

# 건설장비의 CO<sub>2</sub>배출량 실시간 측정방법 개발을 위한 CO<sub>2</sub> 및 유속센서의 활용

## The Application of CO<sub>2</sub> and Hydrometer Sensor for Development of Real Time Measuring Method on CO<sub>2</sub> Emission of Construction Equipment

장 원 석\*  
Jang, Won-Suk

김 병 수\*\*  
Kim, Byung-Soo

### Abstract

The researches for reduce CO<sub>2</sub> are going along animatedly in hole industry area. In construction area, the researches to minimize CO<sub>2</sub> emission are progressing variously. The researches to minimize CO<sub>2</sub> emission based on CO<sub>2</sub> emission. The method measuring CO<sub>2</sub> emission are using CO<sub>2</sub> emission coefficient on fuel consumption, LCA and an inter-industry relation table. Especially, the methods using the carbon emission coefficient based on fuel consumption are 3 types(Tier1~Tier3) of IPCC. Present, the most using method(Tier1) is using the fuel consumption and the carbon emission coefficient. But because this method do not effect each vehicle distance and driving environment, we can't calculate right CO<sub>2</sub> emission. Especially construction project's CO<sub>2</sub> emission could be different by project's characteristic. However, we can't apply these difference with present methods. So we need methodology calculating CO<sub>2</sub> emission by applying personal project's characteristic and these methodology's most important things is directly measuring CO<sub>2</sub> emission of construction equipment which use energy. The object of this study is to develop the CO<sub>2</sub> emission calculation methodology which occur in construction process, is to suggest ways to measure in real time CO<sub>2</sub> emission from construction equipment.

**Keywords :** carbon dioxide, IPCC, global warming, construction phase, real-time measurement method, construction equipment

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

지구온난화의 원인인 CO<sub>2</sub>를 줄이기 위한 연구들이 전(全) 산업분야에서 활발하게 진행되고 있는 가운데, 건설분야에서도 CO<sub>2</sub>의 발생을 최소화하려는 연구들이 다양하게 추진되고 있다. CO<sub>2</sub> 발생량 최소화를 위한 연구는 CO<sub>2</sub> 배출량을 기반으로 하고 있는데 CO<sub>2</sub>배출량을 산정하는 방법은 크게 연료사용량 대비 탄소배출계수를 이용한 방법, LCA(Life Cycle Assessment)기반

방법론 그리고 산업연관표를 이용한 방법으로 나뉜다.

특히 연료사용량을 기반으로 탄소배출계수를 이용하는 방법은 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 기후변화 정부간협의체)에서 3가지 방법(Tier1~Tier3)을 권장하고 있다. Tier1은 가장 기본적인 방식으로 연료종류별 에너지소비량과 탄소배출계수를 이용하는 방식이며, Tier2는 연료종류뿐만 아니라 차종별, 배출제어기술에 따른 배출계수를 추가로 적용하는 방식이며, Tier3는 연료소비 대신 주행거리 등 활동도(Activity) 자료를 기준으로 하여 측정된 배출계수와 차량주행거리와의 곱으로 계산하는 방법이다. 여기에 도로의 종류 및 상태

\* 일반회원, 영남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사, wsjang@ynu.ac.kr

\*\* 종신회원, 경북대학교 토목공학과 부교수, 공학박사, 기술사(교신저자), bskim65@knu.ac.kr

등의 운전조건이 반영된다.

이 중 현재 가장 많이 활용되고 있는 방법이 Tier1으로서 연료 사용량과 탄소배출계수만을 이용하는 방법이다. 그러나 이 방법은 차종별 이동거리가 반영되지 않을 뿐 아니라 주행환경 등의 반영이 안되기 때문에 정확한 CO<sub>2</sub>배출량을 산정할 수 없다. 다만, 도시지역 단위로 차종별 주행거리가 반영된 Tier3 방법을 활용하여 온실가스 인벤토리 작성모형을 개발(장성원 2011, 오일환 외 2009, 김기동 2011)하는 연구가 일부 진행되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 국가단위, 도시단위 등의 광범위한 지역 단위의 온실가스 인벤토리 작성이나 평균적인 개념의 CO<sub>2</sub>배출량 산정이 주목적이기 때문에 건설과정에서 활용하기에는 한계가 있다.

최근 시공단계에서 배출되는 이산화탄소량에 관한 연구가 몇몇 시도되고 있지만 직접 CO<sub>2</sub> 배출량을 측정하지 않고 LCA를 이용하거나 산업연관표 등을 이용한 간접연구(임형석 2009, 김윤경 2006, 현은미 2010, 박재현외 2010, 박문서외 2011)가 대부분이다. 그러나 이러한 연구들은 건설프로젝트 단위로 환경영향을 평가하는데 목적이 있기 때문에 시공과정에 따른 개별 공정별 이산화탄소 배출량의 산정에는 적용하기가 불가능하다.

한편 건설프로젝트 단위로 이산화탄소 배출량을 산정하는 경우 프로젝트의 특성 즉, 지역적 특성, 사용장비의 종류 및 규모, 토질특성을 포함한 작업환경, 시공공법 등의 특성에 따라 이산화탄소 배출량은 달라질 수 있다. 하지만 현재의 방법으로는 이러한 차이를 제대로 반영할 수 없다. 에너지사용량에 근거한 방법이든 LCA 혹은 산업연관표를 사용한 방법이든 개별 프로젝트의 특징을 제대로 반영할 수 없기 때문이다.

따라서 개별 프로젝트의 특성을 반영하여 이산화탄소 배출량을 산정하는 방법론이 필요하며 이러한 방법론의 가장 핵심은 에너지를 사용하는 건설장비의 이산화탄소 배출량을 직접측정하는 것이다. IPCC 가이드라인에서 권고하고 있는 Tier3에 근거한 이산화탄소 배출량 산정방법은 차종별 이동거리에 따른 차종별 배출계수의 적용이므로 이것을 기반으로 하는 방법론의 개발이 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 건설과정에서 발생하는 이산화탄소의 배출량을 산정하기 위한 방법론을 개발하기 위한 연구로서 유속 및 CO<sub>2</sub>농도를 이용하여 건설장비의 이산화탄소 배출량을 실시간으로 측정할 수 있는 방법의 제안을 목적으로 한다. 이러한 방법론은 이제까지 없었으며 세계최초로 시도되는 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

이산화탄소 배출량을 산정할 수 있는 간접방법론은 이미 한계에 봉착하고 있기 때문에 새로운 방법의 개발이 필요하다. 본 연구의 범위는 이산화탄소를 직접 실시간으로 측정할 수 있는 방법론의 개발로 한다. 이를 위해 건설장비를 대상으로 하기 위한 연구의 초기단계로서 일반차량을 대상으로 측정방법을 개발하고 검증한다.

연구의 방법은 이산화탄소 배출량 측정과 관련한 국내외 방법론을 고찰하였다. 이산화탄소배출량 산출방법을 검토하기 위하여 IPCC 가이드라인 방법론과 에너지관리공단에서 사용하고 있는 CVS-75 모드에 따른 CO<sub>2</sub>배출량 측정방법을 검토하였다. 건설장비의 이산화탄소 배출량을 실시간으로 측정할 수 있는 방법론 개발을 위해 CO<sub>2</sub>센서와 유속센서의 활용성을 검토하고 최종적으로 CO<sub>2</sub> 배출량 실시간 측정방법을 모델링하였다. 이를 위하여 건설장비에 적용하기 전 단계로 일반차량으로 실험을 통해 센서 및 측정방법의 유효성을 검증하였다. 실험에 사용된 차량은 1999년식 아반떼 1500cc 수동5단변속기 차량으로서 연비는 15km/l 이다.

그림 1은 이산화탄소 배출량 측정방법 모델링 중 건설장비로부터 CO<sub>2</sub>를 측정하는 Measurement 부분의 CO<sub>2</sub> 센서의 유효성평가와 CO<sub>2</sub>측정방법의 검증부분을 나타낸 것이다. CO<sub>2</sub>센서는 온도와 유속에 민감하여 일정온도와 일정유속이상이면 센서의 측정값이 이상수치를 기록하므로 현재 개발되어 있는 CO<sub>2</sub>센서 중 기준을 만족하는 센서를 선택하기 위한 유효성 평가를 실시한 후 CO<sub>2</sub> 측정 및 방법검증을 실시한다.

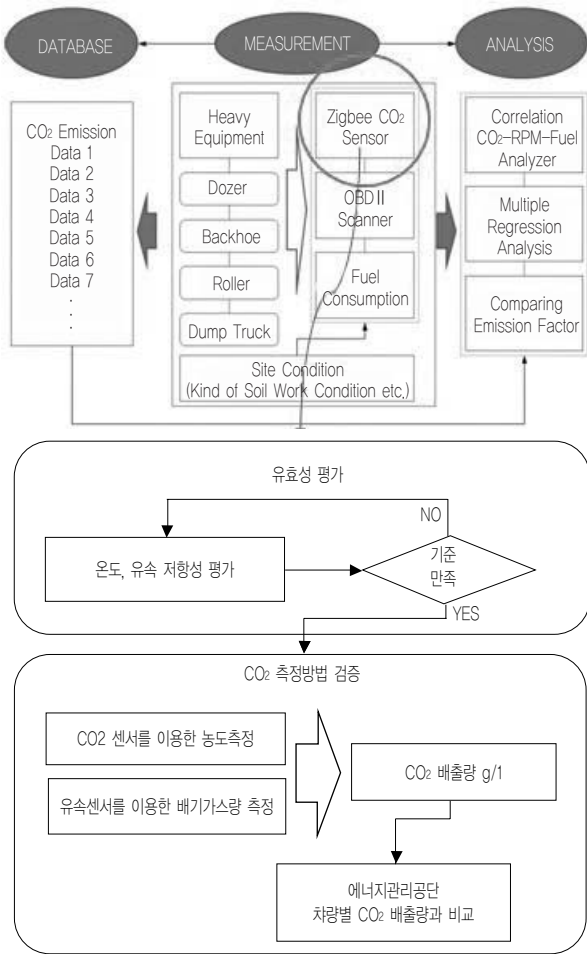


그림 1. 이산화탄소 배출량 측정방법 모델링

### 1.3 기존연구 고찰

건설장비 혹은 차량의 이산화탄소 배출량 측정방법과 관련한 연구는 많지 않다. 국내외 연구 대부분 에너지사용량을 기준으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한 것으로 조사되었다(전진구 외 2012).

국내연구 조사결과 실제 도로상에서 차량에 이동식 측정장비를 부착하여 이산화탄소와 대기 오염물질 배출량을 측정하고 현행 배출계수의 예측결과와 비교한 연구(이태우 2010, 길지훈 2010)가 있으나 이 연구는 공사현장과 같은 비도로(Nonroad)에서 다양한 작업조건에 사용되는 건설장비에 적용하기에는 부적합하다. 특히 측정방법에 있어서 이산화탄소 배출량을 차량으로부터 포집한 다음 실험실에서 농도를 측정하는 방법을 취함으로써 실시간으로 이산화탄소 배출량을 측정하지 못하는 한계가 있다.

국외연구 조사결과 15종류의 공사장비 (백호 5종류, 로더 4종류, 그레이더 6종류)에 대하여 Portable Emission Measurement System(PEMS)를 사용하여 연료사용량과 가스배출량을 측정한다

연구(Frey, H.C et al. 2008), 건설 및 농업 장비 등에 사용되는 엔진들에 대하여 배기가스기준 등급을 등급 1에서 등급 4로 나눈 연구(EPA 2004) 등이 있다.

기존연구 고찰결과 건설장비의 이산화탄소 배출량을 실시간으로 측정하기 위한 방법은 제시되지 않았다. 따라서 건설과정에서 빈번하게 사용되는 건설장비의 이산화탄소 배출량을 실시간으로 측정할 수 있는 방법론의 개발이 요구된다.

## 2. CO<sub>2</sub> 측정 방법론

### 2.1 기존의 CO<sub>2</sub> 측정 방법

#### 2.1.1 IPCC에서 제시한 기준

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인은 인간활동에 따른 온실가스의 배출원에 의한 배출량 및 흡수원에 의한 흡수량에 대한 방법론을 제공하고 있다. 배출원은 에너지, 산업공정 및 제품사용, 농업, 임업, 기타토지이용, 폐기물, 기타 등으로 분류되어 있으며, 정확성 및 정밀도의 측면에서 Tier1(기본방법)에서 Tier3(가장 상세한 방법)까지 산정방법에 대한 권고사항이 제시되어 있다. 최근에는 각 국가별로 IPCC의 방법론을 바탕으로 자체적인 시험결과 등을 토대로 자국의 실적에 적합한 배출계수를 산출하는 추세이다.

표 1. 도로부문 온실가스 배출량 산정방법 비교

구분	Tier1	Tier2	Tier3
원리	에너지원별, 모드별, 에너지소비량에 연료별 IPCC 배출계수만 적용	차종별, 배출제어기술에 따른 배출계수를 적용	차종별 이동거리에 따른 차종별 배출계수 적용
방식	Top-Down 방식	Bottom-Up 방식	Bottom-Up 방식
장점	가장 기본적인 방식		배출량을 정확하게 산정 가능
단점	차량주행거리가 고려되지 않음	차종별 에너지소비량 자료필요	많은 자료가 필요함

IPCC 가이드라인의 온실가스(Green House Gas : GHG) 배출량 산정방법 중 Tier1은 가장 기본적인 방식으로 연료종류별 에너지소비량과 탄소배출계수를 이용하는 방식이며, Tier2는 연료종류뿐만 아니라 차종별, 배출제어기술에 따른 배출계수를 추가로 적용하는 방식이며, Tier3는 연료소비 대신 주행거리 등 활동도(Activity) 자료를 기준으로 하여 측정된 배출계수와 차량 주행거리와의 곱으로 계산하는 방법이다. 여기에 도로의 종류 및 상태 등의 운전조건이 반영된다.

다음은 IPCC에서 권고하고 있는 배출량 산정방법인 Tier1, Tier2, Tier3 이다.

1) Tier 1 방법

$$\text{Emissions} = \sum [\text{Fuel}_a \times \text{EF}_a]$$

Emissions : 배출량(kg)

Fuel<sub>a</sub> : 연료 a 판매량(TJ)

EF<sub>a</sub> : 배출계수(kg/TJ)

a : 연료종류(휘발유, 경유, 천연가스, LPG 등)

위의 식에서 사용되는 배출계수는 IPCC가 제시한 연료별 탄소배출계수를 사용하며 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 산화물과 탄소물입을, CO<sub>2</sub>와 C의 질량비를 보정하여 최종배출량을 산정하게 된다. 산화물은 연소시 연료가 완전 연소되지 않고 일부는 불완전 연소되어 CO<sub>2</sub>로 전환되지 않기 때문에 고려하고, 탄소물입은 화석연료를 연료로 사용하지만 실제로 연료의 연소과정에서 이용되지 않고 다른 제품의 중간재나 최종제품으로 사용되는 연료는 탄소배출과 관련이 없기 때문에 고려하도록 한다.

2) Tier 2 방법

$$\text{Emissions} = \sum [\text{Fuel}_{a,b,c} \times \text{EF}_{a,b,c}]$$

Emissions : 배출량(kg)

Fuel<sub>a,b,c</sub> : 주어진 이동 배출원 활동도에 대한 연료 소비량(TJ)

EF<sub>a,b,c</sub> : 배출계수(kg/TJ)

a : 연료종류(휘발유, 경유, 천연가스, LPG 등)

b : 차종

c : 배출제어기술(제어장치의 미장착, 촉매변환장치등)

Tier 2 방법은 연료소비를 기술 및 표본에 따라 구분하는 방법으로 사용되는 연료종류별, 차종별, 배출계수를 제시함으로써 해당국가의 자료가 없을 때 사용된다. Bottom-Up 방식으로 차종별, 배출제어기술에 따른 배출계수를 적용하며 차종별 에너지 소비량 자료가 필요하다.

3) Tier 3 방법

$$\text{Emissions} = \sum [\text{Distance}_{a,b,c,d} \times \text{EF}_{a,b,c,d}] + \sum C_{a,b,c,d}$$

Emissions : 배출량(kg)

Distance<sub>a,b,c,d</sub> : 주어진 이동 배출원 활동도에 대해 열적으로 안정된 엔진운전단계 동안의 차량 주행거리 (Vehicle Kilometer Traveled: VKT) (km)

EF<sub>a,b,c,d</sub> : 배출계수(kg/km)

C<sub>a,b,c,d</sub> : 예열 중 배출량(cold start)(kg)

a : 연료종류(휘발유, 경유, 천연가스, LPG 등)

b : 차종

c : 배출제어기술(제어장치의 미장착, 촉매변환장치 등)

d : 운전조건(도심 또는 교외의 도로종류, 기타 환경적 요인)

Tier 3 방법은 연료소비 대신 주행거리 등 활동도(activity) 자료를 기준으로 하여 측정된 배출계수와 의 곱으로 계산하는 방법이다. Tier 2 와 Tier 3 방법을 정확히 구분하는 것은 어려우나 Tier 2 방법을 대표적인 배출계수 적용이 가능하도록 동질적 기술들에 대한 지식과 표본에 기초하여 연료소비를 구분하고 있는 반면, Tier 3 방법은 활동도 결과(예 : 수송부분에서의 주행거리 혹은 ton/km 등)와 연료혼합비율 등의 자료를 기초로 하여 추정된 배출계수를 사용하는 온실가스 배출량을 산정하는 방법으로 Tier 3 방법이 보다 구체적이라고 할 수 있다. Tier 3 방법은 Bottom-up 방식으로 차종별, 배출제어기술에 따른 배출계수를 적용하며 3가지 방법 중 배출량을 가장 정확히 산정하는 수준이므로 많은 자료를 필요로 한다 (김병수 2012, 정연식 외 2011).

2.1.2 CVS-75모드를 통한 산정 기준

CVS-75는 캘리포니아주의 자동차 배출가스 시험모드인 FTP-75를 국내환경에 맞게 만든 것으로 Idle, 가속, 감속 그리고 정속이 되풀이 되는 과정을 시험적으로 정형화할 수 있는 4 단계 시험모드로 구분하고 있다.

첫 번째 Cold Start Phase에서는 505초 동안 과도기 단계로 총 5.78km를 주행하면서 최소 50km/h에서 최대 약91.2km/h 까지 속도를 변화시켜가며 주행하는 단계이고, 두 번째 Transient Phase는 안정기 단계로 총 주행거리 6.25km를 865 초 동안 최저38km/h에서 최대 55.2km/h의 속도로 가속 및 감속을 병행하여 주행한다.

이후 10분간 엔진 시동을 끄는 Engine Stop Phase가 이어지며, 네 번째 단계인 Hot Start Phase에서는 첫 번째와 같은 주행모드인 과도기 단계를 반복하여 운전하며 총 주행거리 17.85km를 평균시속34km/h로 주행한다. 그림 2는 CVS-75주행모드 사이클로서, 각 단계별로 시간에 따른 주행속도변화를 나타낸 그래프이다. 이는 국내 및 북미에서 적용한 배출가스 규제에 대한 표준모드로서 구간별 CO<sub>2</sub> 및 다른 배기가스의 배출 분포를 비교, 분석하는 방법에 이용되고 있다.

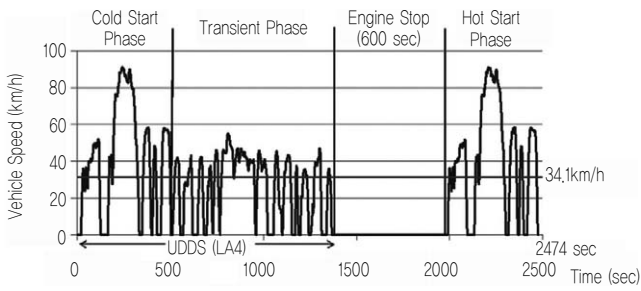


그림 2. CVS-75모드 주행 사이클 (환경부 2011)

그림 3은 CVS-75모드 실험에 대한 개략적인 모식도로서 차량을 실제 도로에서 주행시키지 않고 차대동력계에 위치시켜 각 주행모드에 따라 차량에서 배출되는 배기가스를 분석계를 통해 측정하는 방법론을 제시하고 있다 (한국에너지관리공단 2011, 정승봉 2011).

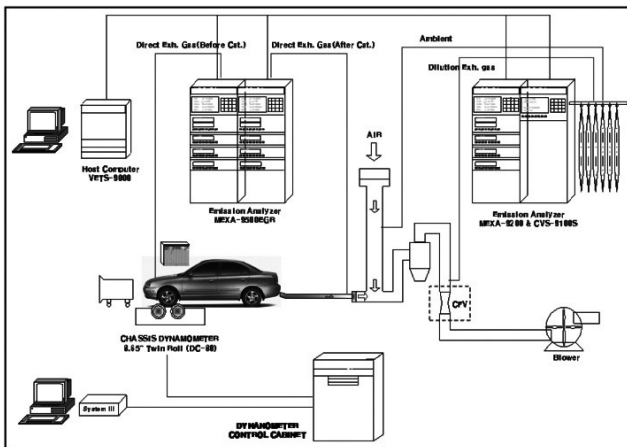


그림 3. CVS-75 모드 개요도 (환경부 2011)

## 2.2 CO<sub>2</sub>센서의 유효성평가

CO<sub>2</sub>센서의 정확성을 알아보기 위하여 자동차 정비소에서 실험에 사용할 자동차의 CO<sub>2</sub>를 점검하였다. CO<sub>2</sub>점검결과 공회전 (rpm 800) 상태에서 약 10%의 CO<sub>2</sub>가 측정되었으며 2,500rpm에서 약 11.4%의 CO<sub>2</sub>가 측정되었다. 이를 토대로 실험값을 비교분석하기로 하였으며 CO<sub>2</sub>의 오차범위 ±3%를 고려하여 공회전 상태에서 CO<sub>2</sub>값이 5%이하일 경우 실험을 중지하였다. 실험에 사용된 차량은 아반떼 1500cc 1997년형이며 연료는 휘발유를 사용하며 연비 15km/l, 공회전시 CO<sub>2</sub> 배출은 10.2%이다.

센서의 유효성 평가항목은 온도와 유속에 대한 저항성으로서 차량의 배기구에서의 온도가 최대 120℃ 유속은 최대 20m/s 까지 인 점을 감안하여 이 구간에서 센서가 정상적으로 작동하는

지를 평가하였다. 평가에 사용된 CO<sub>2</sub>센서는 Zigbee 계열 COZIR로서 농도 0~60%까지 측정이 가능한 제품이다.

유효성 평가방법은 기준유속 및 온도에서 정상작동 하는지를 평가하기 위해 그림 4 및 5에서와 같이 작은 원통을 이용한 방법, 배기구에 터널을 만들어서 직접 측정하는 방법, 박스에 구멍을 뚫어 배기구와 연결하고 유속을 최대한 줄이기 위해 스티로폼이나 철망을 이용하는 등 다양한 방법으로 CO<sub>2</sub>를 측정하였다.



그림 4. CO<sub>2</sub> 센서 설치방법

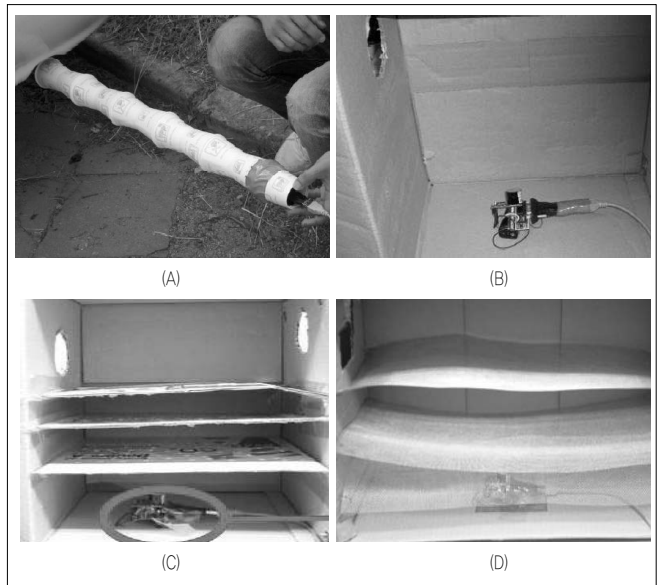


그림 5. CO<sub>2</sub>의 다양한 측정방법

실험결과 실험방법에 따라 CO<sub>2</sub>값의 차이가 크게 났으며, 같은 방법이라도 실험횟수에 따라 데이터값의 차이가 발생하였다. 박스내부에 종이판 또는 철망을 설치한 경우가 설치를 하지 않는 경우보다 공회전시에 CO<sub>2</sub>측정값이 낮게 측정되었다. 실험후 재실험까지 CO<sub>2</sub> 센서가 대기중에서 안정되기 까지의 시간이 5~10분 정도로 대기시간이 오래 걸렸다.

따라서 실험에 사용된 CO<sub>2</sub>센서는 실시간 측정에 유효하지 않은 것으로 판단되었다. 현재까지 개발되어 있는 CO<sub>2</sub>센서 중에서는 차량의 배기구에서 배출되는 CO<sub>2</sub>량을 실시간으로 측정할 수 있는 유효성 있는 센서가 없는 것으로 판단되었다. 따라서 차량의 CO<sub>2</sub>배출량을 실시간으로 측정하기 위한 다른 방법이 필요하다는 결론이 도출되었다.

### 2.3 유속 및 CO<sub>2</sub>농도를 이용한 측정

기존의 측정 방법은 운행 중인 건설장비에서 배출되는 CO<sub>2</sub>량을 실시간으로 측정하기가 어려울 뿐만 아니라 건설장비의 부하량 대비 CO<sub>2</sub>량을 현실감 있게 산정하는 데는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 공사현장에서 건설장비의 작업 및 운행형태에 따라 배출되는 CO<sub>2</sub>량을 실시간으로 측정할 수 있는 새로운 방법론을 제시하고자 한다. 이 방법은 배기가스의 유속을 측정하여 배기구에서 배출되는 단위시간당 유량을 산정하고, 실험을 통해 측정된 배기가스 CO<sub>2</sub> 농도를 유량과 연산하여 단위 주행거리당 배출되는 CO<sub>2</sub>의 질량을 산정한다.

기존의 차량 배기가스 및 CO<sub>2</sub>를 측정하는 방법은 대부분 차대동력계에서 정지된 상태로 포집을 실시함으로써 일별 또는 km단위별 CO<sub>2</sub>량을 실험적으로 측정하고 있다(임재현 외, 2009). 일반적으로, 건설장비의 운행특성상 장비의 CO<sub>2</sub>량을 주행속도별로 측정하는 것 보다는, 작업의 난이도에 따른 RPM변화를 장비 부하량으로 고려하여 CO<sub>2</sub>배출량을 산정하는 방식이 보다 현실적이다.

에너지관리공단에서 시행하고 있는 CVS-75주행모드와 유사하게 차량을 주행시키고 이 때 발생하는 km당 CO<sub>2</sub>배출량(g)을 산출하여 에너지관리공단에서 제시하고 있는 차종별 CO<sub>2</sub>배출량과 비교함으로써 본 연구에서 채택한 CO<sub>2</sub>측정방법론을 검증하였다.

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ concentration that converted to grams (g/l)} && \text{식(2-1)} \\ & = x(\text{ppm}) \times \frac{10^{-6}}{(\text{ppm})} \times \frac{44(\text{g})}{1(\text{mol})} \times \frac{1(\text{mol})}{22.4(\text{l})} \times \left( \frac{273}{273+y} \right) \times \frac{z(\text{atm})}{1(\text{atm})} \end{aligned}$$

x : CO<sub>2</sub> concentration(ppm)  
y : temperature(°C)  
z : atmosphere(atm)

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ emission(g/s)} && \text{식(2-2)} \\ & = \text{Flow Rate (m}^3/\text{s)} \times \\ & \quad \text{CO}_2 \text{ concentration that converted to grams(g/l)} \times 1000 \end{aligned}$$

먼저, CO<sub>2</sub>농도를 측정하기 위하여 차량에서 배출되는 가스를

일정한 크기의 포집용기에 포집한 후 CO<sub>2</sub>센서를 이용하여 포집된 배기가스의 RPM별 CO<sub>2</sub> 농도(ppm)를 측정하였으며, 측정된 농도 값을 식 2-1을 이용하여 단위부피당 CO<sub>2</sub>질량값(g)으로 환산하였다. 또한 차량의 배구에 유속센서를 설치하고 유속 및 단면적을 측정한 후 시간당 배출총유량(m<sup>3</sup>/s)을 산정하였으며, 엔진부하 대비 유량의 관계를 산정하기 위하여 RPM별 배출되는 유속을 측정하였다. 그 후 최종적으로 식 2-2에 단위부피당 CO<sub>2</sub>질량값 및 시간당 유량을 대입하여 엔진부하량이 고려된 단위시간당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

### 3. CO<sub>2</sub> 배출량 분석 및 검증

본 연구는 유속을 이용하여 CO<sub>2</sub>량을 산정하는 방법론을 실험적으로 분석 및 검증하였다. 먼저 1500cc 수동5단 변속기가 장착된 Avante 차량의 RPM에 따른 CO<sub>2</sub>농도(%)를 측정하기 위해 정지된 상태에서의 RPM을 800, 2000, 3000으로 변화시켜가며 CO<sub>2</sub>농도 및 유속을 측정한 결과 RPM에 따른 CO<sub>2</sub>농도는 약 12.3~12.8%의 일정한 범위 내에서 평균 12.5%로 나타났다.

이 결과로부터 배기가스에 함유되어 있는 CO<sub>2</sub>량이 일정하다는 결론을 얻을 수 있다. 즉, 장비의 작업부하량에 관계없이 배출되는 CO<sub>2</sub> 농도가 일정하므로 배기가스의 양만 실시간으로 측정할 수 있다면 건설장비의 작업상황에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 실시간으로 산정하는 것이 가능하다는 것이다.

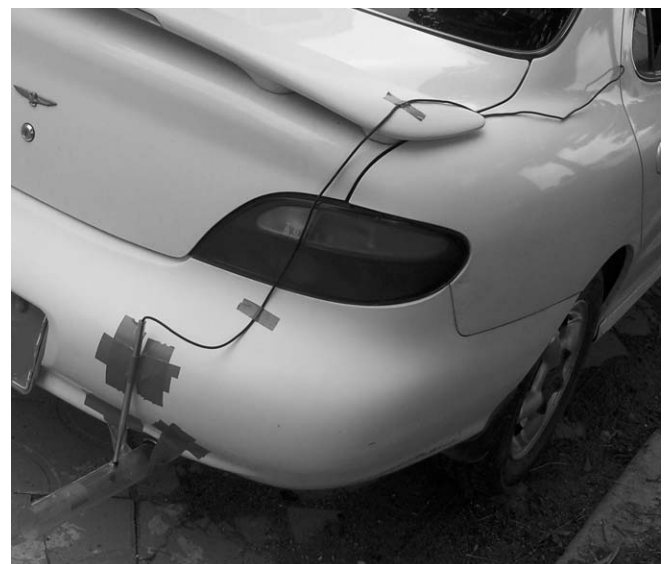


그림 6. 차량의 유속 측정을 위한 유속센서 배치

또한 차량배구에 플라스틱 관을 설치하고 관의 중간에 유속센서를 고정시켜 주행 시 주변공기 흐름의 영향을 최소화하면서

배기가스의 유속을 정확하게 측정할 수 있도록 하였다. 또한 유속을 이용한 CO<sub>2</sub>량 산정방법의 신뢰성을 검증하기 위하여 '자동차 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정'에서 제시되고 있는 'CVS-75(도심주행) 모드의 주행시험 계획'을 이용하여 주행 실험을 실시하였으며, 실제 주행은 총 44분 45초 동안 총 20.1km의 거리를 주행하였다.

주행 실험 결과 가속 구간에서는 유속변화 및 평균유속이 다른 구간에 비해 큰 것으로 나타났으며, 유속의 증가에 따라 배출되는 CO<sub>2</sub>량도 함께 증가하는 것으로 나타났다. 또한 가속구간이 존재하는 Cold Start Phase와 Hot Start Phase에서의 CO<sub>2</sub>량은 1.6~1.77 g/s 정도로 Transient Phase의 1.09 g/s보다 높은 것으로 나타났으며, km당 CO<sub>2</sub>량도 Cold Start Phase와 Hot Start Phase에서는 150.36~156.26 g/km 정도로 Transient Phase의 132.97 g/km보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 Cold Start 및 Hot Start Phase가 Transient Phase에 비해 주행시간이 짧음에도 불구하고 CO<sub>2</sub>량이 비슷한 것으로 나타났다.

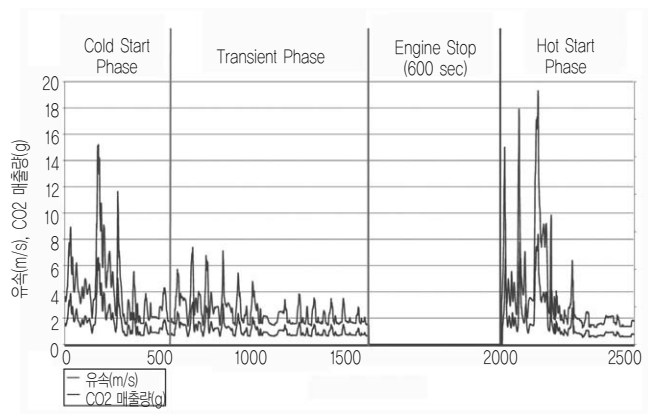


그림 7. CVS-75주행모드로 측정된 유속 및 CO<sub>2</sub>량

그림 7은 현재 국내에서 배기가스 배출량 시험 기준인 CVS-75 주행모드에 따라 실제 도로에서 주행실험을 실시하고 배기구에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 배출량을 시간이력곡선으로 나타낸 그래프이다.

실험을 통해 측정된 km당 CO<sub>2</sub> 배출량(g)은 145.6g/km로 에너지관리공단에서 제시하고 있는 1591cc 수동6 변속 Avante 1.6GDI 차량의 134g/km와 비교하였을 때, 약 11.6g/km 정도 차이를 보였다. 그러나 실험에 사용된 차량은 1500cc 수동5단 변속기 차량이므로 직접적인 비교가 되기에는 무리가 있다. 따라서, 실험차량과 비슷한 조건을 가진 차량의 CO<sub>2</sub>배출량을 비교대상으로 설정할 필요가 있다.

실험차량은 1997년에 생산된 차량으로서 현재 단종된 상태이기 때문에 에너지관리공단에서 제시하는 차종별 CO<sub>2</sub> 배출량 자료에서 제외되어 있다. 실험차량에 대한 직접적인 비교 자료가 없기 때문에 본 연구에서는 최대한 비교 가능한 방법으로 비교하였다. 즉, 차량의 연비는 연료의 소비효율을 나타내므로 차량의 배기량이 달라도 CO<sub>2</sub>배출량에서는 차이가 없을 것이라는 가정 하에 실험차량의 연비와 같은 연비 15km/l 인 차량의 CO<sub>2</sub>배출량과 비교하였다.

한편, 에너지관리공단에서는 표 3과 같이 차량의 종류와 배기량(cc), 변속형식에 따라 km당 CO<sub>2</sub> 배출량과 연비를 제시하고 있다. 차종이 동일하더라도 변속형식에 따라 CO<sub>2</sub>배출량이 차이가 발생하는 것을 알 수 있고, 연비 역시 CO<sub>2</sub>배출량에 반비례하여 대체적으로 연비가 좋을수록 CO<sub>2</sub>배출량이 적음을 확인할 수 있다.

표 2. CVS-75주행모드 측정 결과

DIV	Cold Start Phase	Transient Phase	Engine Stop	Hot Start Phase	SUM	AVE
유량(m <sup>3</sup> )	4,079	4,413	0.00	4,457		
시간(s)	520	919	600	628		
거리(km)	5.9	7.5	0.0	6.7	20.1	
CO <sub>2</sub> 량(g)	921.9	997.3	0.0	1007.4	2,927	145.6

표 3. 에너지관리공단에서 제시한 차종별 CO<sub>2</sub>배출량 [2]

모델명	배기량 (cc)	변속형식	연비 (km/l )	CO <sub>2</sub> (g/km)
쏘울 1.6 가솔린	1591	수동5	15.8	148
i-301.6가솔린	1591	수동5	15.6	150
RCZ M6	1598	수동6	15.1	155
크루즈 1.6 DOHC MT	1598	수동5	15	155
아반떼 1.6 GDI	1591	수동 6	17.5	134
아반떼 1.6 GDI	1591	자동 6	16.5	142
MINI Cooper Convertible	1598	자동6	14.9	157
MINI Cooper Clubman	1598	자동6	14.9	157
아베오 1.6 AT	1598	자동6	14.8	158

표 4. 1600cc 연비 15km/l 차량의 CO2배출량

모델명	배기량 (cc)	변속형식	연비 (km/l)	CO2 (g/km)
프라이드 1.6가솔린 4DR	1599	자동4	15.1	155
프라이드 1.6가솔린 5DR	1599	자동4	15.1	155
RCZ M6	1598	수동6	15.1	155
아베오 1.6 AT	1598	자동6	15	156
크루즈 1.6 DOHC MT	1598	수동5	15	155
쏘울 1.6 가솔린	1591	자동4	15	156
SM3	1598	무단변속	15	156
i30 1.6가솔린 Wagon	1591	자동4	15	156
MINI Cooper Convertible	1598	자동6	14.9	157
MINI Cooper Clubman	1598	자동6	14.9	157
AVERAGE			15	156

따라서, CO2 배출량 비교 결과 표 4에서와 같이 1600cc 차량의 km당 CO2 배출량(g)은 평균 156.0g/km 정도이며, 표 2의 실험결과와 비교하였을 때 약 10.4g/km 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 에너지관리공단에서 제시한 값에 비해 6.67% 적은 값으로서 실험에 사용한 차량의 연식이 오래돼서 불완전 연소로 인한 CO2 배출량의 감소를 감안하면 유효한 결과라고 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건설현장에서의 건설장비의 CO2량을 실시간으로 측정할 수 있는 방법론을 제시하였고, 자동차 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정의 CVS-75(도심주행) 모드 주행시험을 수행하여 유속을 이용한 CO2산출방법의 신뢰성을 분석하였다. 본 연구를 수행함으로써 도출된 분석결과는 다음과 같다.

첫째, RPM에 따른 CO2농도(%)는 12.3~12.8% 정도로 배기가스에 함유된 CO2농도는 거의 일정하게 나타났다.

둘째, 유속변화에 따라 CO2량이 변화하였으며, 유속이 증가하면 CO2량도 증가하는 것으로 나타났다.

셋째, Cold Start와 Hot Start Phase에서의 초당 CO2량 및 km당 CO2량은 각각 1.6~1.77 g/s 및 150.36~156.26 g/km로 Transient Phase의 1.09 g/s 및 132.97 g/km 보다 높은 것으로 나타났으며, 정속주행보다는 가속주행 시에 연료소모가 증가함에 따라 CO2배출량도 증가하고 있다.

넷째, CVS-75모드를 실제 도로에서 주행하여 측정한 km당 CO2 배출량(g)의 경우 145.6g/km로 나타났으며, 에너지관리공단에서 제시하고 있는 유사차량의 CO2배출량과 비교하였을 때, 약 ±10.4~11.6g/km정도 차이가 발생하지만 실험에 사용한 차량의 연식이 오래돼서 불완전 연소로 인한 CO2 배출량의 감소를 감안하면 유효한 결과라고 할 수 있다.

본 논문에서 제시하고 있는 CO2측정방법론을 향후 공정계획 및 장비조달계획과 연동시킴으로써, 작업종류별 장비의 부하량에 따른 CO2배출량 변화를 현실적으로 산정함으로써, 건설장비에서 발생하는 온실가스를 절감하고 더욱 친환경적인 공정계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. : 2011-0015361).

#### 참고문헌

김기동 (2011), “신규방법론에 입각한 경기지역 도로수송부문 온실가스 배출량 추정”, 경희대학교 석사학위논문

김윤경 (2006), “환경산업연관표 2000을 이용한 산업부문의 이산화탄소(CO2) 발생분석”, 자원환경경제연구 제15권 제3호 pp.425~450

박문서 · 전명희 · 이현수 · 황성주 · 장명훈 (2011), “탄소세 부과시 건설물류비용 최소화를 위한 운송빈도 최적화”, 한국건설관리학회 논문집, 제12권 제3호, 한국건설관리학회, pp.73~82

박재현 · 홍태훈 (2010), “국내 건축물 에너지 절감 관련 정책 개선방안”, 한국건설관리학회논문집, 제11권 제4호, 한국건설관리학회, pp.32~40

오일환 · 이승훈 · 정장표 · 김태형 · 서정운 (2009), “창원시 실제교통량 자료를 이용한 도로수송부문 온실가스 배출량 평가”, 한국환경과학회지, Vol.18 No.7

임재현 · 정성운 · 이태우 · 김중춘 · 서충열 · 류정호 · 황진우 · 김선문 · 엄동섭 (2009), “건설기계의 대기오염물질 배출계수 산정을 위한 연구”, 한국대기환경학회지, 제25권 제3호, pp.188~195

임형석 (2009), “LCA기법을 이용한 철도차량 재제조 부품에 대한 환경성평가”, 한양대 석사학위논문

장성원 (2011), “산정방법에 따른 부산광역시 도로수송부문 온실가스배출량 비교”, 경성대학교 석사학위논문, pp.2~5

전진구 · 김병수 (2012), “ZigBee 센서를 활용한 건설장비의 CO2배출량 측정방법”, 대한토목학회논문집, Vol.32 No.2

정성봉 (2011), “차량주행주기를 감안한 환경오염물질 산정 및 적용 -타당성 평가 적용을 중심으로-”, 대한환경공학회지, 제 33권 제4호, pp.223~230



정연식 · 송태진 · 김정완 (2011), “Tier3방법론을 활용한 BIS사업의 CO<sub>2</sub>저감효과 분석”, KSCCE Journal of Civil Engineers, Vol.31 No.3D, pp.375~381

한국에너지관리공단 (2011), “자동차의 에너지소비효율 및 등급 표시에 관한 규정- [별표1] 자동차의 에너지 소비효율 산정 방법” No.242

한성빈 · 김용태 · 이호길 · 강정호 · 정재우 · 정연중 (2009), “CVS-75모드에서 사용연료에 따른 배출가스 특성분석”, 한국에너지공학회, 제 18권 제1호, pp.69~73

환경부 (2011), “자동차 평균에너지소비효율기준 · 온실가스 배출허용기준 및 기준의 적용 · 관리 등에 관한 고시- [별표2] 자동차의 에너지 소비효율 및 온실가스 배출량 측정방법”

현은미 (2010), “친환경건물의 운영단계에서의 이산화탄소 배출 저감에 관한 연구”, 건국대 석사학위논문

IPCC (2008), “2006 Guideline to make Inventories of Nation Greenhouse Gas”

Korea Energy Management Corporation Transfer Energy, [http://bpm.kemco.or.kr/transport/co/co\\_203.asp](http://bpm.kemco.or.kr/transport/co/co_203.asp)

논문제출일: 2012.10.08  
 논문심사일: 2012.10.12  
 심사완료일: 2013.01.08

---

## 요 약

지구온난화의 원인인 CO<sub>2</sub>를 줄이기 위한 연구들이 전(全) 산업분야에서 활발하게 진행되고 있는 가운데, 건설분야에서도 CO<sub>2</sub>의 발생을 최소화하려는 연구들이 다양하게 추진되고 있다. CO<sub>2</sub> 발생량 최소화를 위한 연구는 CO<sub>2</sub> 배출량을 기반으로 하고 있는데 CO<sub>2</sub>배출량을 산정하는 방법은 크게 연료사용량 대비 탄소배출계수를 이용한 방법, LCA기반 방법론 그리고 산업연관표를 이용한 방법으로 나뉜다. 특히 연료사용량을 기반으로 탄소배출계수를 이용하는 방법은 IPCC 에서 3가지 방법(Tier1~Tier3)을 권장하고 있다. 이 중 현재 가장 많이 활용되고 있는 방법이 Tier1으로서 연료사용량과 탄소배출계수만을 이용하는 방법이다. 그러나 이 방법은 차종별 이동거리가 반영되지 않을 뿐 아니라 주행환경 등의 반영이 안되기 때문에 정확한 CO<sub>2</sub>배출량을 산정할 수 없다. 특히 건설프로젝트는 프로젝트의 특성에 따라 이산화탄소 배출량은 달라질 수 있다. 하지만 현재의 방법으로는 이러한 차이를 제대로 반영할 수 없다. 따라서 개별 프로젝트의 특성을 반영하여 이산화탄소 배출량을 산정하는 방법론이 필요하며 이러한 방법론의 가장 핵심은 에너지를 사용하는 건설장비의 이산화탄소 배출량을 직접 측정하는 것이다. 본 연구에서는 건설과정에서 발생하는 이산화탄소의 배출량 산정방법론을 개발하기 위한 연구로서 건설장비의 이산화탄소 배출량을 실시간으로 측정할 수 있는 방법의 제안을 목적으로 한다.

**키워드 :** 이산화탄소, IPCC, 지구온난화, 시공단계, 실시간 측정방법, 건설장비

---