

## 2행정 소형엔진의 대기오염물질 배출특성에 관한 연구

### A Study on the Characteristic of Emission for Air Pollutant by Small Two-stroke Engines

김필수\* · 최상진 · 박건진 · 한용희 · 김대곤<sup>1)</sup> · 여소영<sup>1)</sup> · 김 정<sup>2)</sup> · 고지원<sup>2)</sup> · 장영기<sup>2)</sup>

(주)나인에코, <sup>1)</sup>국립환경과학원 지구환경연구과, <sup>2)</sup>수원대학교 환경에너지공학과

(2016년 10월 10일 접수, 2016년 11월 10일 수정, 2016년 12월 8일 채택)

Pil-Su Kim\*, Sang-Jin Choi, Geon-Jin Park, Yong-Hee Han, Dai-Gon Kim<sup>1)</sup>,  
So-Young Yeo<sup>1)</sup>, Jeong Kim<sup>2)</sup>, Ji-Won Goh<sup>2)</sup> and Young-Kee Jang<sup>2)</sup>

NINECO

<sup>1)</sup>Global Environment Research Division, National Institute of Environmental Research

<sup>2)</sup>Department of Environmental & Energy Engineering, Suwon University

(Received 10 October 2016, revised 10 November 2016, accepted 8 December 2016)

#### Abstract

In this study, pilot experiments were conducted by setting operation conditions to analyze characteristics of emission for air pollutant from small two-stroke engines. Emission factors of the measured concentration of pollutant were compared with EEA. Emission factor of CO analyzed by experiments - concentration, flow rate, fuel consumption, etc. - was estimated at 816,011 g-CO/ton-fuel in average. It was confirmed that more than 80% of the fuel consumption is discharged to the Carbon Monoxide, and that as the engine load becomes higher, emission factor of CO increases in the form of log function. The average emission factor of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> was 3,801 g-NO<sub>x</sub>/ton-fuel and 3,730 g-PM<sub>10</sub>/ton-fuel each. The deviation was not large by comparing the fuel-based emission factor of EEA and the result of this study. Since considerable pollutants are expected to be discharged from the small two-stroke engines, continuous research and support of the policy is required.

**Key words** : Two-stroke engine, Characteristic of emission, Emission factor, Non-road equipment, Air pollutants

#### 1. 서 론

현재 정부는 대기환경 개선 목표치를 달성하기 위해 오염물질 저감 정책과 민간 기업 지원사업 등을 추진해 오고 있으며, 환경부에서는 대기질 개선을 위한 2차

수도권 대기환경관리 기본계획(2015~2024)을 수립 및 공포하여 배출원 관리를 시행하고 있다.

하지만 좀 더 현실적인 정책 실행과 지원을 위해서는 국내 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)의 배출원 분류체계 중 누락되어 있는 배출원을 추가로 조사하여 포함할 필요가 있으며, CO와 VOCs에 대하여 현재까지 관리되고 있지 않은 주요 배출원으로 휘발유를 사용하는 비도로 장비가 언급되

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)70-4699-6114, E-mail : psukim@daum.net

고 있다(Goh, 2016; KEITI, 2014).

최근 선진국 시장수요의 증가로 Class IV (20~50 cc, handheld)급 소형엔진의 활용 분야 및 수요시장이 광범위하게 확대되고 있지만 국내 기술수준은 기존 농업/원예용 제품의 기술수준에 머물러 있는 수준이다(Kim et al., 2008). 국내에서도 2행정으로 이루어진 엔진에 대한 기술적인 연구가 일부 진행되고 있으나 매우 부족한 실정이며, 특히 Class IV급 소형엔진에 대한 연구는 기술적으로나 환경적으로 진행된 연구가 거의 전무한 실정이다.

비도로 장비는 대부분 정격출력이 약 19kW (25 hp) 이하인 2행정 소형엔진으로 구성되어 있으며, 예초기, 잔디깎기, 분무기, 살포기, 양수기, 소형 발전기 등 적용 분야가 매우 다양하다(Chung, 1995). 이러한 장비는 비교적 배기량이 낮고, 연료를 윤활유와 혼합하여 사용하는 특징이 있으며, 엔진 내 흡·배기가 불안정하여 열손실이 큰 연소 특성상 엔진 가동 시 불완전연소를 수반하기 때문에 HC, CO 등 오염물질을 다량으로 배출할 것으로 추정된다. 또한, 2행정 소형엔진은 생활 주변 가까운 곳에서 사용되는 운영특성 상 직접적으로 인체에 미치는 영향이 높을 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 2행정 소형엔진에서 배출되는 오염물질별 배출특성을 확인하기 위하여 운영조건에 따른 오염물질별 농도를 측정하기 위한 Pilot 형태의 실험을 실시하였고, 이를 통해 도출된 오염물질별

배출계수와 해외의 배출계수를 비교하여 국내 실정에 맞는 소형엔진 가동 시 배출특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 측정 및 분석방법

CARB (California Air Resources Board)에서는 소형엔진의 제작 인증기준을 확인하기 위하여 엔진동력계와 비분산적외선분석기 (NDIR, Non-Dispersive Infra-red)를 이용하여 배출가스 인증기준을 확인하고 있으며 (CARB, 1999), EPA (Environmental Protection Agency)의 소형엔진에 대한 규제기준의 충족여부를 확인하고 있는 Inspection 기관인 Intertek 사에서도 소형 엔진동력계를 이용하여 배출특성을 확인하고 있다(Timothy, 2010; U.S. EPA, 2008).

본 연구에서는 2행정 소형엔진의 배출특성을 확인하기 위하여 판매비율이 높은 2종의 장비 (Brush cutter, Blower)를 선정하였으며 (표 1), Pilot 형태로 소형엔진에 대한 배출특성을 확인하기 위하여 밀폐형 챔버를 제작하여 실험을 수행하였다. 입자상 오염물질 (PM<sub>10</sub>)은 굴뚝먼지 채취장치 (ASTEK Stack sampler)를 이용하여 등속흡인하여 시료를 채취하였으며, 가스상 오염물질은 표 2의 전기센서식 실시간 가스분석기 (MK 6000)

Table 1. Equipment specification used in this study.

	
<p>Equipment: Brush cutter                  Engine: Two-stroke                  Displacement: 42.7 cc                  Weight: 9.5 kg                  Output: 2.1 hp (1.6 kW)                  Engine RPM: 8,000 RPM</p>	<p>Equipment: Blower                  Engine: Two-stroke                  Displacement: 65.5 cc                  Weight: 9.4 kg                  Output: 3.7 hp (2.8 kW)                  Engine RPM: 7,500 RPM</p>
<p>Mixed combustion rate - Gasoline : Lubricant = 25 : 1</p>	

**Table 2. Analysis item and range of analyzer used in this study.**

Analyzer	Item	Range		Unit
		Mean range	Scale range	
MK 6000 (Electrochemical analysis)	O <sub>2</sub>		0~25	vol, %
	CO		0~20,000	ppm
	CO <sub>2</sub>		0~100	ppm
	NO		0~5,000	ppm
	NO <sub>2</sub>		0~2,000	ppm
	NO <sub>x</sub>		0~7,000	ppm
	SO <sub>2</sub>		0~5,000	ppm
GV-100s (Used gas-detecting tube)	CO	0.05~4	0.1~2.0	%
		0.1~10	0.2~5.0	%
	NO <sub>x</sub>	5~625	10~250	ppm
	SO <sub>2</sub>	20~3,600	100~1,800	ppm
	1,3-Butadiene	50~800	50~800	ppm
	Acetaldehyde	2.5~100	5~100	ppm
	Acrolein	3.3~800	10~800	ppm
	Benzene	2~312	5~120	ppm
	Formaldehyde	8~6,400	20~2,000	ppm
	Toluene	5~690	10~300	ppm



**Fig. 1. Configuration of the field experiment in this study.**

와 검지관식 가스측정기(GASTEK)로 측정하여 비교 후 정합성을 검토하였다. 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)의 경우 EEA(2013)에서 제시하고 있는 VOCs 물질 중 질량 함유율(%)이 높은 물질을 선택하여 측정하였다.

**2.2 시험장치 및 시료채취**

2행정 소형엔진의 가동 시 외부의 환경적인 요인을 최대한 배제하기 위하여 별도의 실험장소를 섭외하고

가로 9m, 세로 3m, 높이 2.5m의 밀폐형 챔버를 제작 하였다(그림 1(A)). 본 연구에서 배출특성을 확인하기 위해 선정한 예초기(Brush cutter)와 브로워(Blower)에서 배출되는 가스의 농도를 측정하기 위해서는 일정한 유속을 유지해야 하기 때문에 배기구 형태를 확인 하고(그림 1(B)), 배기구에 직접 연결할 수 있는 직경 0.2m, 길이 3.5m의 덕트를 별도로 제작하였다(그림 1(C)).

대상 장비의 엔진부하에 따라 배출되는 가스의 양이

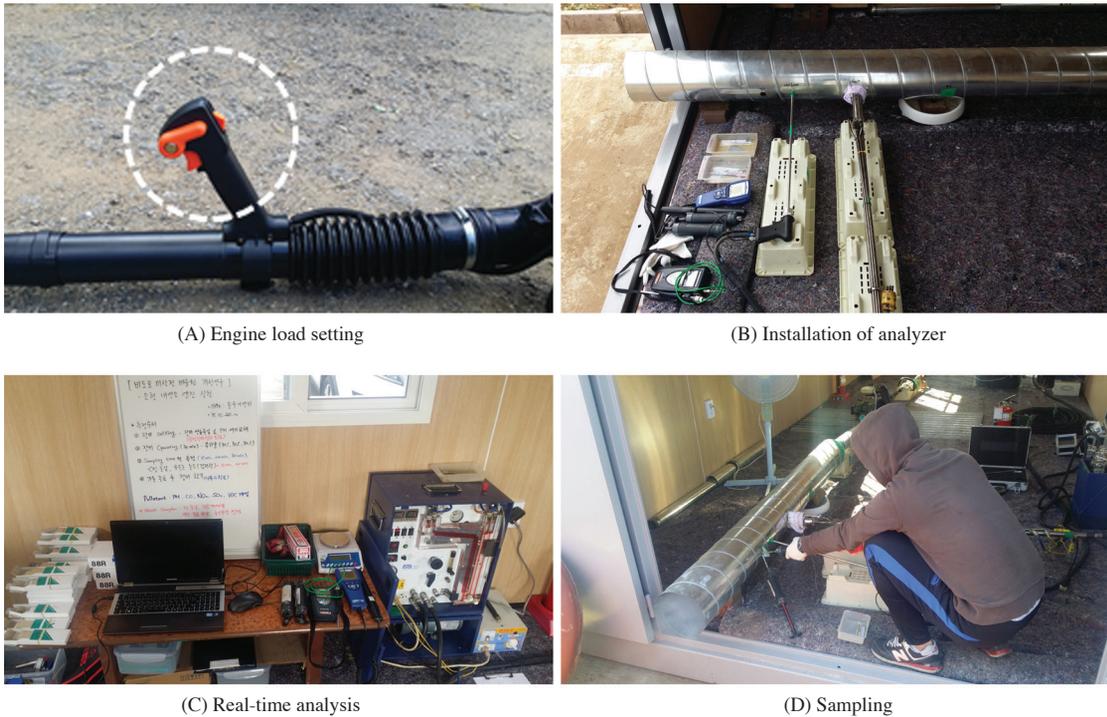


Fig. 2. Course of the field experiment in this study.

나 농도가 달라질 것으로 판단하였으나 정량적으로 엔진부하를 설정하는 데 어려움이 있어 운영부하 조절장치(그림 2(A))를 이용하여 엔진가동 시 부하를 1~3 단계로 설정하고, 이에 대한 부하율을 엔진 최대출력의 25%, 50%, 75%로 적용하였다. 설정한 부하별로 배기구로부터 연결된 덕트를 통해 각 측정공에 측정 및 분석장비를 설치(그림 2(B))하였고, CO와 NO<sub>x</sub>의 경우에는 실시간 가스분석기를 이용하여 오염물질 농도를 5초 간격으로 측정하여 운영에 따른 평균 농도를 분석하였다. 입자상 오염물질(PM<sub>10</sub>)은 굴뚝먼지 채취장치를 이용하여 여지의 무게차로 1회 운영 시 농도를 분석하였으며(그림 2(C)), VOCs에 대한 분석은 검지관을 사용하여 1회 운영 시 5분 간격으로 채취하여 평균 농도를 분석하였다. 장비를 실제 착용하여 실험하기에는 여러 제약조건 및 위험사항이 있어 엔진부하 조절장치를 조작하여 일정 부하를 유지할 수 있도록 하고, 설정한 부하별로 최저 10분에서 최고 30분간 운영하면서 측정하였으며, 운영시간당 사용된 연료량을 확인

하여 해당 장비의 연비(L/hr)를 분석하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 부하설정에 따른 측정결과

현장에서 오염물질별 배출농도를 측정하는 본 실험에 앞서 배출유속의 편차를 확인하여 일정한 수준으로 유지하기 위해 덕트의 직경을 0.1m, 0.05m 0.2m 순으로 변경했고, 최종적으로 덕트의 직경(0.2m)을 설정하여 오염물질별 농도를 측정하였다. 표 3의 25% 수준의 엔진부하를 설정하였을 때, 배출가스의 유량이 평균 0.004 m<sup>3</sup>/sec이었고, 가동시간에 따른 연료소비량은 약 0.38 L/hr로 분석되었다.

엔진의 부하를 50% 수준으로 유지하였을 때는 배출가스의 유량이 평균 0.005 m<sup>3</sup>/sec 수준이었으며, 연비는 약 0.74 L/hr 정도로 분석되어 실험회차별 편차가 크지 않았다. 75% 수준의 엔진부하로 가동 시에는 배출가스

Table 3. Measurement data of the engine load.

Load (%)	No.	Equip.	Output (kW)	Diameter of duct (m)	Velocity of flow (m/s)	Flux (m <sup>3</sup> /sec)	Operating time (min)	Fuel consumption (mL)	Fuel efficiency (L/hr)
25	1	B	2.8	0.1	0.39	0.003	30	200	0.40
	2	B	2.8	0.1	0.40	0.003	20	140	0.42
	3	B	2.8	0.05	2.27	0.004	30	190	0.38
	4	B	2.8	0.05	2.19	0.004	30	190	0.38
	5	B	2.8	0.05	2.23	0.004	30	200	0.40
	6	A	1.6	0.05	1.23	0.002	30	150	0.30
	7	B	2.8	0.2	0.12	0.004	30	190	0.38
	8	B	2.8	0.2	0.13	0.004	30	200	0.40
	9	B	2.8	0.2	0.11	0.003	30	200	0.40
	10	B	2.8	0.2	0.12	0.004	30	190	0.38
	11	B	2.8	0.2	0.12	0.004	30	190	0.38
50	1	B	2.8	0.05	3.17	0.006	30	430	0.86
	2	B	2.8	0.05	2.57	0.005	25	350	0.84
	3	B	2.8	0.05	2.49	0.005	30	350	0.70
	4	A	1.6	0.05	2.10	0.004	30	300	0.60
	5	B	2.8	0.2	0.20	0.006	30	360	0.72
	6	B	2.8	0.2	0.21	0.007	30	400	0.80
	7	B	2.8	0.2	0.18	0.006	30	350	0.70
	8	B	2.8	0.2	0.19	0.006	30	330	0.66
	9	B	2.8	0.2	0.17	0.005	30	340	0.68
	10	A	1.6	0.2	0.16	0.005	30	250	0.50
	11	A	1.6	0.2	0.15	0.005	20	300	0.90
	12	A	1.6	0.2	0.16	0.005	20	300	0.90
75	1	B	2.8	0.05	6.55	0.013	10	200	1.20
	2	B	2.8	0.05	6.80	0.013	10	300	1.80
	3	B	2.8	0.05	6.20	0.012	10	320	1.92
	4	B	2.8	0.2	0.50	0.016	10	300	1.80
	5	B	2.8	0.2	0.45	0.014	10	280	1.68
	6	B	2.8	0.2	0.48	0.015	10	300	1.80
	7	B	2.8	0.2	0.42	0.013	10	290	1.74
	8	B	2.8	0.2	0.50	0.016	10	390	2.34
	9	A	1.6	0.2	0.25	0.008	30	450	0.90
	10	A	1.6	0.2	0.27	0.008	24	400	1.00
	11	A	1.6	0.2	0.20	0.006	20	300	0.90
	12	A	1.6	0.2	0.26	0.008	20	350	1.05

\*A: Brush cutter / B: Blower

**Table 4. Measured concentration of pollutants by the engine load.**

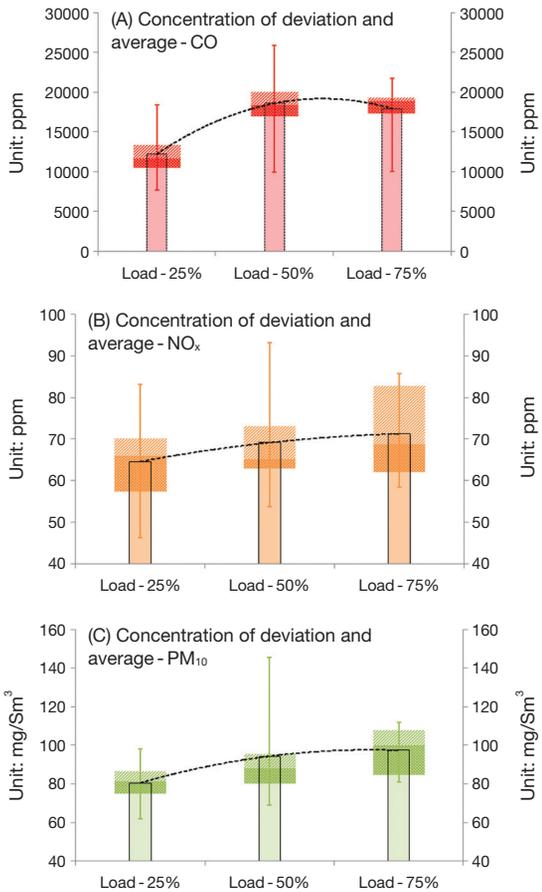
No.	CO [ppm]			NO <sub>x</sub> [ppm]			PM <sub>10</sub> [mg/Sm <sup>3</sup> ]		
	Load -25%	Load -50%	Load -75%	Load -25%	Load -50%	Load -75%	Load -25%	Load -50%	Load -75%
1	18,351	19,250	10,000						
2	17,451	25,897	17,160						
3	7,667	21,985	19,101						
4	11,907	15,826	17,451				86	88	98
5	9,139	17,500	18,787			71	81	89	106
6	11,641	19,355	18,796		93	63	98	87	81
7	14,596	17,909	19,923	83	65	58	75	79	85
8	10,590	15,371	19,923	66	63	58	62	80	112
9	10,545	17,352	17,328	46	63	82		69	
10	10,427	9,945	16,169	57	54	66		145	102
11	11,993	23,807	21,703	70	71	86		117	111
12		18,836	18,799		75	84			84
Aver.	12,210	18,586	17,929	65	69	71	81	94	97
σ	3,316	4,147	2,907	14	13	11	13	25	13

유량이 평균 0.012 m<sup>3</sup>/sec, 평균 연비는 1.51 L/hr이나 최소 0.9L/hr에서 최대 2.34L/hr로 편차가 발생하였다. 이는 정상적으로 설정할 수 없었던 엔진의 운영부하를 부하조절장치로 수기 조작하는 과정에서 실험회차별 설정 부하에 대한 오차가 편차를 발생시킨 것으로 판단되며, 엔진부하 증가에 따른 유량과 연비가 지수함수 형태로 증가되는 것을 확인하였다.

**3.2 오염물질별 측정농도 분석**

현장실험 회차별 2행정 소형엔진 장비의 엔진 운영 부하에 따른 오염물질별 농도 측정 결과(표 4) 중 CO는 덕트 내 일정 유속을 유지하기 위해 덕트 직경을 조절하는 과정 동안 지속적으로 농도를 측정하였으며, NO<sub>x</sub>와 PM<sub>10</sub>의 경우에는 배출가스의 유속을 일정하게 유지한 덕트의 직경이 0.2m인 시점부터 측정을 실시하였다.

대상 장비의 출력의 편차가 크지 않아 종합적으로 엔진부하에 따른 CO의 배출농도를 분석한 결과, 7,667~25,897 ppm 정도로 굉장히 높게 측정되었으며, 부하율이 50% 수준을 유지했을 때의 평균 농도가 가장 높게 나타났다. 엔진부하를 75% 수준으로 증가시키면 농도가 다시 감소하는 경향을 보였는데(그림 3(A)) 이는 엔진의 부하를 높은 수준으로 유지하면 엔진 내 불완전 연소되는 현상이 감소하기 때문이라고 판단된다. NO<sub>x</sub>의 경우에는 배출농도 수준이 운영부하에 따라 46~93 ppm 정도로 측정되었으며(그림 3(B)), PM<sub>10</sub>은 62~



**Fig. 3. Average concentration and deviation by the engine load.**

**Table 5. Measured concentration of VOCs by the engine load.**

No.	1,3-Butadiene [ppm]			Acetaldehyde [ppm]			Acrolein [ppm]		
	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%
1		>800	>800		27.3	30.0		10.0	35.0
2		>800	>800		47.5	35.5		14.5	32.5
3	>800	>800	>800	19.3	45.0	50.0	10.0	10.5	17.5
4	>800	>800	>800	19.3	70.0	50.0	1.0	80.0	40.0
5	>800	>800		15.0	32.5	60.0	1.0	10.0	60.0
6	>800			30.0	40.0	60.0	10.0	50.0	90.0
7	>800			29.5	50.0	42.0	5.0	30.0	
8	>800			35.0	37.5	42.0	15.0		
9				30.0	37.5	79.0	15.0		
10				21.0	70.0		18.0		
11				33.0	60.0	47.5			70.0
12					65.0	80.0		90.0	100.0
Aver.	-	-	-	25.8	48.5	52.1	9.4	36.9	55.6
$\sigma$	-	-	-	7.1	14.7	16.5	6.5	32.8	29.4

No.	Benzene [ppm]			Formaldehyde [ppm]			Toluene [ppm]		
	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%
1					166.7	150.0		>300	>300
2			80.0		275.0	250.0		>300	>300
3				120.0	490.0	1,100.0	>300	>300	>300
4	19.5		40.0	59.0	750.0	300.0	>300	>300	>300
5	39.5	20.0	40.0	110.0	110.0	500.0	>300	>300	
6		20.0	20.0	200.0	200.0	500.0	>300		
7	10.0	20.0	20.0	87.5	225.0	500.0	>300		
8		20.0	20.0	87.5	165.0	500.0	>300		
9	10.0	20.0	95.0	87.5	165.0	1,250.0			
10	20.0	10.0		100.0	625.0				
11	20.0	20.0	40.0	135.0	750.0	900.0			
12		20.0	40.0		725.0	750.0			
Aver.	19.8	18.8	43.9	109.6	387.2	609.1	-	-	-
$\sigma$	10.8	3.5	26.7	40.4	259.8	352.0	-	-	-

145 mg/Sm<sup>3</sup>의 배출농도 수준으로 분석되었다(그림 3(C)). NO<sub>x</sub>와 PM<sub>10</sub>은 엔진부하를 증가시킬수록 농도가 높아지는 경향을 보였고, 이는 엔진부하를 높일수록 증가된 연료사용량이 요인으로 작용했다고 판단된다.

VOCs 중 검지관식 가스측정기를 이용하여 측정할 대상물질은 1,3-Butadiene, Acetaldehyde, Acrolein, Benzene, Formaldehyde, Toluene 등 총 6종이며, 이에 대한 운영부하별 측정농도는 표 5와 같다. 1,3-Butadiene과 Toluene의 경우에는 측정할 수 있는 검지관의 농도 범위가 최대 800 ppm, 300 ppm이었으나, 측정 농도가 최대범위를 벗어나는 결과를 확인하였으며, 나머지 4종의 물질은 운영부하를 증가시킬수록 측정농도가 높아

지는 것으로 분석되었다(그림 4).

### 3.3 오염물질별 배출계수 분석 및 비교

엔진부하 설정 수준에 따라 실험회차별로 측정된 오염물질별 농도와 연료사용량을 기준으로 연료사용량 당 오염물질 배출계수(g-pollutant/ton-fuel)를 분석하였고(표 6), VOCs 배출계수의 경우에는 본 연구에서 일부 물질만을 대상으로 측정하였기 때문에 분석대상에서 제외하였다.

오염물질별 분자량과 연료의 비중(0.72 kg/L)을 고려하여 오염물질별 배출계수를 분석하였으며, CO의 배출계수는 평균 816,011 g/ton으로 산출되었다. 이는 연료사용량의 약 80% 이상이 CO로 배출되는 것을 의

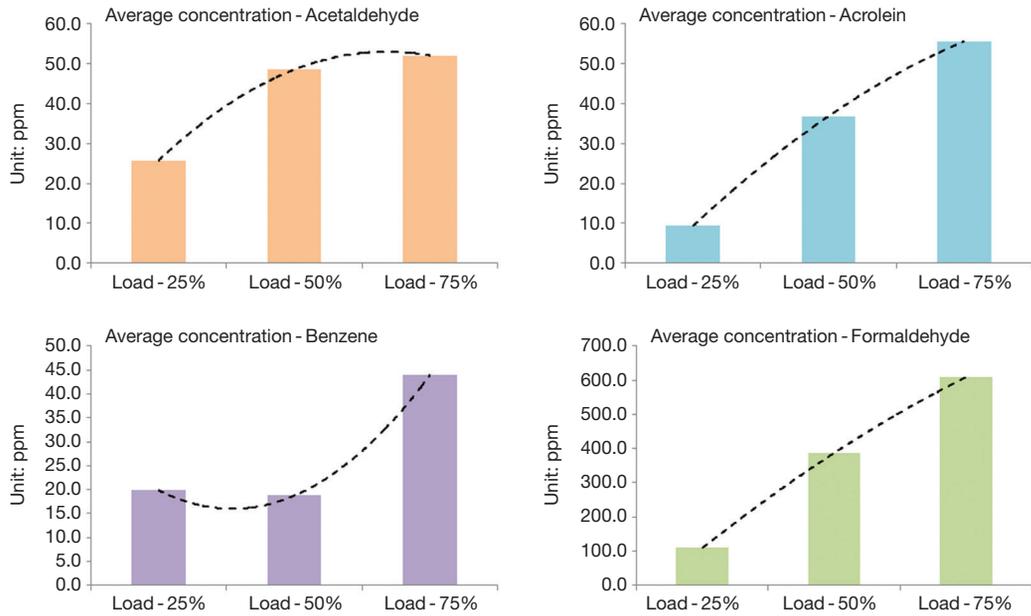


Fig. 4. Average concentration of VOCs by the engine load.

Table 6. Emission factor of pollutants for this study.

No.	CO [g/ton-fuel]			NO <sub>x</sub> [g/ton-fuel]			PM <sub>10</sub> [g/ton-fuel]		
	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%
1	878,293	870,776	669,838						
2	815,834	972,314	795,535						
3	561,204	959,685	756,947						
4	842,153	679,744	951,826				4,284	3,856	4,272
5	626,166	954,477	988,086			4,021	4,151	3,652	4,479
6	585,726	997,596	984,181		5,141	3,551	4,242	3,525	3,388
7	905,025	904,243	944,268	5,516	3,525	2,970	3,710	3,589	3,216
8	675,804	868,839	835,890	4,512	3,814	2,629	3,076	3,152	3,756
9	569,379	851,752	945,071	2,684	3,312	4,801		3,461	
10	646,528	624,852	857,192	3,815	3,615	3,763		3,806	4,309
11	743,612	779,078	946,986	4,658	2,481	4,006		3,258	3,890
12		657,485	914,010		2,819	4,394			3,258
Aver.	713,611	843,403	882,486	4,237	3,919	3,658	3,893	3,537	3,821
σ	128,683	129,570	100,245	1,058	850	713	510	246	500

미하기 때문에 굉장히 높은 수준임을 알 수 있고, 평균적으로 운영부하가 높아질수록 배출계수는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. NO<sub>x</sub>와 PM<sub>10</sub>의 경우에는 평균 배출계수가 3,801 g/ton, 3,730 g/ton으로 분석되었으며, 운영부하가 높아질수록 배출계수 수준이 감소하다가 다시 증가하는 형태로 나타났다(그림 5).

표 7은 현장실험을 통해 분석된 오염물질별 배출계수를 EEA의 Tier 1 수준의 연료 기반 배출계수 중 “Gasoline - 2 stroke”로 제시되어 있는 배출계수와 비교한 결과이다. 오염물질별로 배출계수 수준이 크게 상이하지 않은 것을 확인하였고, 현장실험을 통해 분석된 PM<sub>10</sub> 배출계수의 수준은 EEA 수준과 거의 유사

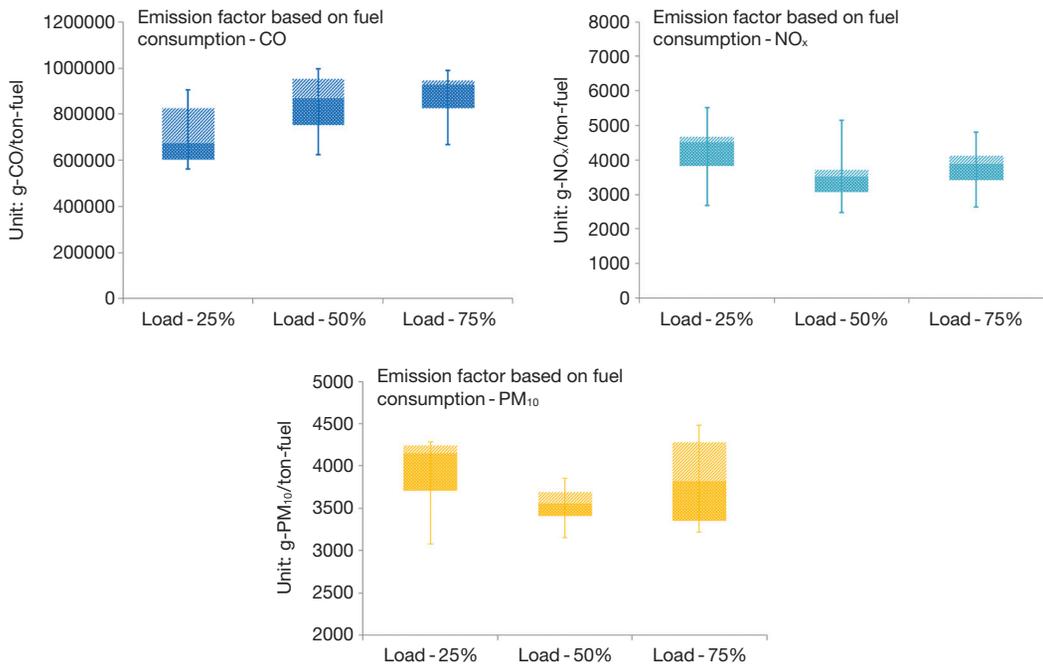


Fig. 5. Emission factor of pollutants based on fuel consumption.

Table 7. Comparison of Emission factor for small two-stroke engine.

[Unit: g-pollutant/ton-fuel]

Category	EEA <sup>1)</sup>	This study			
		Aver.	Load - 25%	Load - 50%	Load - 75%
CO	620,793	816,011	713,611	843,403	882,486
NO <sub>x</sub>	2,765	3,801	4,237	3,530	3,767
PM <sub>10</sub>	3,762	3,730	3,893	3,537	3,821

<sup>1)</sup>EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 - Non-road mobile sources and machinery.

하게 나타났다(그림 6). CO와 NO<sub>x</sub>의 경우에는 약 1.3배, 1.4배 정도 높은 수준으로 나타났는데 이는 혼소하여 사용하는 휘발유와 윤활유의 기본 성상에 대한 영향이라 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 기술적이나 환경적으로 진행된 연구가 거의 전무한 2행정 소형엔진에 대한 오염물질별 배출특성을 확인하기 위하여 설정된 운영조건에 따라 Pilot 형태의 실험을 실시하였고, 측정된 오염

물질의 농도를 통해 분석된 배출계수와 해외에서 적용하고 있는 배출계수 수준을 비교하여 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

1) 장비 가동에 따른 배출가스의 유량과 연비가 운영 부하 25% 수준에서 평균 0.004 m<sup>3</sup>/sec, 0.38 L/hr, 50% 수준에서는 0.005 m<sup>3</sup>/sec, 0.74 L/hr, 75% 수준에서는 0.012 m<sup>3</sup>/sec, 1.51 L/hr으로 분석되어 부하를 높일수록 지수함수 형태로 증가되는 것을 확인하였다.

2) 대상 장비의 출력의 편차가 크지 않아 종합적으로 오염물질별 배출농도를 분석한 결과, CO는 7,667~25,897 ppm으로 굉장히 높은 농도로 배출되는 것을 확

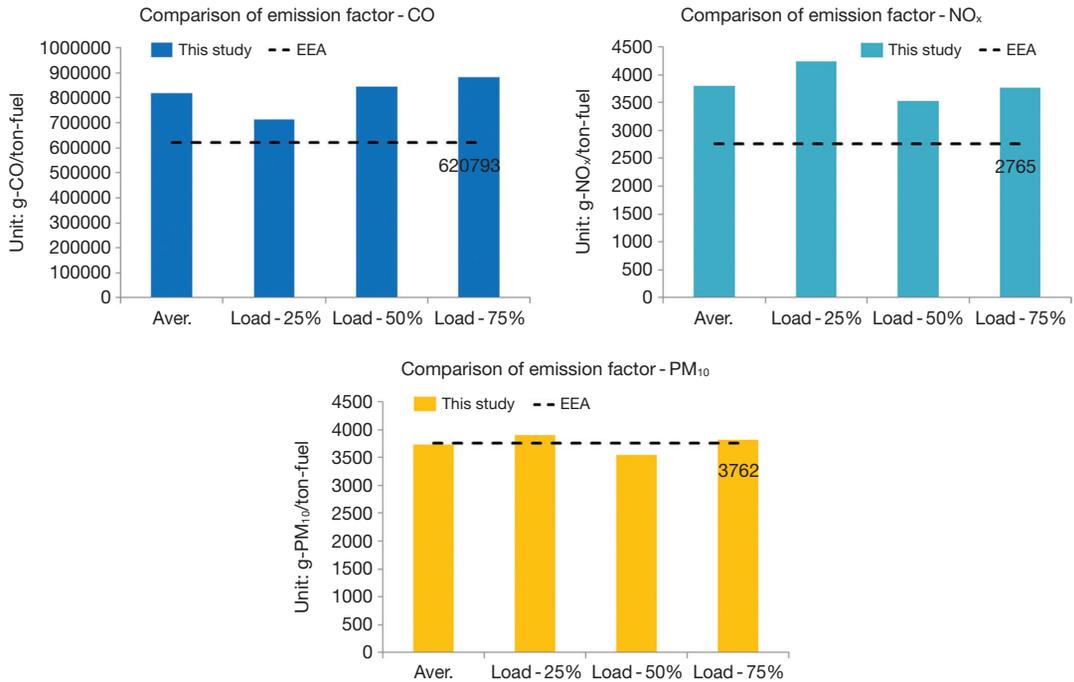


Fig. 6. Comparison of emission factor of EEA and this study.

인하였고, 운영부하에 따라 농도가 증가하다가 75% 수준의 부하 시에 다시 감소하는 경향을 보였다. 이는 엔진의 부하를 높은 수준으로 유지할 때, 엔진 내 불완전 연소되는 현상이 감소되기 때문이라 판단된다. NO<sub>x</sub>와 PM<sub>10</sub>은 각각 46~93 ppm, 62~145 mg/Sm<sup>3</sup>의 농도수준을 보였으며, 엔진부하를 증가시킬수록 농도가 높아지는 경향을 보였다.

3) VOCs의 경우 EEA에서 제시하고 있는 질량 함유율이 높은 6종의 물질을 대상으로 검지관식 측정기를 이용하여 농도를 측정하였으며, 측정범위를 벗어난 2종을 제외한 나머지 4종(Acetaldehyde, Acrolein, Benzene, Formaldehyde)는 운영부하가 증가될수록 농도가 증가되는 것을 확인하였다.

4) 오염물질별 농도와 배출유량, 연료사용량 등을 토대로 분석된 배출계수는 CO의 경우 평균 816,011 g-CO/ton으로 분석되어 연료사용량의 약 80% 이상이 CO로 배출되는 것을 확인하였고, 운영부하가 높아질수록 로그함수 형태로 증가되는 것을 확인하였다. NO<sub>x</sub>와 PM<sub>10</sub>은 평균 3,801 g-NO<sub>x</sub>/ton, 3,730 g-PM<sub>10</sub>/ton으로

분석되어 이를 EEA에 제시되어 있는 Tier 1 수준의 연료 기반 배출계수와 비교하였고, 편차가 크지 않은 것을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 “대기오염물질 및 온실가스 통합 인벤토리 개선 연구(II)”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

CARB (1999) California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 1995 and later Small Off-Road Engines, Part III. Spark-Ignition Engines - Raw Gas Method Test Procedures, pp. 34-58, California Air Resources Board.  
 Chung, J.-E. (1995) A prediction of the scavenging efficiency

- and the performance of a two-stroke SI engine with the different exhaust systems, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 3(2), 130-135. (in Korean with English abstract)
- EEA (2013) EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013, Non-road mobile sources and machinery (land-based emissions), European Environment Agency.
- Goh, J.-W. (2016) Estimation of Air pollutant emission by 2-Stroke Small Engine (focus on brush cutters and blowers), Master's thesis, University of Suwon.
- KEITI (2014) Improvement of Air Pollution Emission Inventory and Its Reliability, Korea Environmental Industry & Technology Institute.
- Kim, B.-G., Y.-H. Choi, J.-W. Oh, D.-G. Lee, S.-J. Yoon, D.-S. Kim, and J.-K. Han (2008) Comparison of performance characteristics of 2-stroke small engine with oil supply methods, Proceeding of the Korean Society of Mechanical Engineers in Fall, 2916-2921.
- Timothy, G. (2010) Test and Provide Laboratory Exhaust emission Testing Results for a Prototype Generator Engine Designed for Low Carbon Monoxide (CO) Emission Rates and EPA Phase 2 Emission Standards for Nonroad Small Spark-Ignited (SI) Non-handheld Engines, Intertek, U.S.A., pp. 1-11.
- U.S. EPA (2008) Control of Emissions from Marine SI and Small Engines, Vessels, and Equipment, United States Environmental Protection Agency.