

## 건설장비와 농기계에서 배출되는 연도별 대기오염 배출량 변화추세

### Annual Trends of Air Pollution Emission from Construction and Agricultural Equipments

신문기 · 김호정 · 장영기\* · 홍지형<sup>1)</sup>

수원대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>국립환경연구원 대기공학과

(2002년 11월 1일 접수, 2003년 11월 15일 채택)

Moon-Kee Shin, Ho-Jung Kim, Young-Kee Jang\* and Ji-Hyung Hong<sup>1)</sup>

*Department of Environmental Engineering, Suwon University*

<sup>1)</sup>*National Institute of Environmental Research*

(Received 1 November 2002, accepted 15 November 2003)

#### Abstract

The annual air pollution emissions from construction and agricultural equipments were estimated from 1987 through 2000. The annual numbers and operation hours of 5 major construction equipments (Excavator, Bulldozer, Loader, Fork lift, Crane) and 3 major agricultural equipments (Power Tiller, Agricultural Tractor, Combine) were investigated for emission estimation. And monthly variation factors of operation hours of construction equipment were investigated too. The NO<sub>x</sub> emission from construction equipment have been gradually increased since 1987 to 1997, but sharply decreased as -45% in 1998 due to economic crisis in Korea. The NO<sub>x</sub> emission was estimated as 64,300 ton/year from construction equipment, and as 23,300 ton/year from agricultural equipment in 2000.

**Key words :** Non-road mobile source, Construction equipment, Agricultural equipment

#### 1. 서 론

최근 점오염원 뿐만 아니라 이동오염원에서 배출되는 대기오염 배출량의 중요성이 날로 증가하고 있다. 그러나 점오염원에 비하여 이동오염원의 배출실태에 대해서는 실태 파악이 미진한 상태이다. 이동오염원은 도로와 비도로 이동오염원으로 나눌 수 있는

데 비도로 이동오염원으로는 건설장비, 농기계, 항공기, 기관차, 선박, 소형엔진 등이 있다. 비도로 이동오염원에 의한 대기오염 배출이 상당한 비중을 차지하고 있음은 선진국의 배출조사 자료(U.S. EPA, 2000; EEA, 1999)가 보여주고 있다. 미국 환경청에서는 비도로 오염원의 대기오염 배출량을 산출하기 위하여 NONROAD 모델(U.S. EPA, 1998)을 제공하고 있다. 비도로 이동오염원은 주로 디젤엔진을 사용하여 엔진 특성상 NO<sub>x</sub>가 많이 배출되어 대도시 광화학 스모그에 기여한다. 따라서 대도시 지역의 대기질을 평

\* Corresponding author  
Tel : +82-(0)31-220-2147, E-mail : musim@suwon.ac.kr

가하고 관리하기 위해서는 비도로 오염원의 정확한 대기오염 배출량 산정과 현황 파악이 필요하다.

기존 국내 비도로 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구는 환경부(1995), 국립환경연구원(1997, 1999)과 경기도(2000) 등의 연구에서 건설기계, 농기계의 배출량 산정 방법과 최근 년도에 대한 배출량 산정이 이루어진 바 있다. 본 연구에서는 건설기계, 농기계의 대기오염 배출량 산정기법 및 배출계수를 검토하고 관련 활동도 자료를 조사하여 최근 14년 동안(1987~2000년) 배출되는 대기오염물질(HC, NO<sub>x</sub>, CO, PM)의 연도별 배출 현황과 변화 특성을 분석하고자 하였다.

## 2. 배출량 산정 방법

건설기계와 농기계에서 배출되는 대기오염 배출량은 운영되는 장비대수, 정격출력, 작업시의 평균 부하율, 연평균 가동시간, 배출계수 등을 이용하여 산출한다. 배출량 산정식은 미국 환경청의 비도로 오염원 배출량 산정 방법론(U.S. EPA, 1998)을 이용하였으며 다음과 같다.

$$E_i = N \times HRS \times HP \times LF \times EF_i$$

$E_i$  : mass of emission of pollutant  $i$  during inventory period

$N$  : source population (units)

$HRS$  : annual hours of use

$HP$  : average rated horsepower

$LF$  : typical load factor

$EF_i$  : average emissions of pollutant  $i$  per unit of use (e.g. [g/KWhr])

### 2.1 건설기계의 배출량 산정방법

지난 20년 동안 건설 분야는 급속한 경제성장과 더불어 괄목할 만한 성장을 하였다. 연도별 등록대수는 건설교통부 건설장비 현황 자료(건설교통부, 2001)를 이용하였으며, 등록대수 변화는 그림 1과 같다. 1987년 당시 65,000여대에 불과하였던 건설기계의 등록대수는 1998년 외환위기 이후에 건설경기 침체에 따라 증가율이 둔화되었지만, 2000년에는 259,859대가 등록되어 대략 4배 증가하였다.

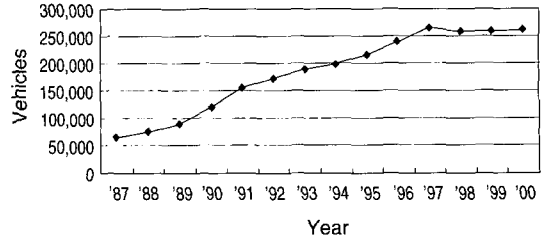


Fig. 1. Registration status of construction equipment by year.

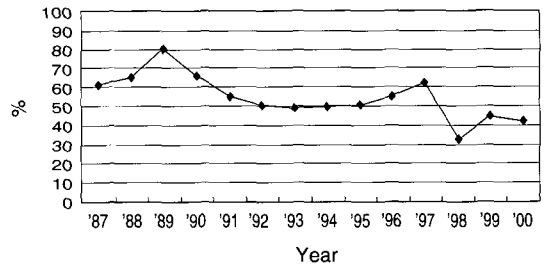


Fig. 2. Annual trends of average operating rates of construction equipment.

Table 1. Average horse power of construction equipment.

Equipment	Average power (HP)
Bulldozer	127
Excavator	105
Loader	153
Fork lift	68
Crane	226

자료 : 국립환경연구원 (1997).

2001년 6월 기준으로 기종별 보유비율을 살펴보면, 불도저(Bulldozer)가 1.9%, 굴삭기(Excavator)가 30.8%, 로우더(Loader)가 4.7%, 지게차(Fork lift)가 26.3%, 기중기(Crane)가 4.7%, 콘크리트 믹스트럭(Concrete mixer truck)이 9.2%, 덤프트럭(Dump truck)이 17.8%로써 이들 7대 기종이 244,472대로 전체 등록 건설기계의 93.5%를 차지하고 있어 건설장비의 주종을 이루고 있다. 이 중 도로오염원으로 배출가스 규제 대상인 트럭류 27%를 제외하면 건설장비 5대 기종(불도저, 굴삭기, 로우더, 지게차, 기중기)이 66.5%를 점유하고 있다.

건설장비에서 오염물질 배출량을 산정하기 위해

**Table 2. Monthly variation factors of construction equipment operation.**

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U.S. EPA	0.40	0.40	0.94	0.94	0.94	1.72	1.72	1.02	0.94	0.94	0.94	0.40
Bulldozer	0.99	0.80	1.11	1.29	1.34	1.07	0.99	0.99	0.68	0.94	0.88	0.91
Excavator	0.63	0.79	1.30	1.30	1.27	0.98	0.87	0.91	0.86	1.06	1.08	0.97
Loader	0.79	1.02	1.05	1.05	1.11	1.04	1.04	0.99	1.04	1.10	1.04	0.72
Fork lift	0.36	0.81	0.93	1.18	1.17	1.11	1.06	1.03	1.14	1.14	1.06	1.01
Dump truck	0.80	0.92	1.19	1.15	1.16	1.07	0.95	0.87	0.85	1.06	1.03	0.76
Crane	0.61	0.70	1.14	1.12	1.20	1.18	1.11	0.98	0.89	1.12	1.05	0.91
Average	0.69	0.84	1.12	1.18	1.21	1.08	1.00	0.96	0.91	1.07	1.02	0.91

\* Factor 1.0 means annual average level.

서는 연간 가동시간이 조사되어야 한다. 이에 대해서는 건설기계 가동실태 조사자료(대한건설기계협회, 2000)를 이용하였는데 연도별 연간 가동율 변화는 그림 2와 같다. 건축공사 표준폼셈에서는 건설장비의 경우 일 8시간, 월 200시간을 작업표준시간으로 정하고 있으므로 여기에 가동율을 고려하여 연간 가동시간(HRS)을 산출하였다. 건설기계의 평균 정격출력(HP)은 국립환경연구원(1997)에서 조사된 자료(표 1)를 이용하였으며 건설기계의 평균 부하율(LF)은 정격출력에 대한 실제 작업 상태에서의 엔진 운전 조건을 반영한 것으로써 같은 보고서(국립환경연구원, 1997)에서 제시한 0.48을 적용하였다.

건설기계에서 배출되는 오염물질 배출량의 월별 변화를 대한건설기계협회(2000)의 월별 가동율 자료를 이용하여 월별 변동계수로 정리하면 표 2와 같다. 이를 미국 환경청에서 제공하고 있는 건설기계 월별 가동율(U.S. EPA, 1998)과 비교하여 보면 미국의 경우 월별 가동율이 겨울에는 감소하고 여름에 높은 활동도를 보이지만, 한국의 경우 봄, 가을에 비해 여름에 낮은 활동도를 보이는데 이는 장마라는 한국적 기후 특성 때문인 것으로 생각된다. 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 국립환경연구원 자동차공해연구소에서 조사한 배출계수(국립환경연구원, 1997)를 적용하였으며 표 3과 같다.

**2. 2 농기계의 배출량 산정방법**

농기계에 의한 대기오염물질 배출량을 산정하기 위하여 연도별, 기종별 등록대수는 농림통계연보를 이용하여 조사하였으며, 등록대수 연간 변화 추이는 그림 3과 같다. 1987년에 350만대였던 농기계는 2000년 444만대로 1.3배 증가하여 건설기계보다 증

**Table 3. Exhaust emission factor of construction equipment.**  
(unit : g/KW · hr)

Equipment	Pollutant			
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
Bulldozer	2.52	0.94	10.24	0.35
Excavator	2.52	0.94	10.24	0.35
Loader	1.45	0.85	8.40	0.18
Fork lift	3.00	1.35	9.94	0.45
Crane	5.07	2.05	5.45	0.40

(자료 : 국립환경연구원(1997)).

가율이 작았다. 2000년 말 주요 농기계의 등록 대수를 살펴보면 동력 경운기가 939,219대로 21.2%, 농용 트랙터가 191,631대로 4.3%, 콤팩린이 86,982대로 2.0%를 차지하고 있었다.

농기계의 총 가동시간은 농업기계연감(한국농기계협회동조합, 한국농업기계학회, 2000)의 자료를 이용하였다. 농업기계연감에 의한 3대 주요 농업기계의 1991년부터 1999년까지의 연도별 작업일수는 그림 4와 같다. 작업일수 자료가 없는 1991년 이전의 작업일수는 1991년과 같다고 가정하였다. 농기계에서 배출되는 대기오염물질 배출량 산정에 필요한 농기계의 평균 정격출력(표 4)과 평균 부하율(0.48), 농기계의 배출계수(표 5)는 국립환경연구원(1999)의 조사 자료를 이용하였다. 배출계수 중 농용트랙터와 콤팩인의 배출계수는 국내에서 산출된 것이고 동력 경운기의 배출계수는 미국 환경청에서 산정한 배출계수를 이용한 것이다.

**3. 대기오염 배출량 산정**

1987년부터 2000년까지의 5대 주요 건설장비(불

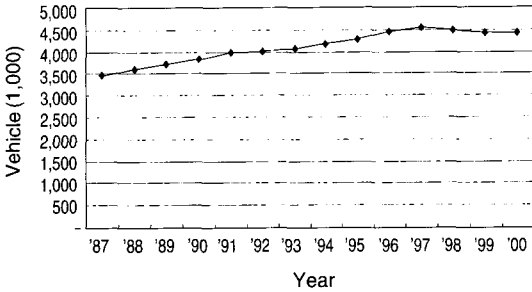


Fig. 3. Registration status of agricultural equipment by year.

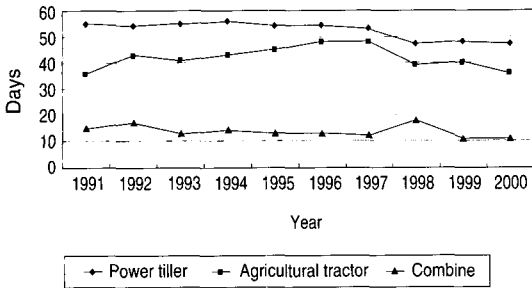


Fig. 4. Annual working days of major agricultural equipment. (자료 : 한국농기계협회, 한국농기계학회 (2000)).

**Table 4. Average annual horse power by agricultural equipment.** (unit : HP)

Equipment	Year	'90	'92	'94	'96	'97	'98
Power tiller		9.7	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Agricultural tractor		35.0	36.7	71.3	42.7	38.4	45
Combine		32.0	33.4	36.5	39.8	36.9	37

(자료 : 국립환경연구원 (1999)).

도저, 굴삭기, 로우더, 지게차, 기중기)에서 배출되는 대기오염물질 배출량을 건설장비의 보유대수, 정격 출력, 작업시의 평균 부하율, 연평균 가동시간, 배출계수 등을 이용하여 산출하면 그림 5와 같다. 이 기간 동안 건설장비에서 배출되는 대기오염 배출량은 NO<sub>x</sub>의 경우 꾸준히 증가하여 1997년에 8.91만 톤/년으로 가장 많았으나 1998년에는 경제위기의 영향으로 1997년에 비하여 45%가 감소하여 4.90만 톤/년이 배출되었다. 그 후 1999년에는 다시 증가하여 2000년에는 6.43만 톤이 배출되어 1987년 연간 배

Table 5. Exhaust emission factor of agricultural equipment. (unit : g/kw · h)

Pollutant	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
Equipment				
Power tiller	6.80	2.04	13.6	1.36
Agricultural tractor	2.48	0.48	7.84	0.39
Combine	3.44	0.75	6.36	0.77

자료 : 국립환경연구원 (1999).

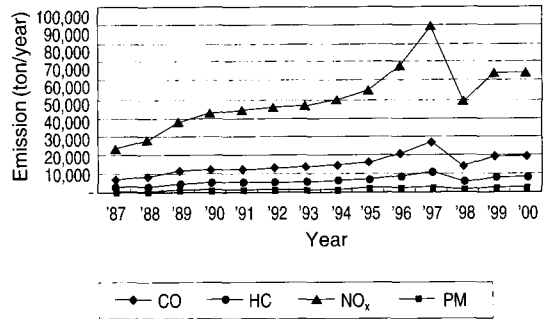


Fig. 5. Annual trends of exhaust emission by construction equipment.

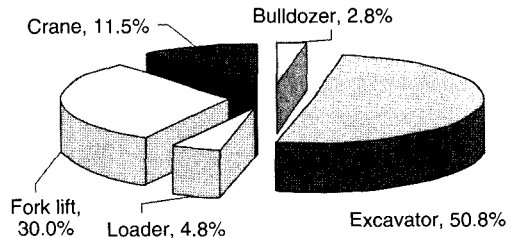


Fig. 6. Distribution of NO<sub>x</sub> emission by construction equipment type (2000).

출량 2.34만 톤/년이었던 것에 비해 약 2.7배로 증가하였다. 2000년 건설기계에서 배출된 대기오염물질은 CO가 1.90만 톤/년, HC이 0.78만 톤/년, PM이 0.25만 톤/년으로 추정되었다.

NO<sub>x</sub>의 경우 건설장비별 배출 기여도를 살펴보면 그림 6과 같다. 굴삭기가 전체 배출량의 약 50% 정도를 배출함으로써 가장 큰 배출 비율을 보였으며, 그 다음으로 지게차, 기중기, 로우더, 불도저 순으로 높은 배출을 보였다.

1987년부터 2000년까지 3대 주요 농기계 (경운기, 트랙터, 콤파인)에서 배출되는 연도별 대기오염물질

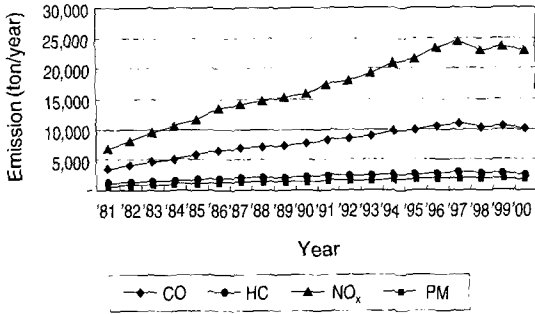


Fig. 7. Annual trends of exhaust emission by agricultural equipment.

배출량을 농기계의 보유대수, 정격출력, 작업시의 평균 부하율, 연평균 가동시간, 배출계수 등을 이용하여 산출하면 그림 7과 같다. 1987년 이후 농기계에서 배출되는 대기오염 물질은 꾸준히 증가하였으나 1998년 이후 경제위기의 영향으로 배출량 증가 추세가 둔화하였음을 알 수 있다. NO<sub>x</sub>의 경우 2000년에는 2.33만 톤/년이 배출되어 1987년 연간 배출량 1.44만 톤/년에 비해 1.6배로 증가하였다. 2000년 농기계에서 배출된 대기오염물질은 CO가 1.04만 톤/년, HC이 0.29만 톤/년, PM이 0.20만 톤/년으로 추정되었다.

본 연구 결과 주요 건설장비와 농기계에서 배출되는 2000년 연간 NO<sub>x</sub>의 배출량은 8.76만 톤/년으로 추정되었다. 이 양은 같은 해 수송 부문의 NO<sub>x</sub> 배출량 51.6만 톤/년(환경부, 2001)의 17%(건설기계에서 12.5%, 농기계에서 4.5%)에 달하는 양으로 건설기계와 농기계에서 배출되는 대기오염의 비중이 작지 않음을 알 수 있다. 앞으로 건설기계와 농기계에서 배출되는 대기오염 배출량을 더 정확하게 산정하기 위해서는 본 연구에서 고려된 5대 주요 건설장비와 3대 주요 농기계 이외의 장비에 대한 운영 현황과 배출계수에 대한 연구와 농기계의 월별 가동율에 대한 조사가 필요하다.

#### 4. 결 론

최근 점오염원 뿐만 아니라 이동오염원에서 배출되는 대기오염 배출량의 중요성이 날로 증가하고 있다. 본 연구에서는 비도로 오염원 중에서 건설기계와

농기계 가동에 따라 배출되는 대기오염물질의 1987~2000년의 연도별 배출량 변화 추세와 월별 가동율을 분석하였다.

건설기계는 최근 10여 년간 등록대수가 크게 증가하였으며 연도별 가동율도 경기 상황에 따라 크게 변화하고 있었다. 특히 1998년 경제위기의 영향으로 건설장비의 가동율은 크게 감소하였다. 반면 농기계의 등록대수는 최근 점진적인 증가를 보여 왔으며 연도별 가동율의 변동도 그리 크지 않았다.

이 기간 동안 주요 건설장비(불도저, 굴삭기, 로우더, 지게차, 기중기)에서 배출되는 대기오염 배출량은 NO<sub>x</sub>의 경우 1997년에 8.91만 톤/년으로 가장 많았고, 1998년에는 경제위기의 영향으로 45%가 감소하였다. 2000년에는 6.43만 톤/년이 배출되어 1987년 연간 배출량의 2.7배에 달하였다.

건설장비별 배출 순위를 살펴보면, 굴삭기가 전체 배출량의 절반 정도를 배출함으로써 가장 큰 배출을 보였으며, 지게차, 기중기, 로우더, 불도저 순으로 높은 배출을 보였다. 건설기계의 월별 가동율을 조사하여 이를 월별 대기오염 배출 변동계수로 정리하였다.

주요 농기계(경운기, 트랙터, 콤파인)에서 배출되는 대기오염물질 배출량은 1998년 이후에는 증가 추세가 둔화하였지만, 1998년 이전까지는 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있었다. NO<sub>x</sub>의 경우 2000년에는 2.33만 톤/년이 배출되어 1987년 연간 배출량의 1.6배에 달하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업인 “대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정연구” 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

건설교통부(2001) 건설교통통계연보-2000.  
 경기도(2000) 21C 경기 대기보전 실천계획.  
 국립환경연구원(1997) 경유 엔진에 의한 대기오염물질 저감대책에 관한 연구(I).  
 국립환경연구원(1999) 경유 엔진에 의한 대기오염물질 저감대책에 관한 연구(III).

- 한국농기계협동조합, 한국농업기계학회 (2000) 농업기계연감 2000.
- 농림부 (1987~2000) 농림통계연보.
- 대한건설기계협회 (2000) 협조 자료.
- 산업자원부 (1999) 에너지 총조사 보고서.
- 산업자원부 (2000) 에너지 통계연보.
- 환경부 (1995) 먼 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구.
- 환경부, 국립환경연구원 (2001) 대기오염물질 배출량 (2000).
- EEA (European Environment Agency) (1999) Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 2nd Edition.
- U.S. EPA (1998) User's Guide for The National Non-road Emission Model.
- U.S. EPA (2000) National Air Pollutant Emission Trends: 1900-1998.