china", *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 14, 2014, pp. 818~828.
- (22) Kwangsam Na, Kil-Choo Moon, Yong Pyo Kim, "Source contribution to aromatic VOC concentration and ozone formation potential in the atmosphere of Seoul", *Atmospheric Environment*, Vol. 39, 2005. pp. 5517~5524.
- (23) Ramírez-lara, E., Fernandez-delgadillo, S., Cerón-bretón J. G., Cerón-bretón, R. M., Guevara-carrió, E., Alderete-chavez, A., Carballo-pat, C. G., Anguebes-franceschi, F., Peva-pamplona, Inry, Ortínez-alvarez, J. A., Andlópez-chuken, U., "Levels of aromatic hydrocarbons in the atmosphere of one urban site located at the northeast of Mexico during winter 2013", *Environment and Development*, ISBN: 978-960-474-375-9.
- (24) Wanna Laowagul, Hathairatana Garivait, Wongpun Limpaseni and Kunio Yoshizumi, "Ambient air concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in bangkok, thailand during april-august in 2007", *Atmospheric Environment*, Vol. 2-1, 2008. pp. 14~25.
- (25) Wanna Laowagul, Kunio Yoshizumi, "Characterization of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene concentrations in the ambient atmosphere of tokyo, japan", *Seikatsu Eisei*, Vol. 52, 2008, pp. 290~299.