

건축재료의 이산화탄소 배출원단위 변화추이연구

A Study on the Functional Unit Trend of Carbon Dioxide Emission in the Construction Materials between 2000, 2003 and 2005

이 강 희* 이 하 식** 양 재 혁***
 Lee, KangHee Lee, HaShik Yang, JaeHyuk

Abstract

This study aimed at analyzing the trend of carbon dioxide emission for direct and indirect areas by using inter industry relations table between 2000, 2003 and 2005 in the key building materials and components. Results of this study are as follows: First, the material and components for this study was selected in 20 industries of products such as sand, gravel, cement, concrete articles, rebar, and steel bar. Second, among the 20 selected key building materials, the group with the highest carbon-dioxide emission was shown in ready-mixed concrete, concrete articles, and primary aluminum goods. Third, as a result of analyzing the changes to the units of carbon dioxide emission according to passage of time, the number of items which is changed in such as sustained increase or decrease over time was insignificant in carbon-emission change trend.

키워드 : 원단위, 에너지, 이산화탄소, 산업연관분석, 간접추계법, 환경영향

Keywords : functional unit, energy, carbon dioxide, input-output analysis, indirect method, environmental affect

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

건축물은 건설이후 최종 철거/해체에 이르는 라이프사이클 과정을 거치는 과정에서 에너지와 자원을 소비한다. 다른 한편으로는 에너지 소비에 의해 이산화탄소를 발생시키고 있다. 이러한 건축물 라이프사이클 과정 기간 동안 소비하는 에너지 소비량, 발생하는 이산화탄소 발생량 산정은 크게 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거/폐기 단계로 구분할 수 있다. 이러한 건축물의 라이프사이클 기간 동안 건축재료는 건설단계, 수선, 개·보수 등의 유지관리 단계, 철거단계 등에서 사용된다. 각각의 건축재료와 자재는 중량 혹은 건축물 단위 면적 등의 척도를 사용하여 에너지 소비와 이산화탄소 배출수준을 설명할 수 있다.

건축재료의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량은 직접조사, 산업연관표를 이용한 간접추계 등의 방법으로 나타낼 수 있다. 직접조사는 각각의 건축재료에 대한 추적조사를 함으로써 많은 비용과 시간을 요구한다. 이와 같은 직접조사의 한계로 인해 산업연관표를 이용한 간접추계방법

을 사용한다. 산업연관표를 이용한 간접추계방식을 활용한 이산화탄소 배출수준의 변화는 건축재료의 생산과정, 사회적·경제적 측면 등이 반영되어 나타난다.

본 연구는 건축재료의 이산화탄소 발생원단위 측면에서 2000년, 2003년, 2005년 산업연관표를 이용하여 시간 경과에 따른 비교·분석하는 것이다. 이와 같은 연구결과는 건축재료의 시간경과에 따른 변화수준을 가늠할 수 있는 대안으로 이용할 수 있다. 뿐만 아니라 이산화탄소 발생 저감을 위한 요구되는 건축재료를 선택하는 의사결정에서 주요한 판단근거 자료로 활용할 수 있을 것이다.

1.2 연구 방법 및 범위

건축물은 오랜 시간의 수명을 가지는 동시에 짧은 건설기간과 철거기간을 제외한 사용 및 유지관리단계의 긴 라이프사이클 과정을 가진다. 본 연구에서는 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거 및 해체단계가운데에서 사용되는 건축재료의 이산화탄소 배출량 변화추이를 분석하는 것이다. 이를 위한 연구내용과 방법은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 기존 연구보고서, 논문 등 문헌 및 연구자료를 이용하여 건축재료의 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출원단위에 대한 산정 방법 및 내용을 분석하였다.

둘째, 건축재료의 이산화탄소 배출원단위 산정은 간접추계법인 산업연관분석법을 이용하였다. 이산화탄소 배출량은 크게 직접부문, 직·간접부문으로 구분할 수 있다. 직접부문은 원료 등이 국내에서 채취, 가공과정을 거쳐 제

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

** 안동대학교 건축공학과 공학석사 (evering2u@nate.com)

*** 교신저자, 동의대학교 건축학과 부교수, 공학박사 (yarchl@deu.ac.kr)

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 R11-2005-056-01004-0)

품으로 생산된 부분을 범위로 한 결과이다. 직·간접부분은 원료와 가공과정에서 국내 뿐만 아니라 국외에서 수입된 부분이 국내에서 복합적으로 형성되어 건축재료로 생산된 범위를 포함하고 있다.

셋째, 2000년, 2003년, 2005년 3년간의 산업연관표¹⁾를 이용하였다. 그리고 산업연관표의 산업부문 가운데 건축재료로 사용되는 주요 산업부문 20개를 추출하였다. 분석대상 건축재료는 모래 및 자갈, 기타 건설용 석재, 제재목, 합판, 건축용 목제품, 도료, 판유리 및 1차 유리 등이다.

넷째, 이산화탄소 배출량은 원단위를 사용하여 표현하였다. 원단위(functional unit) 척도는 단위중량(kg-CO₂/kg) 혹은 단위체적당 이산화탄소 배출량(kg-CO₂/m³)으로 나타낼 수 있다.

2. 기존 연구 고찰

기존 연구보고서, 연구논문 등의 문헌은 크게 건축재료 산정방식과 배출량으로 구분할 수 있다. 이들 기존연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 장성문 외 3인(2007)²⁾은 기존 문헌의 분석을 통해 환경부하는 유지보수 단계에서 최고치를 기록하는 것을 파악하여, 산업부문별 자재 중 주요 요소인 마감재의 1회 개보수에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산출하여 LCA분석을 하였다. 연구의 각 단계별 원단위 DB는 '2000년 산업연관표'에 의한 자재생산단계의 원단위와 자재운송단계의 원단위, 시공 장비 및 전력 사용에 따른 시공단계의 원단위를 이용하였다. 일정기간 사용 후 개보수를 할 때, 소요되는 재료는 기존의 마감재와 유사한 종류를 사용한다고 가정하여, 이의 에너지 소비량과 이산화탄소 발생량을 산출하였다. 단위 중량당 무게나 목재종류에 따른 밀도를 곱하여 무게를 산출하고 이를 통하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 이 연구결과에 의하면, 몰탈, 직물벽지, 페인트가 전체 에너지 발생량의 81.7%, 이산화탄소 배출량은 전체의 82.78%를 차지하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이러한 마감재의 환경영향 저감이 필요한 것으로 나타났으며, 같은 벽지임에도 실크벽지가 종이벽지보다 에너지소비량과 이산화탄소 배출량이 약 6배 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

이강희 외 1인(2009)³⁾는 간접추계법을 이용하여 주요 건축재료의 에너지 소비와 이산화탄소 배출원단위를 산정하였다. 산정 대상으로 주요 건축재료로 14개 제품군을 선정하여 이용하였으며, 배출원단위는 단위금액에 대한 원단위(functional unit)개념으로 하여 산정하였다. 그리고 산업연관표에서 제시하고 있는 부문별 공급단가표를 이용하여 주요 건축재료 단위 물량당 가격을 이용하여 단위 물량에

대한 원단위로 제시하였다. 분석결과 직간접부분을 포함하여 단위금액당 에너지 소비와 이산화탄소 배출원단위가 많은 건축재료는 합성수지 제품, 시멘트, 형강, 철근 및 봉강 등이며, 반면 낮은 배출원단위의 자재 및 재료는 모래 및 자갈, 건물용 금속제품, 건축용 목제품 등으로 나타났다. 그리고 14개의 주요 제품군의 에너지 소비와 이산화탄소 배출원단위를 산정한 결과 직간접부분은 직접부분의 3배 이상의 값을 차지하는 것으로 나타났다.

한용섭 외 1인(2005)⁴⁾ 아파트와 오피스 건물 신축시, 철골조와 철근콘크리트조 각각의 건축 재료에서 발생하는 이산화탄소(CO₂) 발생 총량을 조사하고, 구조 중별 이산화탄소 발생량을 분석하였다. 특히, 건축재료 부분을 구조적 측면으로 접근하였고, 건물 용도에 따른 발생량을 비교한 점에서 향후 환경 친화적 건축 구조 계획 활성화를 위한 방안모델 제시에 중점을 두었다. 이 연구에서는 경기도 하남시에 신축중인 33평형 25층 100세대와 25평형 20층 40세대의 철근콘크리트조 아파트와 서울시에 신축되고 있는 지상 8층 철골조 오피스 건물을 조사하였으며, 각각의 대상 건물의 건축 구조방식을 철근콘크리트조→철골조(아파트), 철골조→철근콘크리트조(오피스)로 바꾸어 같은 하중 조건하에서 최적설계에 의해 재설계하는 방식으로 물량을 산출하여, 이산화탄소 발생량을 산출하였다. 아파트를 신축할 경우 철근콘크리트 아파트보다 철골조 공사로 인한 이산화탄소(CO₂) 발생량은 45% 정도로 훨씬 이산화탄소(CO₂) 발생예상량이 적은 것으로 나타났고, 오피스 건물도 철골조는 철근콘크리트조의 82% 수준으로 이산화탄소(CO₂)가 적게 발생 예상되는 것으로 나타났다.

표 1. 오피스 및 아파트 건물 각 중별 예상 CO₂ 발생량

자 재	오피스			
	철골조		철근콘크리트조	
	수량 (ton)	CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /t)	수량 (ton)	CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /t)
시멘트	358.8	546,093	851.9	1,296,591
철 근	21.3	7,966	157	58,718
H-BEAM	920	344,080	-	-
아연도강판	128	196,096	-	-
와이어메쉬	28.7	10,733	-	-
총 발생량		1,104,969		1,355,309
자 재	아파트			
	철골조		철근콘크리트조	
	수량 (ton)	CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /t)	수량 (ton)	CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /t)
시멘트	298.2	453,784	1,813.5	2,760,268
철 근	53.2	19,878	300.4	112,372
H-BEAM	876.3	327,736	-	-
아연도강판	310.0	474,920	-	-
와이어메쉬	69.5	25,993	-	-
총 발생량		1,302,311		2,8272,648

1) 산업연관표는 한국은행에서 발행하는 통계표로서 5년 단위로 작성, 공표하며, 각 년도의 경제변화를 반영함으로써 국민경제의 구조에 관한 총체적인 파악, 경제예측과 경제정책의 효과측정 등에 이용한다.
2) 장성문 외 3인(2007), "공동주택 개보수에 따른 건축자재의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 분석", 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제27권 제1호, pp 801~804
3) 이강희 외 1인(2009), "주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구", 대한건축학회 논문집 제25권 제6호, pp 43~50

4) 한용섭 외 1인(2005), "구조 계획 측면에서 본 구조 재료별 CO₂ 발생량 비교 연구", 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집 제25권 제1호, pp 203~206

이러한 연구결과는 시간적인 변화에 따른 이산화탄소 배출량 변화 추이를 설명하고 있지는 않다. 뿐만 아니라 건축물에 사용된 건축재료 사용량과 이산화탄소 배출원단위를 활용하여 이산화탄소 배출량을 산정하는 것으로 고찰된다.

3. 건축재료의 이산화탄소 배출원단위 산정

3.1 분석방법

건축물 라이프사이클에서 요구되는 건축재료, 에너지 등의 최종 수요시 발생하는 이산화탄소 배출량 산정은 최종수요와 관련한 여러 산업부문에 대해 각 산업관의 유기적인 연결 관계를 활용하여 분석할 수 있다. 산업연관분석법을 이용하여, 건축재료의 이산화탄소 배출원단위는 그림1 같은 분석과정으로 산정되었다.

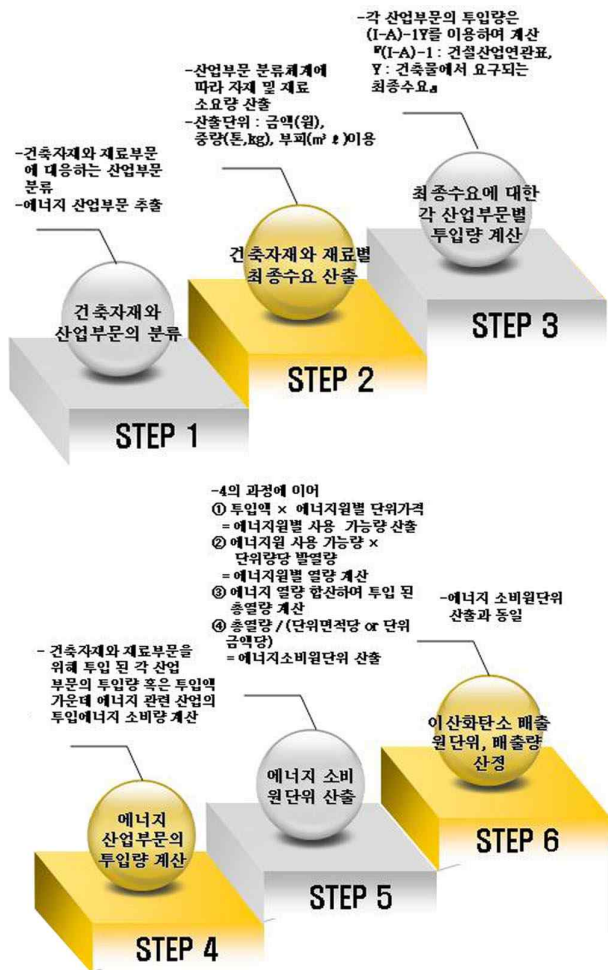


그림 1. 건축재료의 이산화탄소 배출원단위 산정과정

3.2 건축주요 자재 및 재료 선정

건축의 주요 자재 및 재료의 선정은 한국은행에서 제시한 산업연관표의 산업부문 가운데 사용 빈도가 비교적 높다고 판단되는 대상을 추출하였다. 주요 자재 및 재료는 총 20개의 산업부문에 표 2와 같다.

표 2. 주요 건축재료의 구분 및 내용

산업부문번호	건축재료	단위
038	모래및자갈	m³
	모래, 자갈	
040	기타 건설용 석재	kg
	화강암, 대리석, 기타	
114	제재목	kg
	각재, 판재, 소할재, 가공목재, 우드칩, 우드 몰딩, 기타 부산물	
115	합판	kg
117	보통합판, 특수합판, 박판	kg
	건축용목제품	
159	문,창문 및 틀, 건축부작용물, 기타	kg
	도료	
172	유성페인트(바니쉬), 수성페인트, 에나멜, 락카, 기타, 합성수지도료, 신너	kg
	도료충전제, 기타	
178	관유리 및 1차유리	kg
	관유리, 유리관,구,봉및괴,기타	
179	점토벽돌, 점토제기와,타일, 기타	kg
	시멘트	
180	포트랜드시멘트, 특혼합시멘트, 시멘트크리커	kg
	레미콘	
181	콘크리트제품	m³
	콘크리트벽돌및블록	
184	조립식건축자재	개
	파일, 전주, 홈관및VR관	
184	기타콘크리트관	본
	기타조립구조재, 비내화물몰탈(레미타르),기타	
191	석면및암면제품	kg
	석면시멘트제품, 석면제품,암면제품	
192	철근 및 봉강	kg
	철근, 봉강, 기타	
195	형강	kg
	강관(주철강관제외)	
206	강관(주철강관제외), 기타	kg
	동1차제품	
207	동선, 동판및피,대,동봉및동합금봉, 동관및중공봉,기타, 동주물, 동단조물	kg
	알루미늄1차제품	
207	알루미늄샤시바, 알루미늄판,피, 알루미늄선,알루미늄관, 알루미늄봉, 알루미늄박(호일), 기타,알루미늄주물	kg
	알루미늄단조물	
209	건물용금속제품	kg
	금속제창문, 철문 및 셔터문,철제수문, 건물용금속공작물	
214	나사제품	kg
	나사, 볼트 및 너트, 리벳,와셔및산업용파스너, 기타	

3.3 연도별 비교분석결과

20개의 주요 건축재료의 이산화탄소 배출원단위를 비교한 결과는 다음과 같다. 모래 및 자갈은 2000년, 2003년은 비교적 비슷한 수준을 유지하고 있으나, 2005년도는 다른 년도에 비해 상대적으로 높은 수준을 유지하는 특징을 보이고 있다. 2005년 기준으로 모래와 자갈의 이산화탄소 배출원단위는 각각 12.8778 kg-CO₂/m³, 12.3627 kg-CO₂/m³로 비슷한 수준을 형성하고 있다.

표 3. 모래 및 자갈의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

모래 및 자갈		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
모래	m ³	5.4955	5.3322	7.5612	9.9318	8.92019	12.8778
자갈	m ³	5.1292	5.1568	7.2588	9.2697	8.62679	12.3627

건설용 석재에는 크게 화강암, 대리석 등을 들 수 있다. 단위중량당 이산화탄소 배출원단위는 2000년을 제외하고는 비슷한 수준을 형성하고 있다. 2005년의 기준으로 화강암과 대리석의 직 · 간접부분 이산화탄소 배출원단위는 각각 0.7145 kg-CO₂/kg, 1.7025 kg-CO₂/kg인 것으로 제시되고 있다.

표 4. 건설용석재의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

건설용 석재		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
화강암	kg	0.0358	0.4106	0.3664	0.0693	0.7416	0.7145
대리석	kg	0.1444	0.9784	0.873	0.2793	1.7672	1.7025
기타	kg	0.0462	0.3961	0.3534	0.0893	0.7155	0.6893

표 5. 제재목의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

제재목		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
각재	제	54.2231	224.7695	323.9943	133.8975	472.6938	568.4422
판재	제	9.9830	243.5484	351.0631	24.6519	512.186	615.9339
가공목재	kg	1.2020	1.2235	1.7636	2.9690	2.5730	3.0942
우드 칩	kg	0.1202	0.1016	0.1465	0.2969	0.2137	0.2570
기타	kg	0.1353	0.2651	0.3821	0.3341	0.5574	0.6703
부산물	kg	7.3007	0.3245	0.4677	18.0282	0.6824	0.8206

표5는 각재, 판재, 가공목재 등의 제재목에 대한 이산화탄소 배출원단위 변화를 나타낸 것이다. 3개년에 걸친 이산화탄소 배출원단위는 계속적으로 증가하는 추이를 보이고 있다. 각재의 2005년 직 · 간접 이산화탄소 배출원단위는 568.4422 kg-CO₂/제이며 판재는 615.9339 kg-CO₂/제인 것으로 분석된다.

합판을 구성하는 건축재료는 크게 보통합판, 특수합판, 박판 등이다. 보통합판은 4.4868kg-CO₂/kg의 수준을 보이고 있

으나 특수합판은 증가하는 추이를 나타내고 있다(표 6 참조).

표 6. 합판의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

합판		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
보통합판	kg	1.8255	1.7371	2.6425	4.2564	3.3719	4.4868
특수합판	kg	13.6006	2.6694	4.0605	31.7113	5.1814	6.8946
박판	kg	6.236	3.2632	4.9639	14.5399	6.3341	8.4285

표 7. 건축용 목제품의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

건축용 목제품		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
문, 창문 및 틀	kg	26.7637	3.3059	4.4518	7.8288	7.8836	9.4870
건물부착물	kg	1.9972	1.2809	1.7249	5.5840	3.0546	3.6759
기타	kg	0.4632	2.7074	3.6458	1.2952	6.4562	7.7694

건축용 목제품 가운데 문, 창문 및 창틀의 이산화탄소 배출원단위는 직 · 간접의 경우 2005년은 약 9.4870 kg-CO₂/kg으로 나타나고 있다. 건물부착물은 3.6759 kg-CO₂/kg이며 2000년에 비해 약간 감소한 것으로 분석되었다.

표 8. 기타 목제품의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

기타목제품		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
주방 및 식탁용 목제품	kg	2.0784	2.0016	2.6953	4.3074	3.4678	4.1210
장식용목제품	kg	23.9125	4.9464	6.6606	49.5576	8.5696	10.1838
목제도구 및 기구	kg	2.3314	1.9988	2.6915	4.8317	3.4629	4.1151
죽제품 (뿔자리)	kg	10.4762	4.5085	6.0711	21.7114	7.811	9.2824
콜크 및 콜크제품	kg	7.5095	12.3641	16.6492	15.5632	21.4209	25.4558
기타	kg	2.6574	3.2949	4.4368	5.5073	5.7084	6.7837

기타 목제품 가운데 주방 및 식탁용 목제품은 2005년 직 · 간접의 이산화탄소 배출원단위는 4.1210 kg-CO₂/kg으로 2000년, 2003년과 비교하여 약 4 kg-CO₂/kg내외의 수준을 갖는 것으로 분석된다.

표 9. 도료의 이산화탄소 배출원단위 변화(kg-CO₂/단위)

도료		직접			직 · 간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
유성페인트 (바니쉬포함)	kg	8.3202	6.2842	6.1253	40.695	26.3479	19.2571
수성페인트	kg	24.2837	15.2633	3.8287	118.7746	63.9948	12.0369
기타	kg	13.2068	23.002	33.4832	64.5964	96.4408	105.2675
합성수지도료	kg	6.9747	9.3931	3.8287	34.114	39.3826	12.0369
신너	kg	1.5709(ℓ)	5.6544	3.2237	7.6834(ℓ)	23.7075	10.135

표 10. 판유리 및 1차유리의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

판유리 및 1차 유리		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
판유리	m ²	70.88	26.369	14.533	142.9555	50.8703	27.3253
유리관, 구, 봉 및 괴	kg	0.0058	22.4972	22.6191	0.0116	43.401	42.5292

표 9는 도료의 이산화탄소 배출원단위의 변화를 나타낸 것이다. 단위중량당 수성페인트, 유성페인트는 연속적으로 감소하는 경향을 보이는 반면, 합성수지도료, 신너 등은 3 kg-CO₂/kg의 내외 수준을 형성하는 것으로 나타난다.

표 11. 건설용 점토제품 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

건설용 점토 제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
점토벽돌	kg	1.4348	1.7966	2.5456	2.3244	2.5197	3.152
점토제기와	kg	5.7643	1.7578	2.4905	9.3378	2.4652	3.0838
타일	kg	2.7722	2.7366	11.1413	4.4908	3.8379	13.7952
기타	kg	3.1769	8.2836	11.7369	5.1463	11.6173	14.5327

표 11은 건설용 점토제품의 이산화탄소 배출원단위 변화를 나타낸 것으로써 벽돌, 점토기와, 타일 등으로 구성된다. 직·간접에 의한 점토벽돌의 이산화탄소 배출원단위는 2005년 기준으로 3.152 kg-CO₂/kg로 이전 년도에 비해 증가한 것으로 분석된다. 점토제기와의 이산화탄소 배출원단위는 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다. 타일은 2005년 들어 이산화탄소 배출원단위가 13.7952kg-CO₂/kg로써 이전년도에 비해 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 12. 시멘트의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

시멘트		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
포틀랜드 시멘트	kg	0.4323	0.4971	0.6171	0.7567	0.9802	0.8547
특수혼합 시멘트	kg	0.4506	0.4568	0.8153	0.7886	0.9006	1.1292

시멘트는 크게 포틀랜드 시멘트와 특수혼합시멘트로 구분된다. 포틀랜드 시멘트의 이산화탄소 배출원단위는 0.8 kg-CO₂/kg내외의 안정된 수준을 보이는 것으로 판단된다. 그러나 특수혼합시멘트는 다소 증가하는 추이를 보이고 있다(표12 참조). 레미콘의 이산화탄소 배출원단위는 2005년을 기준으로 305.0131kg-CO₂/m³를 보이고 있다. 이전년도에 비해 직·간접에 의한 변화는 점차적으로 감소하는 추이를 보이는 것으로 판단된다(표 13 참조)

표 13. 레미콘의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

레미콘		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
레미콘	m ³	206.0142	171.5035	209.4194	361.6959	321.0876	305.0131

표 14. 콘크리트 제품의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

콘크리트 제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
콘크리트벽돌 및 블록	개	0.1852	0.1892	0.1789	0.3457	0.3534	0.2708
파일	본	301.1532	654.0826	679.7931	562.0758	1,221.8616	1,028.89
전주	본	428.3582	668.1349	632.2017	799.4927	1,248.1121	956.8627
흙관 및 VR관	본	285.3308	276.3579	304.6629	532.5448	516.2515	461.1197
기타	kg	-	117.983	130.067	-	220.3986	196.8617

콘크리트 제품은 크게 벽돌 및 블록, 콘크리트 파일, 전주, 흙관 등을 들 수 있다. 이들 각각의 단위는 개수, 본 등을 사용한다. 직접부문의 벽돌 및 블록 이산화탄소 배출원단위는 0.18 kg-CO₂/kg 내외의 수준을 형성하는 것으로 분석된다(표13 참조). 직·간접에 의한 2005년도 이산화탄소 배출원단위는 0.2708 kg-CO₂/개인 것으로 나타난다. 콘크리트 파일의 이산화탄소 배출원단위는 1,028.89kg-CO₂/본으로 분석되고 있다. 전체적으로 콘크리트 제품의 이산화탄소 배출원단위는 점차적으로 낮아지는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

석면 및 암면 제품군에는 석면시멘트 제품과 석면제품, 암면제품 등으로 구성된다. 이들 각각의 이산화탄소 배출원단위는 암면제품을 제외하고는 일정한 수준을 형성하는 것으로 나타난다(표15 참조). 2005년 기준으로 석면시멘트 제품은 12.7139 kg-CO₂/kg로써 이전년도와 비교하여 중간수준을 형성한다. 2005년도 직·간접 석면제품의 이산화탄소 배출원단위는 21.7762 kg-CO₂/kg로써 2000년 27.0931 kg-CO₂/kg보다는 낮은 수준을 형성하고 있다.

표 15. 석면 및 암면제품의 이산화탄소배출 원단위 변화 (kg-CO₂/단위)

석면 및 암면제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
석면시멘트 제품	kg	8.1303	6.1679	7.9825	15.7376	10.6475	12.7139
석면제품	kg	13.9968	10.5642	13.6723	27.0931	18.2368	21.7762
암면제품	kg	5.3556	8.6127	11.1467	10.3667	14.868	17.7536

표 16. 철근 및 봉강의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

철근 및 봉강		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
철근	kg	2.0298	1.6456	1.8864	4.9859	4.4166	3.8406
봉강	kg	2.871	1.8208	3.4638	7.0519	4.8869	7.0522
기타	kg	8.2871	3.8671	3.4979	20.3556	10.3787	7.1217

철근 및 봉강의 이산화탄소 배출원단위를 나타낸 것은 표 16과 같다. 전체적으로 년도별 이산화탄소 배출원단위는 낮아지는 경향을 보이고 있다. 2005년 직·간접 측면의 철근의 이산화탄소 배출원단위는 3.8406 kg-CO₂/kg으로

이전년도에 비해 낮은 것으로 분석된다. 봉강의 직·간접에 의한 이산화탄소 배출원단위는 2000년, 2005년이 유사한 수준을 형성하고 있다 2000년, 2005년도 봉강의 이산화탄소 배출원단위는 각각 7.0519 kg-CO₂/kg, 7.0522 kg-CO₂/kg 인 것으로 분석된다.

표 17. 형강의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

형강		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
형강	kg	2.5212	2.0261	2.486	6.1284	5.1864	4.7700

형강의 이산화탄소 배출원단위 변화는 표16과 같다. 표 17에 의하면 점차적으로 형강의 이산화탄소 배출원단위는 낮아지는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 직·간접에 의한 2005년도 형강의 이산화탄소 배출원단위는 4.7700 kg-CO₂/kg로써 이전년도와 비교하면 점차적으로 낮아지는 것으로 판단된다.

표 18. 강관의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

강관 (주철관제외)		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
강관	kg	5.1669	4.7572	3.8930	13.9130	12.9725	10.0581
기타	kg	16.9732	10.1429	11.8254	45.7042	27.6589	30.5530

강관의 이산화탄소 배출원단위는 점차적으로 낮아지는 것으로 보이고 있다(표18 참조). 직·간접에 의한 이산화탄소 배출원단위는 2000년, 2003년과 2005년 각각 13.9130 kg-CO₂/kg, 12.9725 kg-CO₂/kg, 10.0581 kg-CO₂/kg인 것으로 분석된다.

동(銅) 1차 제품에는 동선, 동판 및 띠, 동봉 및 동합금봉, 동주물 등을 들 수 있다. 동선은 2005년도 직·간접에 의한 이산화탄소 배출원단위는 14.2789 kg-CO₂/kg로써 2000년, 2003년보다는 높은 수준을 보이고 있다. 동판 및 띠는 2003년은 2000년보다 낮은 수준을 보이고 있으나, 2005년에는 증가하는 패턴을 보이고 있다 2005년 직·간접에 의한 이산화탄소 배출원단위는 23.0249 kg-CO₂/kg이며, 2003년은 11.2662 kg-CO₂/kg이다.

표 19. 동1차제품의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

동1차 제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
동선	kg	4.6736	3.8535	8.5722	10.0181	7.1347	14.2789
동판 및 띠	kg	7.0432	6.0849	13.8228	15.0974	11.2662	23.0249
동봉 및 동합금봉	kg	4.3302	10.9129	11.1844	9.282	20.2051	18.6301
동판 및 중공봉	kg	6.6944	8.4438	11.9406	14.3498	15.6336	19.8896
기타	kg	18.5997	18.2374	25.7900	39.8691	33.7663	42.9588
동주물	kg	13.0634	32.7209	18.5219	28.0018	60.5825	30.8522

표 20. 알루미늄1차제품의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

알루미늄 1차 제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
알루미늄샤시바	kg	6.9064	8.8345	14.9251	31.9123	38.8321	73.0896
알루미늄판, 띠	kg	6.2112	9.0728	8.6637	28.6999	39.8797	42.4266
알루미늄선	kg	6.1762	6.0234	18.4098	28.5382	26.4758	90.1541
알루미늄관	kg	9.6231	1.4489	6.095	44.4650	6.3687	29.8475
알루미늄봉	kg	6.2772	8.8423	31.2242	29.0049	38.8666	152.9071
알루미늄막(호일)	kg	9.5796	12.3219	15.1684	44.2641	54.1613	74.2801
기타	kg	61.3887	57.7273	71.063	283.6563	253.7415	348.001

알루미늄 1차 제품의 이산화탄소 배출원단위 변화는 표 18과 같다. 알루미늄 1차 제품 산업군에는 알루미늄 샤시바, 알루미늄 판, 띠, 알루미늄 선, 알루미늄관, 알루미늄봉 등으로 구성된다. 이들 구성제품의 이산화탄소 배출원단위 변화는 전체적으로 증가하는 경향을 띄고 있다. 알루미늄 샤시바의 2005년의 이산화탄소 배출원단위는 73.0896 kg-CO₂/kg으로써 2003년에 비해 2배 가까운 증가를 보이고 있다. 알루미늄관의 직·간접에 의한 이산화탄소 배출원단위는 2005년에 29.8475 kg-CO₂/kg로써 2003년에 비해 상대적으로 높은 증가를 보이고 있다.

건물용 금속제품은 크게 금속제 창문과 철제수문 등으로 구성된다. 이들 각각의 이산화탄소 배출원단위 변화는 표19와 같다. 2000년도 비해 2003년도에는 급격한 증가를 보이고 있으며, 2005년은 2003년에 비해 다소 증가한 것으로 분석된다. 금속제 창문의 2005년도 직·간접부분의 이산화탄소 배출원단위는 54.3624 kg-CO₂/kg로써 2003년도 45.5793 kg-CO₂/kg에 비해 약 20%정도 증가하는 것으로 나타난다. 철제수문의 2005년도 직·간접부분의 이산화탄소 배출원단위는 50.1945 kg-CO₂/kg로써 2003년도에 비해 상대적으로 증가한 것으로 나타난다.

표 21. 건물용 금속제품의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

건물용 금속제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
금속제창문	kg	0.0396	17.3816	24.5882	0.1122	45.5793	54.3624
철제수문	kg	1.7342	16.049	22.703	4.9103	42.0848	50.1945

표 22. 나사제품의 이산화탄소배출 원단위 변화(kg-CO₂/단위)

나사제품		직접			직·간접		
		2000	2003	2005	2000	2003	2005
나사, 볼트 및 너트	kg	2.1264	17.5766	22.5207	4.2471	31.8344	35.1771
리벳	kg	8.5648	124.927	160.0677	17.1066	226.2652	250.0240
와셔및산업용 파스너	kg	0.1113	20.1836	25.8611	0.2224	36.5562	40.3947

나사제품은 크게 나사, 볼트 및 너트, 리벳, 와셔 및 산업용 파스너 등으로 구성된다. 이들 각각의 이산화탄소 배출원단위는 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 나사, 볼트의 2005년 이산화탄소 배출원단위는 직·간접에 의해 35.1771 kg-CO₂/kg이며, 2003년도 31.8344 kg-CO₂/kg 보다 상대적으로 높은 수준을 형성하고 있다.

4. 결론 및 앞으로의 연구과제

본 연구는 20개 부분의 건축재료의 이산화탄소 배출원단위의 증감추이를 분석한 것이다. 이를 위해 2000년, 2003년, 2005년도 산업연관표를 이용하였다. 분석방법은 간접추계법인 산업연관분석법을 이용하여 직접 부분과 직·간접 부분으로 구분하여 이산화탄소 배출원단위를 작성하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 주요 건축재료의 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출원단위 산정을 위하여 기존 문헌 및 산업자원부·환경부에서 다루었던 부분의 정리를 통하여 2000년, 2003년, 2005년 산업연관표에서 주요 건축재료인 모래 및 자갈, 기타 건설용 석재, 제재목 등 기타 목제품, 페인트 등의 도료, 플라스틱 1차 제품, 산업용 유리제품, 시멘트, 콘크리트 제품, 철근 및 봉강, 동판과 동선 등 동1차 제품, 알루미늄 1차 제품, 나사제품 등 20개의 주요 제품군을 선정하였다. 이들 가운데 비교적 상대적으로 높은 이산화탄소 배출을 하는 건축재료는 레미콘, 콘크리트 제품, 알루미늄 1차 제품, 리벳 등을 들 수 있다.

둘째, 시간 경과별에 따른 주요 건축재료의 에너지 소비원단위와 이산화탄소 발생원단위 변화를 분석한 결과, 시간 경과에 따라 지속적인 증가나 하락의 변화를 보이거나 중간년도의 2003년에 감소하다가 2005년도 증가하는 등의 다양한 패턴을 나타내고 있다. 레미콘과 시멘트, 콘크리트 제품, 형강 등은 안정된 수준을 형성하는 반면, 나사제품, 알루미늄 1차 제품 등은 급격한 증가추이를 나타내고 있다.

2000년, 2003년, 2005년의 시간적인 변화에 따른 주요 건축재료에 대한 이산화탄소 배출원단위 비교결과, 대부분의 산업부문과 하위 건축재료는 이산화탄소 배출원단위가 감소 혹은 증가를 하더라도 일정한 수준을 유지하는 경향을 보이고 있다. 분석된 대부분의 건축재료는 2000년도에 비해 2005년 이르기까지 연속적인 증가 혹은 연속적인 감소를 보이기 보다는 불연속적인 특징을 지니고 있다. 이것은 산업연관표 조사당시의 사회·경제 환경 등에 영향을 받기는 하지만, 일정수준으로 수렴하거나, 약간의 연속적인 증감을 보이고 있다.

본 연구는 산업연관표를 이용한 건축의 주요재료에 대한 세부적인 항목별로 이산화탄소 배출량을 알 수 있다. 따라서 산업부문과 재료선택에 대한 기초적인 자료로 활용이 가능하다고 보인다. 또한 앞으로의 지속적인 연구를 통한 정보갱신으로 산업부문별 변화와 분석을 보다 정확히 할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 2005년 산업연관표를 이용하여 연구를 진행하는 동안, 환경부하를 측정하

기 위한 국가적인 규정과 규격이 정해지지 않아 연구수행이 용이하지 않은 한계를 지니기도 하였다.

다른 한편으로는 산업연관분석에 의한 이산화탄소 배출량 분석은 자료가 갖고 있는 한계와 국내외의 다양한 경제환경 변화 등에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 이산화탄소 배출량 수준을 예측하기 위한 다양한 요인과의 영향관계를 찾는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 이윤규, 이강희(2001), “공동주택의 에너지 소비와 이산화탄소 배출특성”, 설비공학논문집 제13권 제9호
2. 정보라, 이하식, 최영오, 이강희(2008), “전과정평가를 이용한 공동주택의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정”, 한국주거학회 학술발표대회 논문집 2008 제1권(춘계), pp 235~240
3. 김종엽, 이승언, 손장열(2004), “건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 원단위 산출”, 대한건축학회논문집 계획계 제20권 제10호 (통권 192호), pp 319~326
4. 한용섭, 김상대(2005), “구조 계획 측면에서 본 구조 재료별 CO₂ 발생량 비교 연구”, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집 제25권제1호(통권 49호), pp 203~206
5. 장성문, 이강희, 노삼영, 이경민(2007), “공동주택 개보수에 따른 건축자재의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 분석”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제27권 제1호(통권 제 5호), pp 801~804
6. 이강희, 양재혁(2009), “주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구”, 대한 건축학회 논문집 제25권 제6호, pp 43~50
7. 이강희(2003), “공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA적용연구 - 에너지, 이산화탄소, 황화합물 등의 목록분석을 중심으로”, 대한건축학회 논문집 계획계 제19권 제2호, pp 27~36

투고(접수)일자: 2010년 7월 15일

심사일자: 2010년 7월 16일

게재 확정일자: 2010년 10월 21일