

# 공동주택 사용부문의 이산화탄소 배출량 추정모델 연구

## Estimation Model of the Carbon Dioxide Emission in the Apartment Housing During the Maintenance period

이 강 희\*  
Lee, Kang-Hee

채 창 우\*\*  
Chae, Chang-U

### Abstract

The carbon dioxide is brought from the energy consumption and regarded as a criteria material to estimate the Global Warming Potential. Building shares about 30% in national energy consumption and affects to environment as much as the energy consumption. But there is not enough data to forecast the amount of the carbon dioxide during the maintenance stage. Various factors are related with the energy consumption and carbon dioxide emission such as the physical area, the building exterior area, the maintenance type and location. Among these factors, the building carbon-dioxide emission can be estimated by the overall building characteristics such as the maintenance area, the number of household, the heating type, etc., The physical amount such as the thickness of the insulation and window infiltration could explained the limited scope and might not be use to estimate the total carbon-dioxide emission energy because the each value could not include or represent the overall building.

In this paper, it provided the estimation model of the carbon-dioxide emission, explained by the overall building characteristics. These factors are shown as the maintenance area, no. of household, the heating type, the volume of the building, the ratio of the window to wall area etc., For providing the estimation model of th carbon-dioxide emission, it conducted the corelation analysis to filter the variables and suggested the estimation model with the power model and multiple regression model. Most of the model have a good statistics and fitted in the curve line.

키워드 : 공동주택, 전과정평가, 에너지, 이산화탄소, 추정모델, 다중회귀분석

keyword : Apartment housing, Life Cycle Assessment, energy, carbon dioxide, estimation model, regression analysis

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

최근 들어 빈번히 발생하고 있는 기상이변 가운데 많은 부분은 지구 온난화로부터 그 원인을 찾을 수 있다. 지구 온난화의 원인은 온실효과를 일으키는 기체중에서 인간의 영향을 가장 많이 받는 이산화탄소이다. 이산화탄소는 화석에너지 사용을 통해서 가장 많이 배출된다. 뿐만 아니라 화석에너지 사용에 따른 이산화탄소 등의 온실효과가스의 배출은 이상기후현상, 오존층 파괴 등의 결과를 낳고 있다.

건축물의 사용부문의 에너지 사용은 조리, 조명, 냉난방 등에서 이루어진다. 국가전체 에너지 소비 가운데 약 1/3수준이 건축부문에서 차지한다. 이것은 화석에너지의 사용만큼 이산화탄소 배출이 이루어진다는 것을 반증하는 것이다.

그러나 건축물은 일반 소비재와는 달리 철거 및 해체

에 이르는 수명기간 동안 계속적으로 에너지를 소비하는 동시에 이산화탄소를 배출하게 된다. 앞서 살펴본 바와 같이 이산화탄소는 지구온난화의 기준 물질로서 감축하기 위한 다양한 노력이 경주되고 있다. 탄소배출권 거래, 이산화탄소의 재활용 등 다양한 노력과 기술은 계획 및 설계, 건설환경 등의 조건을 제약하는 요인으로 나타날 수 있다. 따라서 이산화탄소 배출을 저감하기 위해서는 현재 공동주택에서 발생하고 있는 배출수준을 분석, 평가 후, 분석결과를 종합적으로 반영하는 계획적인 접근방법이 이루어져야 한다.

상기와 같이 건축물은 화석에너지 소비와 함께 이산화탄소 배출에 많은 비중을 차지하고 있다. 그러나 지금까지 대부분의 연구에서는 에너지 소비측면에 무게중심이 두어진 반면, 지구온난화 등의 환경영향 측면에서 이산화탄소 배출 저감을 위한 연구는 저조한 실정이다. 이산화탄소 배출이 화석에너지와 직접적으로 연계성을 가지고는 있으나 배출에 영향을 주는 요인과 구조에 대한 연구가 요구되는 실정이다.

또한 기존의 이산화탄소 배출과 관련된 정보를 제공하는 많은 자료들은 산업, 교통, 주거 등의 대분류 측면에서 배출량 혹은 배출량 추이 등을 거시적인 측면에서 제공

\* 교신저자, 정회원, 안동대학교 건축공학과 부교수, 공학박사. (leekh@andong.ac.kr)

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사. 본 연구는 과학기술부 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 R11-2005-056-01004-0).

하고 있다. 이와 같은 거시적인 자료는 계획 및 설계단계에서 건축물 관리특성 혹은 유형 등에 따른 이산화탄소 배출 요인과 저감분석에 활용하기란 한계가 있다. 뿐만 아니라 건축물 특성에 따른 이산화탄소 배출량 예측의 한계로 인해 계획 및 설계단계에서 세부적인 접근이 용이하지 않다.

본 연구는 조리, 조명, 냉난방 등의 사용부문에서 관리 특성, 유형, 사용특성 등을 반영한 이산화탄소 배출량 추정모델을 구축하는 것이다. 이것은 건축물 수명기간동안 사용부문에서 예상되는 이산화탄소 배출량 수준을 파악하는데 효과적으로 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 구축된 모델을 이용하여 기존의 공동주택을 대상으로 관리특성, 현황 등을 반영하여 총량적인 측면에서 이산화탄소 배출 수준을 분석, 활용하여 정책 혹은 계획 기초자료로서 역할을 할 것으로 판단된다<sup>1)</sup>.

### 1.2 연구의 방법 및 내용

공동주택의 건축개요, 관리특성 등을 이용하여 총량적인 이산화탄소 배출량을 예측하기 위한 추정모델 작성은 영향변인 추출, 모델작성 등의 과정으로 수행되어야 한다. 이에 대한 연구방법과 내용을 세부적으로 기술하면 다음과 같다.

첫째, 공동주택 사용부문에서 중앙집중 난방방식, 개별 난방으로 대별하여 월별, 에너지원별 소비량을 조사하였다. 이것은 난방방식에 따른 사용 에너지원이 상이함에 따라 이산화탄소 배출량에 차이가 발생하기 때문이다. 조사된 에너지원별 사용량을 활용하여 에너지원별 이산화탄소 배출 원단위를 곱하여 월별, 연간 이산화탄소 배출량을 분석하였다. 중앙집중 난방방식의 에너지원은 전력 에너지, 도시가스, 벙커C유 등이며 개별난방방식은 전력 에너지, 도시가스로 구성된다. 이산화탄소 배출량은 총량적인 측면과 단위면적당 발생량 측면에서 분석하였다.

둘째, 공동주택 사용부문의 이산화탄소 배출에 영향을 주는 변인은 건축개요, 관리특성 등을 설명하는 요소를 포함하여 추출하였다. 공동주택 단지 전체의 총량적인 측면에서 요인은 크게 경과년수, 세대수, 관리면적, 난방방식, 창면적비, 건물체적, 조경면적, 주차대수, 복도형식, 관리방식, 소유형태, 단지(團地) 주변환경 등으로 구분할 수 있다. 이들 요인은 공동주택 사용부문의 이산화탄소 배출량을 설명할 수 있다고 판단되는 요인을 모두 추출한 것이다. 이러한 변인을 활용하여 이산화탄소 배출량과의 상관분석을 통해 변인상호간의 연관성을 분석하였다. 변인 사이의 상관성을 분석하는 통계적인 방법으로는 요인분석, 판별분석, 다차원척도법 등을 들 수 있다. 그러나 조사된 데이터가 지역적으로 제한되고 표본이 크지 않으므로 상관관계를 활용하여 변인상호간의 연관성을 분석하였다. 변인 상관관계를 이용하여 대표적인 변인을 추출하

였다. 조사표본은 경상북도 A시에 위치하는 공동주택 21개 단지이다.

셋째, 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 건축개요 혹은 관리특성 가운데 변인을 통계적인 방법으로 추출하여 이산화탄소 배출량과의 관계를 모델함수로 작성하였다. 이때 건축현황, 관리특성을 나타내는 변인을 활용하여 회귀분석을 수행하였다. 그러나 변인사이의 다공선성(multicollinearity)이 존재하는 것으로 판단되는 변인은 모델에서 제외된 변인들과 함수관계를 형성하였다. 따라서 본 논문에서는 건축현황, 관리특성을 나타내는 변인 가운데 상관관계 분석을 통해 변인을 추출하여 이산화탄소 배출량과 곡선추정(curve estimation) 형태로 작성하였다. 곡선추정기법에는 2차 함수, 3차 함수, 지수함수, 선형함수 등 다양하다. 이들 가운데 통계량이 비교적 양호한 파워함수(power estimation)를 이용하여 분석하였다.

### 1.3 연구의 범위

공동주택의 건축현황, 관리특성 등과 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하기 위해 경북 A시에 입지하고 있는 공동주택을 조사하였다. 총 48개의 단지를 조사하였으나 조사자료의 유의성, 누락 등을 감안하여 21개의 표본을 추출하였다. 21개의 공동주택단지를 대상으로 경과년수, 세대수, 관리면적 등의 관리특성과 조경면적, 창면적비, 주동체적 등의 물리적 측면, 기타 인근의 공원, 하천 등의 위치 여부 등에 대한 단지 주변환경 등으로 구분하여 진행하였다<sup>2)</sup>.

조사대상 공동주택은 총 21개 단지로서 이 가운데 개별난방방식은 17개 단지, 중앙집중 난방방식은 4개 단지이다. 준공 후 경과년수는 24년에서부터 2년까지 다양하게 분포되어 있다<sup>3)</sup>. 조사대상 단지의 일반적인 특성은 표 1과 같다. 추출된 표본단지의 평균 경과년수는 약 7년이며, 세대수는 456세대이다. 관리면적과 주차대수는 각각 약 39,064m<sup>2</sup>, 383대 정도로 분석된다.

표 1. 조사대상 단지의 일반적 개요

항목	내용	항목	내용
경과년수	평균 7.3년	세대수	평균 456세대
관리면적	평균 39,064m <sup>2</sup>	창면적비	평균 58%
체적	평균 116,136m <sup>3</sup>	조경면적	평균 4,006m <sup>2</sup>
주차대수	평균 383대		

## 2. 지구환경영향 물질 특성

공동주택 사용부문에서의 이산화탄소 배출은 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 난방방식, 설비유형 및 용량, 건물규모, 건물형태, 향, 사용자 특성, 외기온, 조경 등을

- 이들 이외에 벽면녹화면적, 관리방식, 공원, 산 등의 입지조건, 소유형태 등의 자료를 조사하였다. 그리고 본 연구는 이산화탄소 배출량을 공동주택 단지전체와의 관계를 분석하는 것으로 단열, 환기, 난방설비 등의 미시적인 측면보다는 거시적인 측면을 중심으로 하여 수행하였다.
- 조사대상 단지의 준공년도는 중앙집중난방방식은 1995년과 1997년 사이이며 개별난방방식은 1995년, 1998년과 2004년 사이에 준공된 것이다.

1) 이것은 공동주택의 구체, 설비 등 세부요소에 의한 이산화탄소 배출량 측면보다는 공동주택 관리, 현황측면에서 총량적인 측면에서 이산화탄소 배출량을 추정하는 것이다. 그리고 개발된 기술을 새로이 신축되는 공동주택에 적용하는 데에는 건축산업 특성상 많은 시간을 요구하므로 시간적 간격을 고려하고 있지 않다. 또한 적용기술에서도 변이를 고려하지 않고 있다.

들 수 있다. 이러한 요인은 크게 건물외부환경, 물리적 구성형태, 사용자 특성 등으로 크게 대별할 수 있다. 이러한 요인에 의해 발생하는 이산화탄소 배출은 지구온난화 지수(Global Warming Potential)의 기준 물질로 역할을 한다.

지구온난화는 온실효과에 의한 기온상승을 말하는 것으로 주된 요인은 수증기(H<sub>2</sub>O), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 오존(O<sub>3</sub>), 염화불소(CFC) 등이다. 온실효과를 일으키는 주요 배출원과 온난화 기여도를 보면 이산화탄소가 65%로 가장 크고 CH<sub>4</sub>, CFC, N<sub>2</sub>O순으로 나타나고 있다. 이러한 온실가스는 인간의 생활 및 경제활동으로부터 거의 인위적으로 발생하게 되는 것들로서, 이 가운데 CO<sub>2</sub>의 주요 배출원은 에너지 사용, 삼림벌목, 토지이용 변화 등이며 CH<sub>4</sub>는 경작, 폐기물 등에서 주로 배출되고 있는 것으로 나타났다.

따라서 지구온난화는 기후변화를 유발하는 중요한 환경부하로 취급되고 있으며, 건축재료나 건축활동에서 발생하는 환경부하 중 가장 비중이 큰 항목이라고 할 수 있다. 또한, 지구온난화를 유발하는 온실가스는 초장기적으로 예상되는 환경문제이어서 지구온난화 지수도 20년, 100년, 500년을 기준으로 제시되고 있다.

이러한 지구온난화 지수는 지구온난화에 대한 정량적인 분석을 할 때 온실가스별로 다른 가중치를 적용하도록 하여 적은 양이 방출되더라도 큰 영향이 있는 가스에 대하여 고려할 수 있도록 도와준다.

표 2. 지구온난화지수(GWP) 구성물질과 영향지수

구분	수명	GWP		
		20년	100년	500년
CO <sub>2</sub>		1	1	1
CH <sub>4</sub>	10.5	35	11	4
N <sub>2</sub> O	132	260	270	170
CFC-11	55	4,500	3,400	1,400
CFC-12	116	7,100	7,100	4,100
CFC-13	400	11,000	13,000	15,000
CFC-14	>500	>3,500	>4,500	>5,300
HCFC-22	15.8	15.8	4,200	1,600
CFC-113	110	110	4,600	4,500
CFC-114	220	220	6,100	7,000
CFC-115	550	550	5,500	7,000
CFC-116	>500	>550	>4,800	>6,200
HCFC-123	1.71	1.71	330	90
HCFC-124	6.9	6.9	1,500	440
HFC-125	40.5	40.5	5,200	3,400
HFC-134a	15.6	15.6	3,100	1,200
HCFC-141b	1,800	1,800	580	200
HCFC-142b	4,000	4,000	1,800	620
HFC-143a	64.2	64.2	4,700	3,800
HFC-152a	1.8	1.8	530	150
CCl <sub>4</sub>	47	1,800	1,300	480
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	6.1	360	100	34
CF <sub>3</sub> Br	77	5,600	4,900	2,300
CH <sub>4</sub> Cl <sub>3</sub>	0.7	92	25	9
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0.6	54	15	5
CO	수개월	-	-	-
NMHC	수일~수개월	-	-	-
NO <sub>x</sub>	수일	-	-	-

자료) IPCC, 1992

잠재적 지구온난화 가중치계수에 대한 모델은 여러 가지가 사용되고 있으나, 본 논문에서는 기후변화에 대한 정부간 패널인 IPCC에서 제시한 가중치를 이용하는 방법을 사용하고자 한다. 표2에서 보는 바와 같이 IPCC에서 제시한 가중치는 20년, 100년, 500년 등으로 구분되고 있는데, 이는 각 물질이 지구환경에 미치는 부하의 잔존기간을 가정하여 구분한 것이다. 건축재료의 환경친화성 평가를 위하여 지구온난화에 대한 환경영향항목을 평가할 때에는 사용한 가중치계수의 분석기간을 기록하고, 비교평가를 하고자 할 때에는 동일한 분석기간을 설정하여야 한다.

지구온난화지수를 구하는 식은 조사된 배출물질에 가중치계수를 곱하여 구하며 식1과 같다. 식1은 이산화탄소 당량으로 환산한 지구온난화 지수표를 사용하므로 평가결과에 대한 단위는 kg-CO<sub>2</sub>가 된다.

$$\text{지구온난화지수} = \sum Wi \times GWPi \dots \dots \dots \text{식1}$$

여기에서,  $Wi$  =  $i$ 호름에서 발생하는 온실가스 양(kg)

$GWPi$  =  $i$ 호름에서 발생하는 온실가스를 지구온난화지수를 곱하여 이산화탄소 당량으로 환산한 양(kg)

### 3. 기존 이산화탄소 배출량 산정 연구고찰

공동주택 사용부문과 이산화탄소 배출량과의 관련성을 설명하는 연구는 비교적 적은 형편이다. 이것은 화석에너지 소비저감을 위한 단열, 건물형상, 창호 등의 단위세부적인 측면에 연구범위를 둔 것에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 공동주택과 이산화탄소 배출과의 연계성을 설명하는 연구는 건축물 라이프사이클 과정에서 소요되는 에너지 소비량을 설명하고, 에너지 소비량에 따른 이산화탄소 배출량을 산정하는 부가적인 연구결과가 대부분이다. 이러한 연구결과를 분류하면 크게 3가지 측면으로 구분할 수 있다. 첫째, 건축물 표본추출 결과를 이용하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하는 연구들 들 수 있다. 이것은 사무소, 주택 등의 에너지 소비량을 조사, 분석한 것이다. 여기에서는 에너지 소비량에 초점이 이루어지고 이산화탄소 배출은 부가적인 연구결과로 나타난다. 둘째, 건축물의 라이프사이클 단계 가운데 건설단계에서 투입된 건축자재와 재료부분에 대한 에너지 소비량을 분석한 것이다. 이것은 산업연관분석법을 이용하여 건축자재와 재료의 이산화탄소 배출량을 산정한 것이 대부분이다. 셋째, 대상건축물에 대한 에너지원별 소비량을 현장조사한 결과를 이용하는 것이다. 이것은 에너지원별 조사결과를 이산화탄소 배출계수를 곱하는 형식으로 산정하는 것이다. 위와 같은 3가지 기법은 에너지 소비량을 중심으로 이루어진 것이 대부분이며, 이산화탄소 배출량은 부가적인 연구결과로 나타난 것이 공통적이다. 이들 연구내용을 정리하면 다음과 같다.

우선, 간접추계방법인 산업연관분석법을 이용하여 건축자재와 재료, 사용부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 산정한 연구는 다음과 같다. 이강희외 1인(2002)는 건축구조형식에 따른 공공건축물의 건설단계에서의 에너

지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하였다<sup>4)</sup>. 공공건축물의 구조형식은 크게 철골조, 철근콘크리트조 각각 2개 건물의 신축공사에서 투입되는 건축자재와 재료를 대상으로 분석하였다. 연구결과에 의하면 철골조는 철근콘크리트조보다 에너지 소비원단위가 각각 30%정도 높게 나타나고 있을 뿐만 아니라 이산화탄소 배출원단위는 약 50%정도 높게 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 이와 같은 연구결과는 철근콘크리트조가 철골조보다 이산화탄소 다배출형인 레미콘, 철근 등의 사용량이 상대적으로 낮은 것에 기인하는 것으로 사료된다<sup>5)</sup>.

이강희(2001)은 공동주택을 대상으로 하여 유지관리단계의 개보수에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하였다<sup>6)</sup>. 이 연구에서는 방수공사, 도장공사, 수장공사, 잠공사 등 4개 공종에 대한 개·보수에 따른 건축자재와 재료의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하고 있다. 본 연구결과 에너지 다소비, 이산화탄소 다배출형 건축자재와 재료는 레미콘, 도료 등을 들 수 있다. 또한 건물의 내용년한을 30년과 60년으로 설정할 경우 후자는 전자에 비해 약 2.5배 정도의 에너지 소비와 이산화탄소 배출이 발생하는 것으로 분석되고 있다. 이것은 개·보수 공사를 할지라도 초기성능에 도달하지 못함으로써 열화발생기간이 계속적으로 단축되기 때문인 것으로 추측된다.

또한 그는 공동주택 라이프사이클 단계중 사용부문에 대한 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 추정하였다<sup>7)</sup>. 이 연구에서는 161개 공동주택 단지를 조사하여 단지를 설명하는 세대수, 관리면적, 난방방식, 지리적 입지 등을 설명변수로 하고 에너지원별 소비량과 이산화탄소 배출량을 종속변수로 하는 추정모델을 작성하였다. 이와 같은 연구는 분석대상 건축물에 대한 현장조사자료를 단순 계산하는 차원에서 벗어나 추정모델을 작성함으로써 일반화시키고자 하는 것이 특징이다.

건설단계의 건축자재와 재료에 투입되는 내재에너지와 이산화탄소 배출량을 산정한 연구는 산업연관분석법을 이용하고 있다<sup>8)</sup>. 산업연관분석법은 건축물과 같은 다종다양한 소재를 포함하는 것에 적합한 것으로 14개 공종으로 구분할 뿐만 아니라 사용자재 및 재료에 대해서도 분석을 하였다. 연구결과 건설단계에서는 에너지 소비원단위는 363Mcal/m<sup>2</sup>, 이산화탄소 배출원단위는 32kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>으로 나타나고 있다.

장성문 외3인은 공동주택 개·보수에 소요되는 건축자재와 재료의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하고 있다. 이 연구는 170m<sup>2</sup>의 단위세대를 기준으로 하여 창호, 도장, 유리, 전등 등 12개의 수선을 대상으로 하고 있다. 본 연구결과는 모르타, 직물벽지, 페인트 등의 화학적인 공정을 거치는 건축자재가 전체에너지 소비량과 이산화탄소 배출량의 80%수준을 차지하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 에너지 소비와 이산화탄소 배출을 저감하기 위해서 화학적인 공정개선을 통해 건축자재와 재료의 사용을 줄이는 것이 필요하다.

두 번째로 건축물 유형별로 표본을 추출하여 통계적인 기법으로 이산화탄소 배출원단위를 산정한 것이다. 홍성희 외 3인은 사무소 건축물과 공동주택을 대상으로 하여 표본조사후 통계적 방법을 이용하여 이산화탄소 배출원단위를 제시하고 있다<sup>9)</sup>. 사무소 건물은 전국을 중부, 남부, 제주 지역으로 구분하여 161개의 표본을 추출하였다. 여기에는 사무소 건축물의 에너지원별 사용량을 조사한 결과를 활용하여 이산화탄소 배출원단위를 산정하는 과정으로 수행되었다. 연구결과 평균 이산화탄소 배출원단위는 년 18.5kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>으로 제시되었다. 중부지역은 22.46kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 남부지역과 제주지역은 각각 15.7kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 17.4kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>의 이산화탄소 배출원단위를 보이고 있다.

뿐만 아니라 공동주택을 대상으로 하여 전국을 3개 지역으로 구분하여 표본을 추출, 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 연구하였다<sup>10)</sup>. 총 1,055의 표본을 추출하였으며 에너지원별 사용량에 따른 이산화탄소 배출원단위를 산정하였다. 분석결과 년평균 중부지역은 13kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 남부지역은 11.4kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 제주지역은 9.7kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>의 이산화탄소 배출원단위를 보이고 있는 것으로 나타났다.

그리고 학교, 관청 등 특정 분석대상 건축물에 대한 에너지원별 소비량을 현장조사한 결과를 이용하여 산정한 것은 이산화탄소 배출원단위를 산정하기 보다는 에너지 소비원단위를 산정하는 것이 대부분이다. 학교건축물에 대한 연구로는 조두상 외2인의 연구를 들 수 있다<sup>11)</sup>. 분석결과 학교 건축물의 에너지 소비량은 경과년수에 따라 변화되는 것으로 나타나고 있으면 건물의 향, 학교유형 등이 주요 설명변수로 작용하는 것으로 나타나고 있다. 또한, 김주영(2006)은 종합병원을 대상으로 하여 에너지 소비원단위를 제시하고 있다<sup>12)</sup>. 에너지 소비원단위는 년 평균 589Mcal/m<sup>2</sup>으로 분석되었다.

상기 이외에 건물구성재의 일부분을 연구범위로 하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정한 연구를 들 수 있다. 김선식의 3인은 벽체를 대상으로 하여 습식과

4) 이강희, 채창우, "산업연관분석을 이용한 공공건축물의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산출연구", 대한건축학회논문집 계획계 18권5호, pp.99~107, 2002.2.  
5) 본 사례의 경우 철골조라는 의미는 골조형태를 형성하고는 것으로 그 이외의 부분은 철근콘크리트조와 거의 유사한 패턴을 보이고 있다.  
6) 이강희(2000), "공동주택 유지관리단계의 건축자재와 재료의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 추정에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 16권9호, pp.1~8.  
7) 이강희(2000), "공동주택 유지관리단계의 에너지 소비량 소비특성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 16권12호, pp.185~192.  
8) 이강희(2000), "공동주택 건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 16권4호, pp.125~132.

9) 홍성희 외 3인(2002), "사무소건물의 에너지 소비원단위 설정연구", 대한건축학회논문집 계획계 18권9호, pp.237~244.  
10) 홍성희 외 3인(2001), "공동주택의 에너지 소비원단위 설정연구", 대한건축학회논문집 계획계 17권12호, pp.151~160.  
11) 조두상 외 2인(2002), "학교건축물의 에너지 소비원단위화에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 18권8호, pp.209~216.  
12) 김주영 외 2인(2006), "대구광역시 종합병원건축물의 에너지 소비특성 분석 및 원단위 작성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 22권11호, pp.329~336.

건식의 경우를 비교, 분석하였다<sup>13)</sup>. 습식벽체를 기준으로 하여 건식벽체는 약 75%, 가동칸막이 벽체는 42%수준의 이산화탄소 배출을 보이는 것으로 나타나고 있다.

이와 같은 연구결과 이외에는 대부분이 에너지 소비를 중심으로 하여 분석되었다. 시뮬레이션을 통한 에너지 소비절감 기술 개발, 난방도일과 에너지소비량과의 관계 등을 중심으로 연구되었다. 이산화탄소 배출량을 중심으로 하는 연구는 제한적으로 상기의 3가지 유형으로 구분된 것이 대부분으로 사료된다.

**4. 이산화탄소 배출현황 및 추정모델**

공동주택 단지 범위의 이산화탄소 배출량과 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인은 크게 건물내부, 건물외부 등의 물리적 측면과 관리방식, 세대수 등의 관리특성 측면, 사용자의 라이프스타일 등을 들 수 있다. 즉, 이산화탄소 배출량은 화석에너지 연소로 인해 발생하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이산화탄소 배출량 추정모델 작성을 위해 에너지 소비량에 영향관계를 형성하는 것으로 예상되는 변인을 추출하였다. 그리고 이산화탄소 배출량을 단지 전체적인 측면에서 연관성을 분석하는 것으로 건물구체 구성, 평면 등의 건물내부적인 측면보다는 건물외적인 측면에서 분석하였다. 이를 위해 건물외부 측면에서 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 추출하였다. 추출한 결과를 이용하여 회귀분석을 통해 이산화탄소 배출량과 영향요인과의 연관성을 분석하였다.

**4.1 이산화탄소 배출 현황 및 특성**

이산화탄소는 화석에너지 소비에 의해 발생하는 물질이다. 따라서 에너지 소비에 따라 이산화탄소 배출량이 변화되는 특징을 가지고 있다. 이산화탄소 배출량은 에너지 소비열량 단위에 의해 산정된다. 에너지원별 열량에 따른 이산화탄소 배출원단위는 표3과 같다. 전력에너지 가운데 수력, 원자력은 이산화탄소 배출이 적은 청정에너지이다. 그러나 전체 전력에너지의 60%수준을 화력부분이 차지하고 있다. 따라서 이산화탄소 배출량은 각각의 전력에너지원별 이산화탄소 배출원단위를 전력구성비율로 조정하여 나타낸 것이다.

표 3. 에너지원별 이산화탄소 배출원단위

에너지원	병커C유	도시가스	전력
열량	41.4MJ/ℓ	44.2MJ/m <sup>3</sup>	9.0MJ/kWh
이산화탄소 배출원단위	0.076461710kg-CO <sub>2</sub> /MJ	0.055664125kg-CO <sub>2</sub> /MJ	0.13433333kg-CO <sub>2</sub> /kWh

출처) 에너지이용합리화법 시행규칙 별표1, 에너지열량환산기준, 2006.

주) IPCC Guideline

13) 김선식의 3인(2008), “에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 저감을 위한 건축물 내부 벽체 컴포넌트 분석”, 대한건축학회논문집 구조계 24권1호 pp.95~103.

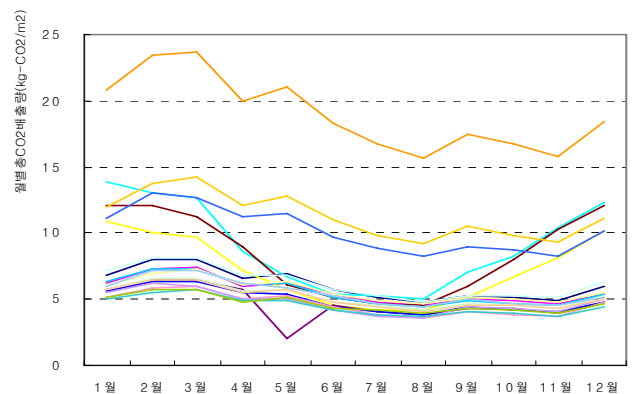


그림 1. 월별 이산화탄소 배출원단위

조사대상 공동주택 단지는 크게 중앙집중 난방방식과 개별난방방식으로 구분된다. 중앙집중 난방방식의 에너지원은 크게 전력에너지, 병커C유, 도시가스 등으로 구분된다. 개별난방방식은 도시가스와 전력에너지로 구성된다. 표3을 이용하여 조사대상 공동주택 단지의 에너지원별 이산화탄소 배출량으로 환산하였다. 월별 이산화탄소 배출원단위는 그림1과 같다. 그림1에서 알 수 있듯이 에너지 소비량이 많은 동계기간에서 이산화탄소 배출원단위가 높게 나타나며 하계기간은 비교적 낮은 수준으로 나타나고 있다.

그림2는 난방방식별 월별 이산화탄소 배출원단위(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)를 나타낸 것이다. 년평균 이산화탄소 배출원단위는 7.79kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>이다. 중앙집중 난방방식의 년평균 이산화탄소 배출원단위는 8.88kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>이며, 개별난방방식은 6.69kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>로 중앙집중 난방방식보다는 낮은 수준을 보이고 있다.

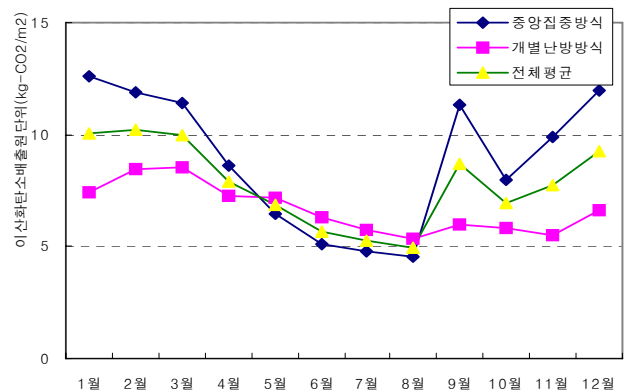


그림 2. 월별 난방방식별 이산화탄소 배출원단위의 변화

**4.2 이산화탄소 배출량 추정 모델작성**

공동주택 단지의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인은 크게 건물내부, 건물외부 등의 물리적 측면과 관리방식, 세대수 등의 관리특성 측면, 사용자의 라이프스타일 등으로 대별할 수 있다<sup>14)</sup>. 본 논문에서는 이산화탄

14) 사용자의 라이프스타일에 따른 영향은 생활습관, 관습 등에 의해 좌우되는 것으로 정량적인 관계를 도출하기란 한계가 있다.

소 배출량을 단지 전체 측면에서 연관성을 분석하는 것에 초점을 두고 있다. 따라서 건물구체 구성, 평면 등의 건물내부적인 측면보다는 건물외적인 측면에서 분석하였다. 이를 위해 건물외부 측면에서 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 것으로 판단되는 요인을 선정하였다. 선정된 설명변수 가운데 조사자료의 유의성, 통계적인 기법 등을 활용하여 이산화탄소 배출량을 설명하는 변수로 설정하였다. 그리고 설명변수와 이산화탄소 배출량과의 관계는 회귀분석을 통해 연관성을 분석하였다.

4.2.1 이산화탄소 배출량 영향요인 추출

공동주택의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 여기에는 건물구체, 공간기능, 공간구성, 사용자의 생활습관, 외부환경 등을 들 수 있다. 이러한 다양한 요인 가운데 단열재 구성형태, 창호 크기 및 구성, 설비시스템 등의 물리적인 특성과 이산화탄소 배출량과의 관계를 설명하기도 한다. 그러나 이와 같은 연구는 개별 주도단위를 제한적인 범위로 하는 연구로서는 적합할 지라도 공동주택 단지전체와의 연관성을 설명하기란 한계가 있다. 따라서 공동주택 단지와 이산화탄소 배출량과의 연계성을 설명하는 것으로는 건물외부의 물리적 환경, 관리특성 등을 이용할 수 있다<sup>15)</sup>.

본 논문에서는 공동주택 단지 전체를 설명할 수 있는 건물외부 환경과 관리특성 등과 에너지 소비의 결과로 나타나는 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다. 건물외부환경 측면으로는 창면적비, 건물체적, 엘리베이터 대수, 주차대수, 난방방식 등을 들 수 있다. 관리특성 측면에서는 세대수, 관리면적, 소유형태 등을 들 수 있다. 이러한 요인은 공동주택 단지에서 현장조사가 가능한 부분으로 제한하였다. 이것은 표4와 같이 설명된다.

표 4. 이산화탄소 배출량 영향요인 분류 및 내용

구분	내용
건물외부 환경	창면적비, 주동 체적, 조경면적, 복도형식, 주차대수, 경과년수 엘리베이터 대수, 주변환경조건(공원인근, 산림인근, 호수인근 등)
관리특성	세대수, 관리면적, 소유형태, 관리방식, 아파트가격

표4와 같이 공동주택 단지의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 1차적으로 선정하였다. 이들 가운데 단지전체 측면에서 이산화탄소 배출량의 영향에 상관성을 가지고 있는 변인을 추출하기 위해 이산화탄소 배출량과 이들 변인과의 상관관계를 분석하였다. 분석한 결과는 표5과 같다.

표 5. 이산화탄소 배출량과의 상관관계<sup>16)</sup>

	에너지소비량		에너지소비량
경과년수 (2007년기준)	0.238	조경면적	0.689
세대수	0.988***	주차대수	0.888***
관리면적(m <sup>2</sup> )	0.925***	복도형식	0.288
난방방식	-0.385	엘리베이터대수	0.916***
창면적비	0.382	관리방식	-0.038
체적	0.471*	소유형태	-0.215
		아파트가격	0.070

주) 난방방식 : 1=중앙집중난방방식, 2=개별난방방식  
 관리방식 : 1=자치관리, 2=위탁관리  
 소유형태 : 1=분양, 2=임대

표4에서와 같이 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인이라고 판단되는 변인은 세대수, 관리면적 등 13가지로 정리된다. 이들 가운데 이산화탄소 배출량과 상관성이 낮은 경과년수, 소유형태, 관리방식, 복도형식 등은 제외하였다. 다만, 조경면적은 에너지 소비량과 높은 상관성을 보이고는 있으나 조사표본이 매우 적어 에너지 소비량 분석 모델에는 포함하지 않았다. 그리고 주차대수는 이산화탄소 배출량과 높은 상관성을 갖고는 있으나 다중회귀분석과정에서 다공선성(multicollinearity)가 발생하여 설명변수로 포함시키지 않았다. 이와 같은 결과를 통해 최종적으로 공동주택 단지 전체의 이산화탄소 배출량과의 연관성은 세대수, 관리면적, 난방방식, 창면적비, 체적, 주차대수, 엘리베이터 대수 등 7가지 변인으로 한정하였다.

4.2.2 이산화탄소 배출량 추정모델

이산화탄소 배출량과 이에 영향을 미치는 설명변수와 의 관계는 다중회귀분석(multiple linear regression)과 단 순곡선추정(curve estimation)의 방법을 이용하였다. 다중 회귀분석은 7가지의 변인에 대해 수행하였으며 곡선추정 은 각각의 변인과 에너지 소비량과의 관계를 분석하는 것이다<sup>17)</sup>. 곡선추정에는 선형, 2차 함수, 대수모형, 3차 함수, 파워모형 등 다양한 형태로 나타낼 수 있다. 이들 가운데 통계량이 우수한 파워모형을 이용하여 분석하였다. 다중회귀분석과 곡선추정의 모델은 식1, 식2와 같다.

이산화탄소 배출량=f(세대수, 관리면적, 난방방식, 창면 적비, 체적, 주차대수, 엘리베이터 대수).....식2

이산화탄소 배출량= $a_0 \cdot x^{a_1}$ .....식3<sup>18)</sup>

여기서 x : 각각의 변인

$a_0, a_1$  : 모수(parameter)

17) 다중회귀분석결과로 나타난 추정모델은 7개의 변인이 조사되는 것을 전제로 한다.

18) 식2는 파워모형으로써 통계적인 기법을 이용하여 추정시에는 선형대수의 형태로써 상수항의 포함여부를 결정할 수 있다. 본 연구에서는 상수항을 포함하지 않는 형태가 통계량이 양호함으로 상수항이 제거된 형태의 모수를 추정하였다. 따라서  $a_0$ 는 1로 나타난다.

15) 이들 요인은 단지전체를 대상으로 설명이 가능한 부분이다.  
 16) 상기이외에 공동주택 단지의 지리적 위치를 포함할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 A시를 대상으로 하여 분석한 것으로 지리적 위치에 대한 변인은 포함하지 않고 있다.

우선, 식2를 이용하여 각각의 변인과 이산화탄소 배출량과의 비율척도(ratio scale)를 갖고 있는 변인에 대해서만 수행하였다. 명명척도(nominal scale)를 갖고 있는 난방방식은 제외하였다.

표 6. 세대수와 이산화탄소 배출량과의 관계

	모수(parameter)	결정계수(R <sup>2</sup> )	df1/df2
a <sub>1</sub>	2.043	0.998	1/20

식2를 이용하여 세대수와 이산화탄소 배출량과의 관계를 곡선추정에 의해 분석한 결과는 표6과 같다. 표6의 형태를 그래프로 나타낸 것은 그림3과 같다. 분석결과에 따르면 통계량은 비교적 양호하며 조사결과에 대한 설명력이 우수한 것으로 사료된다.

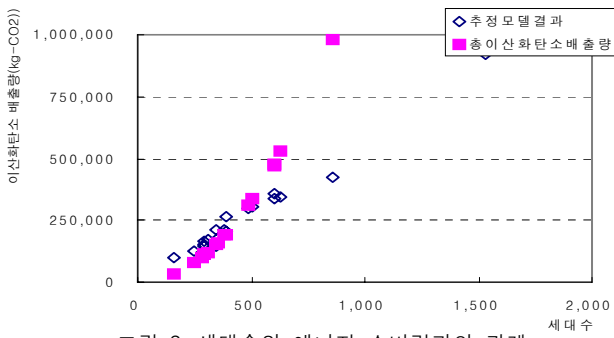


그림 3. 세대수와 에너지 소비량과의 관계

관리면적과 이산화탄소 배출량과의 관계를 나타낸 것은 표7과 같다. 관리면적을 독립변인으로 한 통계량은 비교적 양호한 것으로 나타나고 있다. 이를 그래프로 나타내면 그림4와 같이 나타낼 수 있다.

표 7. 관리면적과 에너지소비량과의 관계

	모수(parameter)	결정계수(R <sup>2</sup> )	df1/df2
a <sub>1</sub>	1.181	0.999	1/20

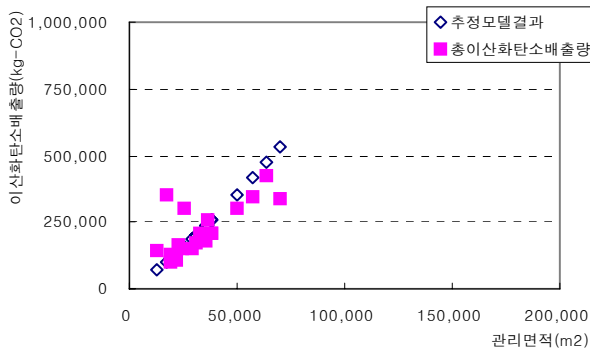


그림 4. 관리면적과 이산화탄소 배출량과의 관계

표8은 공동주택 단지의 창면적비와 이산화탄소 배출량과의 관계를 나타낸 것이다. 조사대상표본의 창면적비는 전면과 후면 모두를 포함하고 있다. 창호의 특성이 비교

적 일반화된 것으로 크게 4가지 형태로 구분된다<sup>19)</sup>. 창면적비는 50%, 55%, 60%, 65%의 4가지 형태로 구분할 수 있다. 창면적비와 이산화탄소 배출량과의 관계를 추정한 결과를 도식화한 것은 그림5와 같다.

표 8. 창면적비와 이산화탄소 배출량과의 관계

	모수(parameter)	결정계수(R <sup>2</sup> )	df1/df2
a <sub>1</sub>	3.028	0.998	1/20

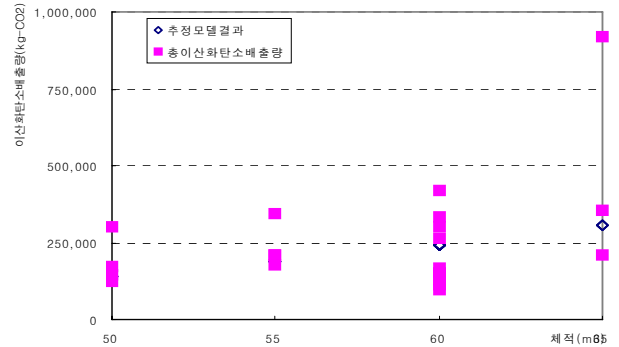


그림 5. 창면적비와 이산화탄소 배출량의 관계

공동주택 단지를 구성하고 있는 주동 체적과 이산화탄소 배출량과의 관계를 나타낸 것은 표9와 같다. 공동주택 단지의 체적은 세대수 혹은 관리면적과 비례적인 경향을 갖게 된다. 그림6에서와 같이 체적이 증가할수록 이산화탄소 배출량도 증가하는 경향을 보인다.

표 9. 공동주택 단지의 체적과 에너지소비량과의 관계

	모수(parameter)	결정계수(R <sup>2</sup> )	df1/df2
a <sub>1</sub>	1.055	0.998	1/20

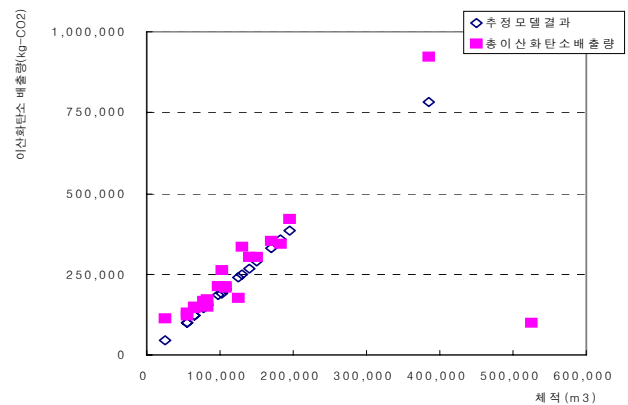


그림 6. 주동 체적과 이산화탄소 배출량과의 관계

표 10. 엘리베이터 대수와 에너지소비량과의 관계

	모수(parameter)	결정계수(R <sup>2</sup> )	df1/df2
a <sub>1</sub>	4.862	0.965	1/20

19) 조사기간 동안 창면적비의 조사는 외관에 대한 현장조사결과를 벽체면적과의 비율을 개략적으로 계산한 것이다.



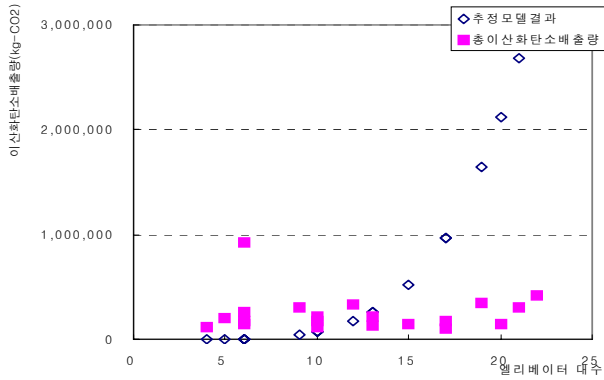


그림 7. 엘리베이터 대수와 이산화탄소 배출량과의 관계

엘리베이터는 전력에너지를 소비하는 대상이다. 엘리베이터 대수와 이산화탄소 배출량과의 관계를 나타낸 것은 표10과 그림7이다. 추정모델의 모수는 비교적 양호한 통계량을 가지고 있다.

앞서의 개별 인자에 대한 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다. 각각의 변인과 이산화탄소 배출량과의 관계를 설명하는 추정모델은 비교적 통계량이 우수한 것으로 나타나고 있다.

또한, 이들 변인을 통합적으로 이산화탄소 배출량과의 관계를 다중회귀분석을 수행한 결과는 표11과 같다. 다중회귀분석한 결과 에너지 소비량과의 관계는 비교적 양호한 통계량을 갖고 있는 것으로 나타난다.

표 11. 이산화탄소 배출량 영향변인 모수추정결과

변인	모수	표준화 계수	통계량
세대수	462.23***	0.813	R <sup>2</sup> =0.998 DW값=1.662
관리면적	0.17	0.027	
난방방식	-41,444.50***	-0.250	
창면적비	818.89*	0.155	
주동 체적	0.068	0.040	
주차대수	-	-0.4760	
엘리베이터 대수	4,006.68**	0.194	

주) 유의수준. \* :0.1, \*\* :0.05, \*\*\*:0.001

이와 같은 결과는 난방방식 측면에서 볼 때, 중앙집중난방방식보다는 개별난방방식이 상대적으로 낮은 에너지 소비량을 갖고 있다는 것을 반증하고 있다.

상기와 같이 공동주택 단지의 물리적 조건, 관리특성 등을 활용하여 이산화탄소 배출량 추정 모델을 작성하였다. 개별변인을 이용하여 작성한 추정모델은 비교적 통계량이 우수한 것으로 나타나고 있다. 뿐만 아니라 상관관계 분석을 통해 도출된 세대수, 관리면적, 난방방식 등의 6가지 변인을 이용하여 다중회귀분석한 결과 비교적 양호한 통계량을 지니고 있는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 앞으로의 연구과제

공동주택의 에너지 소비로 인한 결과로 나타나는 이산

화탄소 배출량은 건물외적 요인, 건물내적 요인, 관리특성, 지리적 입지 등의 다양한 특성에 의해 좌우된다. 벽체구성, 창호기밀 등의 내적인 요인들은 제한된 범위에서 이산화탄소 배출량 영향 정도를 제시할 수 있다. 반면, 관리면적, 세대수 등의 관리특성과 창면적비, 체적 등의 물리적 측면은 단일 수치로 단지 혹은 건물전체를 표현할 수 있으므로 이산화탄소 배출량과의 관계를 설명할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 공동주택 단지를 설명할 수 있는 설명변수와 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 건물외부 조건을 설명하는 다양한 변인을 추출하였다. 이들 변인에는 경과연수, 관리면적, 세대수, 난방방식, 조경면적, 창면적비, 체적, 주차대수, 엘리베이터 대수, 복도형식 등 건물의 물리적 조건, 건물관리특성 등으로 구분할 수 있다. 이들 요인과 이산화탄소 배출량과 연계성을 갖고 있다고 판단되는 변인을 추출하기 위해 상관관계분석을 이용하였다. 이 가운데 세대수, 관리면적, 난방방식, 창면적비, 주동 체적, 주차대수, 엘리베이터 대수 등이 설정되었다.

둘째, 곡선추정의 경우 선형, 1차 모형, 복합모형, 성장모형(Growth Model), 대수모형, 2차 모형, 파워모형 등 여러 가지 유형이 있다. 이들 곡선추정모형을 이용하여 분석한 결과 파워모형이 상대적으로 양호한 통계량을 보이는 것으로 나타났다.

셋째, 세대수, 관리면적, 난방방식 등과 에너지소비량과의 다중회귀분석결과 비교적 양호한 통계량을 보이고 있다. 이와 같은 모델에서 제시된 표준화된 계수를 이용하여 변인 상호간의 영향정도를 비교분석할 수 있다.

그 외에 건물외부 조건에 대한 변인 추출시 상관관계를 통해 1차적으로 이산화탄소 배출량과 비례적인 형상을 보이는 것을 선정하였다. 상관관계를 이용한 것은 조사표본수가 비교적 제한되었으므로 요인분석, 다차원 척도법 등의 활용에 한계가 있다. 그러나 변인들 상호간의 다공선성을 탐색하는 데에는 한계가 있다. 조사표본이 충분할 경우 상기와 같은 방법을 이용하는 것이 바람직하다.

이와 같은 연구결과는 건물전체를 설명하는 변인을 이용하여 이산화탄소 배출량과의 연계성을 유추하는데 사용할 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 변인 이외에 이산화탄소 배출량에 영향을 미치고 있는 공동주택 단지 지리적 입지조건을 포함하고 있지 않다. 지리적 입지에 대한 변인은 여러 지역에 분포해 있는 데이터를 분석하는데 반드시 포함되어야 할 것이다. 이산화탄소 배출량은 다양한 요인에 의해 좌우되고 있다. 영향변인을 단순화 혹은 서열화하는 등의 방법을 통해 이산화탄소 배출량을 추정함으로써 건물계획과정에서 중요한 의사결정자료로 활용되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 성민기(1998), “사무소 건물에너지 소비인자의 영향력 평가방법에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, pp.4~7.



2. 이강희, 채창우(2002), “산업연관분석을 이용한 공공건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량 산출연구”, 대한건축학회 논문집 계획계 18권5호, pp.99~107.
3. 이강희(2000), “공동주택 유지관리단계의 건축자재와 재료의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 추정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 16권9호, pp.1~8.
4. 이강희(2000), “공동주택 유지관리단계의 에너지 소비량 소비 특성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 16권12호, p.185~192.
5. 이강희(2000), “공동주택 건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 16권4호, pp.125~132.
6. 홍성희외 3(2002)인, “사무소건물의 에너지 소비원단위 설정 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 18권9호 pp.237~244.
7. 홍성희외 3인(2001), “공동주택의 에너지 소비원단위 설정 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 17권12호, pp.151~160.
8. 조두상외 2인(2002), “학교건축물의 에너지 소비원단위화에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 18권8호, pp.209~216.
9. 김주영외 2인(2006), “대구광역시 종합병원건축물의 에너지 소비특성 분석 및 원단위 작성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 계획계 22권11호, pp.329~336.
10. 김선식외 3인(2008), “에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 저감을 위한 건축물 내부 벽체 컴포넌트 분석”, 대한건축학회 논문집 구조계 24권1호 pp.95~103.
11. (財)建築環境・省エネルギー機構(2003), CASBEE Manual, pp.16~45.
12. (財)建築環境・省エネルギー機構(2003), “建築物の環境性能評價”, IBEC, Vol.23-5, pp.5~30.
13. Ralph B D'Agostino and Michael A Stephens(1986), Goodness-of-Fit Techniques, Marcel Dekker, Inc,
14. Douglas C. Montgomery and Elizabeth A. Peck(1982), Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons.

투고(접수)일자: 2008년 5월 28일

심사일자: 2008년 6월 3일

게재확정일자: 2008년 8월 7일