

## 서울지역 사무소 건물의 환경부하에 관한 연구

### A study on the environmental load of office buildings in Seoul

이 상 형<sup>\*</sup>, 이 윤 규<sup>\*\*</sup>, 양 관 섭<sup>\*\*\*</sup>  
S. H. Lee, Y. G. Lee, K. S. Yang  
안 태 경<sup>\*\*\*\*</sup>, 이 승 언<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 박 효 순<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
T. K. Ahn, S. E. Lee, H. S. Park

**Key words** : Office buildings(사무소건물), Environmental load(환경부하), Energy consumption(에너지 소비), CO<sub>2</sub> emission rate(이산화탄소배출량)

#### ABSTRACT

This study is to examine the emission rate of CO<sub>2</sub> gas as the environmental load in office buildings. After the investigation of monthly consumption of each energy source(electricity and natural gas), it is analyzed that the CO<sub>2</sub> emission rate of 34 office buildings surveyed is 22.4 kg-c/m<sup>2</sup>·year, which consists of 17.5 kg-c/m<sup>2</sup>·year by consuming electricity, and 4.9 kg-c/m<sup>2</sup>·year by consuming natural gas. And the CO<sub>2</sub> emission rate of each load in those buildings consists of 68% emitted by general electricity, 16% by cooling load and 16% by heating load. It is also proposed that the CO<sub>2</sub> emission rate of cooling and heating load is profoundly pertinent to the variation of outdoor temperature.

#### 기 호 설 명

$C_{cm}$  : 냉방부하에 따른 월별 이산화탄소 배출량  
[kg-c/m<sup>2</sup>·month]  
 $C_{hm}$  : 난방부하에 따른 월별 이산화탄소 배출량  
[kg-c/m<sup>2</sup>·month]  
 $T_m$  : 월평균 외기온도 [°C]

#### 1. 서 론

1997년 일본 교토에서 개최된 「지구온난화 방지를 위한 기후변화협약 교토 당사국총회」에서는 38개 선진국들의 온실가스 배출량을 2012년까지 평균 6% 감축하는 것을 골자로 한 교토의정서가 채택되었다. 비록 우리나라는 금번 감축의 무 대상국에서 제외되었으나 장기적으로는 대상국에 포함될 수밖에 없는 상황이다. 더구나 우리나라는 온실효과의 원인 중 50%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있는 이산화탄소의 배출량이 세계 16위로서 매년 0.5~1.4%인 세계증가율을 훨씬 웃도는 10~15%를 기록하고 있으며, 2000년에는 90년 대비 128%로 증가할 것으로 전망되고

\* 한국건설기술연구원 건축연구부 연구원

\*\* 한국건설기술연구원 건축연구부 선임연구원

\*\*\* 경동대학교 건축공학과

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원

\*\*\*\*\* 한국에너지기술연구소 건물연구부 책임연구원

있다. 이와 같은 이산화탄소 배출량의 증가는 우리나라가 감축의무 대상국에 언제 포함되는지의 문제보다도 지구의 환경악화에 세계에서 열여섯 번째라는 점에 관심을 가지고 대체에너지의 개발과 에너지의 효율적인 사용을 통한 에너지절약 방안이 시급히 마련되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 에너지소비를 환경부하로 인식하고 향후 에너지원단위를 환경부하원단위로 전환하기 위하여 사무소건물의 운용에 소요되는 냉난방 및 급탕 등의 에너지소비량을 기초로 이산화탄소 배출량을 산출함으로써, 환경부하원단위 설정을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 환경부하의 개념 및 선진외국의 현황

### 2.1 환경부하의 개념

지구온난화의 주된 원인으로 인식되고 있는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 산성비의 원인인 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>와 마찬가지로 주로 화석연료의 연소에 의해 발생하고 있다. 따라서 직접 화석에너지를 소비하고 있을 뿐만 아니라 이를 소비하여 생산된 각종 건축자재로 구성된 건축물은 자재의 생산에서 시공, 유지·보수, 폐기에 이르기까지 건축물의 전 생애를 통해 많은 양의 에너지를 소비하고 있다. 우리나라의 경우 통계자료의 미비로 인해 그 절대량을 예측하기 곤란하지만 일본의 예를 살펴보면, 이러한 과정에서 소비되는 에너지가 전체 에너지소비량의 약 1/3을 차지하고 있는 것으로 조사되고 있다.<sup>(1)</sup>

이와 같이 자재의 생산을 포함한 건축물의 건설과 운용 및 폐기시에는 많은 양의 자원과 에너지가 소비되고 있는데, 일본에서는 이들 양을 지구온난화방지의 관점에서 새롭게 평가하는 LCCO<sub>2</sub> (Life Cycle CO<sub>2</sub>: 평생 온실효과가스 배출량)법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 방법은 건축물의 일생 즉, 건설(자재생산 포함), 운용, 수선, 갱신, 폐기 등 각 단계에서의 자원 및 에너지 사용에 의해 배출되는 이산화탄소량을 추측하고, 그 집계를 건물의 내용년수로 나누어 1년당 이산화탄소 배출량을 산출하는 것이며, 이는 건설행위로 인해 야기되는 지구에 대한 환경부하를 평가하는 지표로서 사용되고 있다. 즉, 환경부하란 에너지소비로 인해 배출되는 이산화탄

소량을 말하며, 에너지원에 따라 배출되는 이산화탄소량이 다르기 때문에 에너지원별 이산화탄소 배출원단위를 각각 사용하고 있다.

이러한 평가방법을 이용하여 건축물의 생애에 대한 각 단계별 이산화탄소 배출량(환경부하)을 산출한 결과에 따르면 건물의 운용단계에서 냉난방, 급탕, 조명 등의 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량이 50% 이상을 차지하고 있는 것<sup>(2)</sup>으로 나타나고 있다.

### 2.2 선진외국의 현황

선진 외국에서는 지구환경 및 자원이용, 지역환경, 실내환경 평가를 통한 환경설계로의 유도를 위해 영국의 BRE에서 제안한 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)을 제시하여 사무소, 주택, 상점, 산업시설 등에 적용하도록 하였으며, 기타 용도의 건물에 대한 평가계획을 수립하고 있다. 이러한 평가는 크게 지구환경, 지역적 국지환경, 실내환경 등으로 분류하여 각 부문에 대한 기준치 및 가이드라인을 제시한 것으로, 국가적으로 환경문제를 인식하고 실내와 실외환경을 고려한 총체적인 환경대응방안이다. BREEAM에서는 에너지소비에 따른 환경원단위 개념으로 등급을 구분하여 친환경적인 건물의 수준을 파악하였다. 신축 사무소건물의 경우에는 이산화탄소 배출량을 120 kg/m<sup>2</sup>·year이하에서 35 kg/m<sup>2</sup>·year이하까지 10단계로 구분<sup>(3)</sup>하고 있으며, 이와 더불어 기존 사무소건물에 대한 등급도 구분하여 설정하고 있다.

영국에서는 BREEAM에 의해 신축 사무소건물 중 25%가 평가받은 것으로 집계되고 있으며, 이와 같이 평가를 받은 건축물이 상당수에 이르는 것은 건축설계자와 건축주에게 유용하게 이용되기 때문인 것으로 분석된다. 즉, 건축설계자는 설계의 목표가 분명해지고, 건축주는 BRE명의로 발급된 보증서를 갖게 되어 입주자에게 혹은 건축물의 양도시에 건축물의 장점을 선전하는 자료로 사용가능하기 때문이다.

캐나다는 BEPAC(Building Environmental Performance Assessment Criteria)에 의하여 설계단계에서의 에너지 사용에 따른 환경부하 발생의 사전규제와 효율적인 사용을 유도하는 방안이

이루어지고 있다.<sup>(4)</sup>

### 3. 사무소건물의 에너지소비 실태조사

#### 3.1 조사 범위 및 방법

사무소건물의 환경부하 분석을 위한 에너지소비량을 파악하기 위하여 서울 소재 건물을 대상으로 5년(1992~1996년)동안의 에너지원별 월별 소비량을 조사하였다. 대상건물은 열 또는 전기의 연간 사용량이 각각 500TOE 이상인 업체(1994년 기준, 에너지이용합리화법 제20조 제1항에 의해 에너지관리공단에 에너지 사용량을 보고하도록 되어있는 대상건물) 중 34개소로 선정<sup>(5)</sup>되었으며, 전력 및 도시가스 등의 소비량과 건물의 건축 및 설비 현황 등이 파악되었다. 조사방법은 설문지를 작성 배포하여 기재토록 한 후, 조사원이 해당건물을 방문하여 관리담당자와 직접 면담하면서 누락부분 등의 관련자료를 수집하였다.

#### 3.2 대상건물의 에너지소비 현황

서울지역 사무소건물에서 사용하는 에너지원은 청정연료의 사용이 의무화된 1988년(보일러 용량이 2톤 이상인 업무용, 영업용, 공공용 건물, 1991년에는 보일러 용량이 0.5톤 이상의 건물 및 평균 전용면적 30평 이상의 건물에 대해 청정연료 사용을 의무화하였음) 이전에는 경유나 벙커C유, 도시가스, 전력 등 여러 에너지원이 사용되었으나 현재는 도시가스와 전력만이 사용되고 있다.

1992년부터 1996년까지 대상건물의 에너지원단위는 각각 175, 184, 195, 205 및 212 Mcal/m<sup>2</sup>·year로 5년 평균 194 Mcal/m<sup>2</sup>·year로 나타났다. 이를 에너지원별로 살펴보면 전력이 약 63%(122 Mcal/m<sup>2</sup>·year), 도시가스가 약 37%(72 Mcal/m<sup>2</sup>·year)를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

### 4. 조사건물의 환경부하 분석

#### 4.1 개요

##### (1) 환경부하 분석의 범위

하나의 건축물이 완성, 사용, 해체되기까지는 많은 양의 자원과 에너지를 소비하게 된다. 즉, 자재생산, 현장으로의 운송, 시공과정과 건물의 냉난방, 급탕, 조명, 수선 등의 운용단계 및 해체시에 많은 양의 에너지를 사용하게 되며, 결국 이것이 환경부하로 작용한다. 이와 같이 건물로 인한 환경부하를 도출하기 위해서는 건물의 전생애주기를 대상으로 해야 하지만, 본 연구에서는 사무소건물의 에너지소비에 따른 환경부하에 한정하여 분석하고자 한다.

##### (2) 환경부하의 산출방법

사무소건물의 환경부하 분석 및 환경부하 원단위는 5년(1992년~1996년)동안의 월별 에너지소비량이 파악된 34개 건물을 대상으로 도출하였다.

서울지역의 사무소건물에 대한 운용과정상의 에너지원별 환경부하(이산화탄소 배출량)는 냉난방 및 급탕, 조명, 각종 설비의 운전을 위해 사용하는 도시가스 및 전력의 월별소비량을 기초로 산출하였으며, 단위는 이산화탄소 배출량을 나타내는 kg-c(여기에서 c는 탄소)를 사용하였다.

본 연구에서 환경부하 산출에 사용한 도시가스의 이산화탄소 배출원단위는 아래 Table 1과 같이 OECD에서 제시한 천연가스의 이산화탄소 배출원단위를 사용하였다<sup>(6)</sup>. 전력의 경우에는 한국 전력공사에서 제시한 '96년도 전력 1kWh생산시의 이산화탄소 배출원단위인 0.124 kg-c/kWh를 사용하였다.

Table 1 CO<sub>2</sub> emission factors of energy sources

Energy source	CO <sub>2</sub> emission factor
gasoline	0.079146 kg-c/Mcal
kerosene	0.081658 kg-c/Mcal
gas oil	0.084590 kg-c/Mcal
LPG	0.072027 kg-c/Mcal
LNG	0.068 kg-c/Mcal
heavy oil	0.088358 kg-c/Mcal

Source : OECD, National inventories of net green house gas emission, 1992. pp. 2~8.

4.2 요소별 환경부하 분석

(1) 연면적에 따른 이산화탄소 배출량

5년(1992년~1996년)동안의 에너지소비량이 파악된 사무소건물을 대상으로 각 건물의 연평균 이산화탄소 배출량을 연면적에 따라 나타내면 Fig. 1과 같다. 연면적의 증가에 따라 이산화탄소 배출량은 점차 감소하는 추세를 보이다가 다시 증가하는 경향을 나타냈으나, 유사한 규모의 건물에서도 배출량은 상당한 차이가 발생하는 것으로 파악되었다. 대상건물을 연면적에 따라 20,000 m<sup>2</sup>미만, 20,000 m<sup>2</sup>이상 30,000 m<sup>2</sup>미만, 30,000 m<sup>2</sup>이상 40,000 m<sup>2</sup>미만, 40,000 m<sup>2</sup>이상 50,000 m<sup>2</sup>미만 과 50,000 m<sup>2</sup>이상으로 분류하였을 때, 각각 5개소, 11개소, 6개소, 7개소 및 5개소로 파악되었다. 각각의 연간 이산화탄소 배출량은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 30.2, 24.9, 18.3, 18.5와 19.8 kg-c/m<sup>2</sup>·year로 분석되었다.

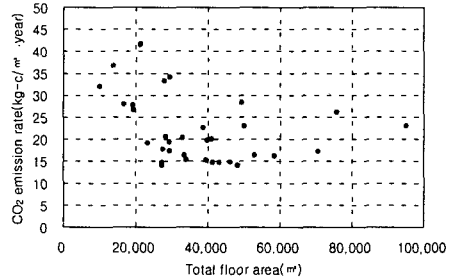


Fig. 1 Annual CO<sub>2</sub> emission from each office buildings investigated(5-years average).

(2) 에너지원별 이산화탄소 배출량

분석대상 사무소건물의 에너지원인 전력 및 도시가스 각각의 소비에 따른 이산화탄소 배출량을 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 연도별 변화추이를 살펴보면, 전력 소비에 따른 이산화탄소 배출량은 1992년부터 1996년까지 16.1, 16.7, 17.7, 23.6, 24.4 kg-c/m<sup>2</sup>·year, 도시가스 소비에 따른 이산화탄소 배출량은 4.3, 4.7, 4.9, 5.3, 5.5 kg-c/m<sup>2</sup>·year로 나타나서, Fig. 3과 같이 에너지원별로 연간 4% 내외의 증가세를 나타냈다. 대상건물의 월별 이산화탄소 배출량을 분석한 결과는 Fig. 4와 같으며, Fig. 5는 월평균 외기온도의 변화에 따른 에너지원별 이산화탄소 배출량을 나타내고 있다. Fig. 5에서도 알 수 있듯이 공조용으로 소비되는 도시가스에 의한 배출량은 외기온도와 밀접한 상관관계를 나타냈으나, 전력의 경우에는 비공조용 일반전력의 소비에 의한 이산화탄소의 배출로 상관관계가 상대적으로 낮게 나타났다.

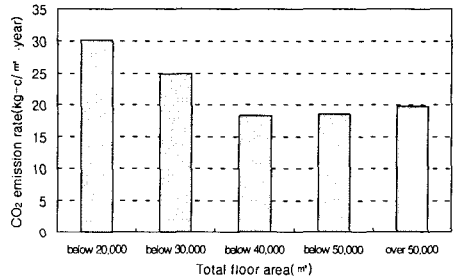


Fig. 2 CO<sub>2</sub> emission rate classified by total floor area of buildings.

(3) 부하별 이산화탄소 배출량

건물에서 소비되는 에너지를 부하별로 분석한 자료를 바탕으로 각 부하에 따른 이산화탄소 배출량을 산출하였다. Fig. 6과 같이 일반전력 소비에 따른 이산화탄소 배출량은 전체의 68%를 차지하였고, 냉방 및 난방용 에너지소비에 따른 이산화탄소 배출량은 각각 16%를 차지하는 것으로

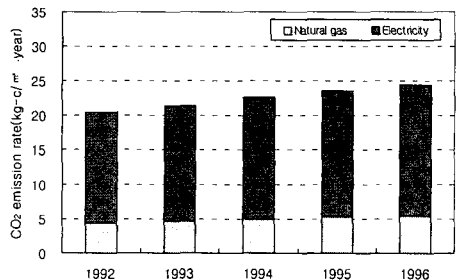


Fig. 3 CO<sub>2</sub> emission rate of each energy sources.

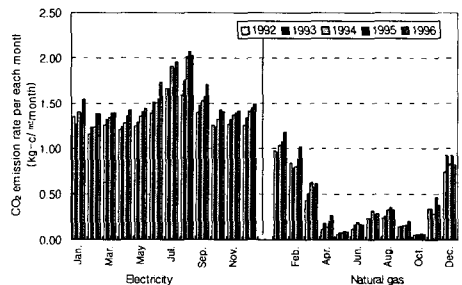


Fig. 4 Monthly CO<sub>2</sub> emission of each energy sources for 5 years.

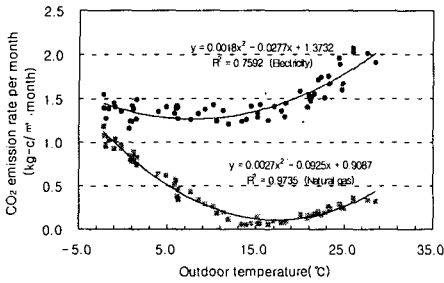


Fig. 5 Monthly CO<sub>2</sub> emission according to outdoor temperature.

파악되었다.

분석대상 사무소건물에서 배출되는 이산화탄소량을 부하에 따라 월별 5년 평균치로 분석한 결과, Fig. 7과 같은 분포를 나타냈다. 대상건물 중 흡수식 냉온수기를 사용하는 건물(8개소)과 냉동기와 보일러를 각각 운전하는 건물(23개소)에 대한 각각의 부하별 연간 이산화탄소 배출량은 Fig. 8과 같다. 두 건물군의 연도별 소비패턴은 유사하게 나타났으며 냉방용 에너지소비에 따른 이산화탄소 배출량은 흡수식 냉온수기 사용개소에서 약간 높은 것으로 파악되었다.

부하별 에너지소비에 따른 월별 이산화탄소 배출량을 월평균 외기온도에 따라 나타내면 Fig. 9와 같은 분포를 보였으며, 특히 냉난방부하에 따른 이산화탄소 배출량의 변화는 식(1), 식(2)와 같이 월평균 외기온도에 대한 이차식으로 나타낼 수 있다. 이러한 추세식은 Fig. 10과 Fig. 11에서와 같이 높은 결정계수( $R^2$ )를 보여 냉난방부하별 에너지소비에 따른 이산화탄소 배출량이 외기온도의 변화와 밀접한 관련이 있음을 나타낸다.

$$C_{cm} = 0.0033 T_m^2 - 0.0692 T_m + 0.3904 \quad (1)$$

$$C_{hm} = 0.0019 T_m^2 - 0.0829 T_m + 0.9077 \quad (2)$$



Fig. 6 Composition ratio of CO<sub>2</sub> emission rate.

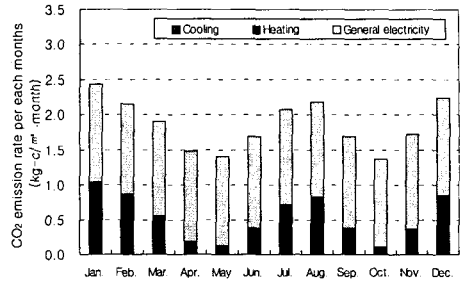


Fig. 7 Monthly CO<sub>2</sub> emission of each loads.

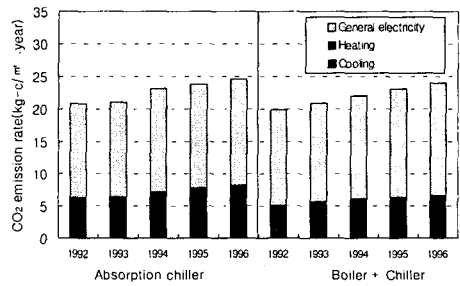


Fig. 8 CO<sub>2</sub> emission rate of each loads classified by equipment combination.

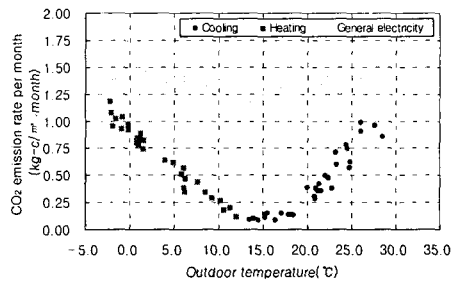


Fig. 9 CO<sub>2</sub> emission rate of each loads according to outdoor temperature.

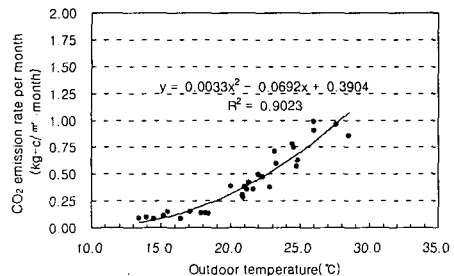


Fig. 10 CO<sub>2</sub> emission rate by consuming for cooling according to outdoor temperature.

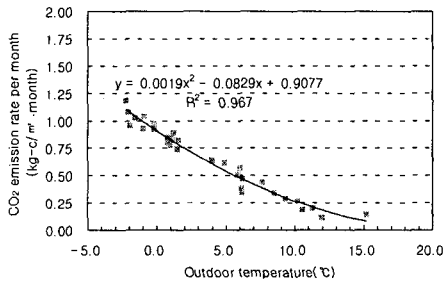


Fig. 11 CO<sub>2</sub> emission rate by consuming for heating according to outdoor temperature.

### 5. 결론

1992년부터 1996년까지의 에너지원별 소비실태가 파악된 34개 사무소건물을 대상으로 에너지소비에 따른 이산화탄소 배출량을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 대상사무소건물의 5년(1992년~1996년) 평균에너지원단위는 194 Mcal/m<sup>2</sup>·year로, 에너지원별로는 전력이 약 63%(122 Mcal/m<sup>2</sup>·year), 도시가스가 약 37%(72 Mcal/m<sup>2</sup>·year)를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 에너지원별로 이산화탄소 배출원단위를 분석한 결과 전력의 경우 17.5 kg-c/m<sup>2</sup>·year, 도시가스의 경우는 4.9 kg-c/m<sup>2</sup>·year로 나타나, 대상

건물의 환경부하원단위는 22.4 kg-c/m<sup>2</sup>·year로 파악되었다.

(3) 이산화탄소 배출량을 부하별로 산출한 결과 일반전력 소비에 따른 이산화탄소 배출량이 전체의 68%를, 그리고 냉방 및 난방용 에너지소비에 따른 이산화탄소 배출량이 각각 16%를 차지하는 것으로 파악되었다.

### 참 고 문 헌

1. 산업자원부, 1998, 건물의 에너지원단위 기준 (안) 연구에 관한 중간보고서(사무소건물). pp. 186~187
2. 酒井寛二 외, 1995, 日本建築學會大會學術講演梗概集 : 建物のライフサイクル二酸化炭素排出量推定法に関する研究. pp. 891~892
3. BREEAM, 1993, Building Research Establishment Report : An environmental assessment for new office designs. pp. 6~7
4. 한국건설기술연구원, 1997, 건물에너지원단위 및 환경부하 설정연구(공동주택). pp. 117~119
5. 에너지경제연구원, 1996, 에너지 총조사보고서. pp. 5~22
6. OECD, 1995, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. pp. 11~12