

# 공공발주자와 민간기업 측면의 건설공사 온실가스 환경비용 영향분석

- 고속도로 포장공종을 중심으로 -

Analyzing Environmental Impacts in Construction Project at Different Ownership  
- Focus on Express Road Pavement Process -

장우식\* · 박희대\*\* · 한승헌\*\*\* · 전종서\*\*\*\*

Jang, Woo Sik · Park, Heedae · Han, Seung Heon · Jeon, Jong Seo

## Abstract

In the wake of increased concerns on reduction of greenhouse emission which started with United Nation's Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and Kyoto protocol, Korean government is making various efforts under the represented slogan "Low Carbon, Green Growth". Therefore, it is inevitable that construction industry also follow the Korea government's slogan and the international trend in environmental problems. This study identified several main construction materials and equipments of civil construction projects and suggested a environmental cost estimation method and related estimation standards (Public and private owners are distinguished). A case analysis of a real road construction project is also performed and characteristics according to the owner type is compared. This study analyzed the environmental impact to total construction cost variations. In the result, public owner required 11~16% of extra budget and private owner required 19~22% of extra costs. This study is limited in consideration of environmental factors and carbon trading prices.

**Keywords** : road construction, environmental load, ownership, international carbon trading, carbon tax

## 요 지

온실가스 감축을 위한 교토의정서 채택 등으로 선진국들은 이산화탄소로 대표되는 온실가스에 대한 구체적 감축목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 방안을 모색해 왔다. 최근 우리 정부도 "저탄소 녹색성장"이라는 슬로건을 내걸고 다양한 노력을 경주하고 있다. 이에 자재 생산 및 수송, 건설 및 운영 등의 전 과정에서 많은 양의 온실가스를 배출하는 건설 산업에서도 이산화탄소 배출 등 환경비용을 고려하는 친환경적 산업체계 구축이 어느 때 보다도 필요한 때이다. 따라서 본 연구는 건설공사 수행과정에서 발생하는 온실가스의 배출량을 산출하고, 이를 비용화하여 전체 공사비에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 고속도로 건설공사 사례를 분석하여, 주요 자재 및 장비에서 발생하는 환경부하량을 계산하였다. 그리고 환경부하량 산정의 주체를 공공발주자(정부)와 민간 기업으로 분류하여 각각의 특성을 반영한 환경부하의 비용화 기준을 따로 제시하였다. 그 결과, 공공발주자 측면에서는 실제 공사비 외에 11-16%의 환경적 추가비용이 발생되었으며, 민간기업 입장에서 실제 공사비 외에 19-22% 정도의 추가비용이 발생하는 것으로 분석되었다. 본 연구는 고속도로의 포장공종에 한정되었고, 온실가스 중 이산화탄소의 배출에만 제한된 한계가 있으나, 토목분야에서 상대적으로 미진했던 환경부하 및 비용화에 대한 사례연구를 수행함으로써, 정부와 민간 기업 입장에서 각각 환경비용을 산정하고 총공사비에 미치는 영향을 계량화할 수 있는 기준을 제시했다는 데 의의가 있다.

**핵심용어** : 도로건설공사, 환경부하, 환경비용, 발주자, 국제탄소거래, 탄소세

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

1992년 리우기후변화협약 이후 국제사회는 교토의정서의

비준을 시작으로 이산화탄소 등 온실가스 발생을 줄이기 위한 방안을 모색해 왔다. 유럽연합(EU), 미국, 캐나다 등은 각각 이산화탄소 배출에 대한 탄소세를 제정하여 온실가스 배출 방지 및 축소를 위해 노력하고 있다(에너지경제연구원,

\*정회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : woosik@yonsei.ac.kr)

\*\*정회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 통합과정 (E-mail : parkheedae@yonsei.ac.kr)

\*\*\*정회원 · 교신저자 · 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : shh6018@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\*현대엔지니어링(주) 인프라 · 환경사업본부 부장 (E-mail : jjs0616@hec.co.kr)

2009; Carbon Tax Center, 2010). 우리 정부도 “저탄소 녹색성장”이라는 슬로건 아래 온실가스 저감을 위한 국제사회의 트렌드에 동참하고자 하고 있다. 정부는 2020년까지 국가온실가스 감축목표를 배출 전망치 대비 30% 이상 줄이겠다는 거시적인 정책목표를 제시한 바 있으나(조경업, 2010), 아직 우리나라는 온실가스감축 비의무당사국(Non Annex-I)에 속해있어 실질적인 감축 노력 및 실질적인 효과는 미흡한 실정이다. 일례로 단위 탄소배출량 당 GDP(Gross Domestic Product) 창출 크기를 나타내는 탄소생산성의 경우, 2007년 OECD 및 G20 국가들을 포함한 총 40개국 중 우리나라는 31위의 저조한 성적을 기록했다(김원규, 2010). 이러한 추세가 지속될 경우, 비의무당사국 지위가 바뀌게 되는 2013년 이후 온실가스 감축 의무로 인한 각 산업계, 정부 및 민간의 혼란이 우려된다.

특히 건설산업은 자재의 생산 및 수송, 건설 및 운영 등의 전 과정에서 많은 양의 온실가스를 배출하며, 28개 산업대분류별 이산화탄소 배출량조사에서 제1차 금속, 전력 산업에 이어 세 번째로 많은 양을 배출하는 것으로 보고되고 있다(박필주 외, 2009). 이러한 상황에서 건설 산업에서도 국내외의 환경정책의 변화 및 온실가스 감축을 위한 연구들이 진행되고 있으나, 주로 거시적 관점의 접근으로 건설공사의 구체적인 프로세스에 적용하기엔 미흡한 실정이다(이병운 외, 2010).

따라서 본 연구는 건설공사의 수행과정에서 발생 가능한 온실가스의 배출량을 비용화하여 이를 총 건설 사업비로 통합하는 방법을 제시하고, 실제 도로사업의 포장공종 사례 적용을 통해 온실가스 배출량 고려가 전체 사업비에 미치는 영향을 확인하는 데 그 목적을 둔다.

### 1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 우선 환경부하 요소 정의 및 부하량 산정 관련 연구와 이의 비용화를 위한 연구에 대한 문헌고찰을 바탕으로 건설공사에서 적용 가능한 환경부하 요소 및 비용화 방법을 파악한다. 현행의 건설공사비 산정은 자재비, 장비비, 인건비 등 공사에 직접적으로 투입되는 요소만을 대상으로 하고 있으며, 이와 관련된 온실가스 등 잠재적인 환경부하 요소를 고려하지 않고 있다. 따라서 아스팔트, 시멘트, 철근 등 주요 자재와 장비의 투입량으로부터 온실가스 배출량 산정 및 비용화 방안을 검토하였다.

또한 환경부하 및 그에 따른 영향, 온실가스의 비용화 기준 등은 공공발주자(정부)와 민간기업에 서로 다르게 적용될 수 있으므로, 공공발주자와 민간기업의 경우를 따로 구분하여 환경요인 비용화 기준을 선정하여 제시하고, 실제 국내에서 수행된 고속도로 포장공종의 사례의 분석을 통해 그 차이를 비교분석 하고자 하였다.

한편, 시설물에서 발생하는 환경부하는 시공단계, 유지 및 운영 단계, 해체 및 폐기 단계 모두에서 관측될 수 있으나, 본 연구는 분석을 위한 정확한 자료수집이 가능한 시공단계만을 대상으로 하며, 시공 현장에서 발생하는 환경부하만을 분석에 활용하였다. 따라서 자재의 생산 및 수송 등 간접적인 요소는 배제한다. 본 연구의 절차를 요약하면 그림 1과 같다.

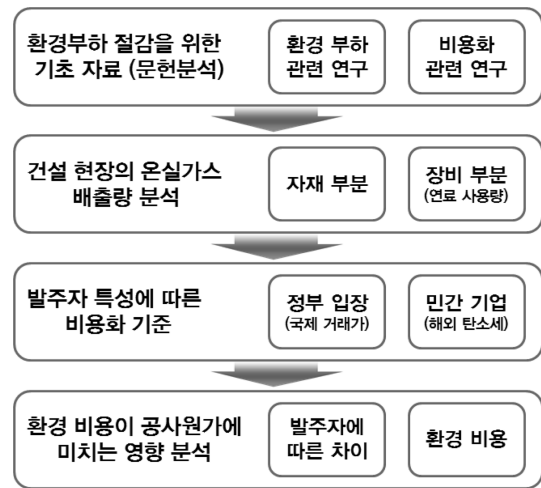


그림 1. 연구 흐름도

## 2. 이론적 고찰

국내외 건설 산업의 환경비용 연구는 개별 구조물 및 자재, 특정 장비의 환경부하량 산정과 이의 비용화에 대한 연구가 주를 이루어 왔다. 황용우(2000)는 토목구조물의 종합적인 환경영향 분석을 위한 분석 구조를 제시하며 전생애환경평가기법(Life-Cycle Assessment, LCA)의 필요성을 강조하였으며, 황용우 외(2000)는 도로건설시 장비에 의해 발생하는 환경부하량을 산정하였다. 또한 박광호 외(2000)는 고속도로의 환경부하 평가와 관련하여, 건설자재를 사업수행 단계별로 구분하여 “기후변화정부간위원회”(International Panel Climate Change, IPCC)의 탄소배출계수를 이용하여 환경부하량을 산정하였다. 국외에서는 Forseberg 외(2004)가 환경부하량 평가를 위한 틀을 비교하여, 앞으로의 연구방향을 제시하였다. Morel 외(2001)는 주택건축에서의 지역(Local) 자재 사용시의 환경영향을 분석하였으며, 실제 프랑스 주택 건설 현장에서 기존 방법과 지역 자재사용시의 환경영향을 비교하였다. 또한 Gonzalez 외(2006)는 스페인 등의 환경영향 기준을 적용하여, 자재의 선택에 따른 이산화탄소 발생량의 변화에 대한 연구를 진행하였다.

환경부하의 비용화와 관련해서는, 조은래(2000)가 환경오염의 정화비용 산정에 있어서 기금법 도입의 필요성을 제시하고 해외사례를 비교 분석 하였으며, 에너지관리공단(2003)은 동일한 환경목표를 달성하는데 있어 시장메커니즘과 규제 두 가지 방법에 따른 경제적 차이를 비교하였다. 한편, Ari 외(2002)는 공해에 의한 환경비용 분석을 통해 정부정책에 따른 환경 피해 및 그 영향을 제시하였으며, Mette 외(2005)는 덴마크의 환경관련 세금변화에 따른 이산화탄소의 발생량 변화를 분석하였다. 건축분야에서는 환경비용을 고려한 공사비 산정에 관한 연구도 일부 진행되었다. 정근주(2008)는 외국의 탄소세 적용사례를 이용하여 주택건설에서의 탄소세 적용에 따른 공사원가 및 운영에너지 비용에의 영향을 분석하였으며, Roger 외(2007)는 목조(wood-framed) 빌딩과 철근콘크리트 구조(reinforced concrete-framed) 빌딩의 총공사비 분석을 통해 에너지와 탄소세가 건설자재에 미치는 영향을 검토하였다.

이러한 기존 연구의 동향을 연구대상 및 연구의 특성에

표 1. 건설분야 환경비용 관련 기존연구 동향

연구	연구 대상 공종			연구 특성		
	토목	건축	기타	환경 부하	비용화	공사비
황용우(2000)						
박광호 외(2000)						
황용우 외(2000)						
Forseberg 외(2004)						
Morel 외(2001)						
Gonzalez 외(2006)						
에너지관리공단(2003)						
Ari 외(2005)						
Mette 외(2005)						
정근주(2008)						
Roger 외(2007)						

따라 분류하면 표 1과 같다. 기존 연구들은 토목, 건축, 기타 공종에서 비교적 다양하게 분포되어 있으나, 환경비용의 비용화 및 공사비 분석에 대한 연구는 부족한 실정이다. 특히 토목 공종의 환경부하량의 비용화 및 공사비 산정에 대한 연구는 이뤄지지 않은 점을 고려, 본 연구는 토목시설물의 환경비용을 고려한 공사비 산정을 위해 환경부하 요소 중 온실가스 배출량을 분석하고 비용화하여, 이를 공사비 산정에 연계해 총공사비에 미치는 영향을 검토하였다.

### 3. 건설공사에서의 온실가스 배출량 분석

#### 3.1 자재 및 장비 사용량 분석 기준 검토

일반적으로 건설공사에 투입되는 자재 및 건설장비는 그 종류도 다양할 뿐만 아니라 소요량, 투입시간 등이 서로 상이하다. 자재와 장비의 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 개별 작업에 분포되어 있는 각 자재 및 장비의 정확한 사용량을 취합하는 작업이 필요하다. 자재의 경우 실제 건설 공사 현장에서 사용하고 있는 물량산출서의 소요량을 기준으로 하여 공종별로 분포되어 있는 동일 자재를 취합하여 총 사용량을 산정한다. 다만, 모든 종류의 자재를 분석하는 데에는 어려움이 있으므로 본 연구에서는 분석대상 공사에서 소요량이 가장 큰 주요 자재를 선정하여 이를 중심으로 분석한다.

한편, 장비의 경우는 일반적으로 공사 내역서나 기타 자료로는 실제 사용시간 등을 확인할 수 없으므로, 본 연구에서는 건설공사 표준품셈(국토해양부 외, 2010)을 활용하여 각 장비의 효율 및 일당 처리량을 확인하고, 이를 총 공사물량과 비교하여 장비가 사용하는 연료인 경유 소모량을 분석한다. 장비도 자재와 마찬가지로 사용량이 많은 장비를 중심으로 분석한다. 표 2는 사례분석에 사용된 현장의 자재 및 장비의 사용량을 나타낸다.

#### 3.2 온실가스 배출량 산정 기준 및 방법

온실가스 배출량을 산정하는 방법으로는 산업연관표를 이용한 배출량 산정, 해외 LCA 프로그램 및 데이터베이스 분

표 2. 고속도로 공사의 자재·장비 사용량(예시)

구분	명칭	관련 작업	물량	단위	
자재	아스콘	표층	16,236	m <sup>2</sup>	
		보조기층	6,778	m <sup>3</sup>	
		길어깨포장	∴		
		프라임코팅	∴		
		∴	∴		
	콘크리트	린 콘크리트 기층	13,850	m <sup>3</sup>	
		고면포장(LMC)	∴		
		콘크리트 슬래브	∴		
		∴	∴		
	철근	철근 가공 및 조립	354	톤	
		∴	∴		
	장비	덤프트럭		21,902	m <sup>3</sup>
		콘크리트 롤러		4,469	m <sup>2</sup>
		∴		∴	

석을 통한 배출량 산정 등 다양한 방법이 제시되어 왔다(박필주 외, 2009; 정영선 외, 2008; 조한권, 2001; 황용우 외, 2000). 그러나 기존에 수행된 대부분의 연구는 특정 자재나 장비만이 분석된 제한이 있다.

따라서 기존문헌에서 제시된 개별적인 온실가스 배출량 산정 기준을 적용하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 일관되고 통합된 기준을 사용하기 위하여 해외 연구에서 널리 사용되고 있는 SimaPro 프로그램을 활용하였다. SimaPro는 네덜란드의 환경건설링 업체 PRé Consultants가 개발한 LCA 툴로, 건설 분야를 비롯하여 다양한 타 분야에서도 사용이 가능하다(PRé Consultants, 2006).

SimaPro의 가장 큰 특징으로서는 사용자가 원하는 원자재나 생산물을 쉽게 검색하고 정의가 가능하다는 점이다. SimaPro는 프로젝트를 정의하고 분석하기 위한 데이터베이스를 탑재하고 있어 사용자가 원하는 원자재 및 생산물을 설정할 수 있다. 만약 사용자가 원하는 항목이 없을 경우, 검색을 통해 가장 유사한 항목을 사용할 수 있게 해준다. 검색을 통해서도 찾을 수 없는 항목의 경우에는 사용자가 직접 입력할 수 있다. 예를 들어 아스콘이라는 항목을 선택할 경우, 분석을 위해 아스콘의 생산을 위한 “input/output resources”를 정의한다.

본 프로그램에서 기본적으로 제공되는 “input/output resource”는 모두 실제 사례 및 실적에 기반한 경험값이다. 예를 들어 본 연구의 분석에서 활용된 사용한 아스콘 자재(Bitumen refinery/CH/S)의 경우 1990년에서 1994년에 서부 유럽에서 진행된 현장의 데이터를 기준으로 “input/output resources”가 입력되어 있다(표 3). 1톤의 아스콘을 생산하기 위한 실제 투입요소가 정의되어 있으며, 1톤의 아스콘 생산이 환경에 미치는 영향을 계산하기 위해 공기, 물, 토양 등에 배출되는 환경영향을 각각 정의 하고 있다.

일반적으로 온실가스 배출량을 산정할 때에는 건설공사의

표 3. 아스콘의 1톤의 주요 input/output resources

구 분	원료	소요량
투입	자갈	7.49 kg
	물	6,070 kg
	석유	73 m <sup>3</sup>
공기 배출	이산화탄소	409.7 kg
	메탄	4.25 kg
	산화질소	2 kg
물 배출	염화물	26.6 kg
	나트륨	15.9 kg
	열	0.0004 TJ
토양 배출	알루미늄	0.06 kg
	탄소	0.2 kg
	철	0.13 kg

작업 단위별로 표 2에 나타난 사용량에 IPCC (2007)에서 제공하는 탄소 배출계수를 곱하면 총배출량 및 개별 배출량을 쉽게 계산 할 수 있다(식 (1)).

$$\text{배출량} = \text{자원 소모량} \times \text{배출 환산계수} \quad (1)$$

그러나 SimaPro는 환경 부하를 유발하는 물질의 생산프로세스를 분석해 물질 생산과정에서 발생하는 “input/output resource”를 분석하고, 이러한 개별 input resources를 사용자가 지정하는 환경 부하량 산정 방법론의 배출 환산계수를 이용해 다양한 output resources 별로 배출량을 산정해주는 프로그램 이다. 그리고 본 논문에서는 IPCC2007 방법론의 온실가스 배출계수를 적용함으로써 각 input resource에 온실가스 배출계수를 곱하고 이들을 합함으로써 온실가스 배출량을 산정하였습니다.

예를 들어 아스콘의 온실가스 배출량을 살펴보면, input/output resources 로서 표 3이 있다. 하지만 지면의 한계로 표 3에 제시된 원료는 각각 3개정도만 나타나 있으나, 실제적으로는 input resource가 41개, 공기배출 output resource가 167개, 물배출 output resource가 155개, 토양배출 output resource가 20개로써 총 383개의 input/output resources로 구성되어 있다. SimaPro 프로그램은 41개 input resources를 분석하고, 각각의 input resources를 사용자가 지정한 방법론의 배출계수와 곱하여 토양, 물 그리고 공기 배출로 구분된 342개의 output resources로 분류한다(식 (2)). 따라서 프로그램을 이용하지 않을 경우 41개 input resources를 342개의 output resources로 계산해야 하므로 총 14,022회의 계산을 수행해야 한다. SimaPro는 이러한 계산을 한꺼번에 해주고, 사용자가 원하는 output resource 별로 구분을 해주는 편리한 프로그램 이다.

$$\begin{aligned} \text{온실가스 배출량} &= \text{input}_1 \times \text{배출 환산계수}_1 \\ &+ \text{input}_2 \times \text{배출 환산계수}_2 + \dots \\ &+ \text{input}_{41} \times \text{배출 환산계수}_{41} \end{aligned} \quad (2)$$

그러나 이러한 “input/output resource”의 정의가 서유럽의 상황에 맞추어져 있어 타 지역의 기후나 현장상황에 따라 기준이 다를 수 있으므로 SimaPro는 개별 사용자가 프로젝트에

적합하도록 주요 재원을 수정할 수 있도록 지원한다. 마지막으로 SimaPro는 LCA분석을 위해 IPCC에서 제공하는 유럽 국가의 상황에 맞추어 개발된 Eco-indicator, 그리고 미국 National Institute of Standard and Technology(NIST)에서 제공하는 Building for Environmental and Economic Sustainability(BEES: Lippiatt, 2003) 등 다양한 환경 분석 기준을 제공한다. 각 기준들은 각각의 환경부하 요인과, 발생하는 부하량을 정의하고 있다. 이러한 LCA 분석기준 중 사용자가 연구의 목적에 적합한 기준을 선택하여 분석할 수 있다.

결론적으로 SimaPro는 건설공사의 특성에 맞게 다양한 기준을 적용할 수 있고, 특정한 환경요인을 선택했을 때 직접적인 환경부하 발생량 외에 간접적인 환경부하 발생량까지도 계량화 할 수 있으므로 본 연구의 적용대상에 가장 부합된다. 따라서 본 연구에서는 SimaPro를 이용하고 이산화탄소 계량화 방법론인 IPCC 2007을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

### 3.3 온실가스 비용화 기준

온실가스 등 환경부하의 영향 및 비용화 기준 등은 건설 사업을 발주하는 정부 또는 공공기관의 입장과 건설공사를 직접 수행하는 민간기업에서 입장에서 보는 관점이 다를 수 밖에 없다. 본 연구는 이러한 근본적인 차이에 주목하여 발주자 및 민간기업 특성에 맞는 비용화 기준을 제시하도록 한다.

#### 3.3.1 공공 발주자(정부)의 비용화 기준

정부는 환경부하에 의한 문제 발생 시 이를 해결해야할 주된 책임을 가지고 있다. 환경 부하에 의한 환경오염을 통제하고 관리하며, 최후의 책임을 지고 있다고 할 수 있다. 리우기후변화협약 이후 협약에 가입한 국가들은 각각 할당량을 가지며, 이후 배출량 감축에 대한 의무를 가지게 되었다. 정부가 보유하고 있는 온실가스 배출량에 대한 권리를 다 소모했을 경우 배출량에 여유가 있는 타 국가로부터 배출을 할 수 있는 권리, 즉 탄소배출권을 구입해야 한다. 이러한 할당량은 개인이나 기업이 거래하기 보다는 국가 간이나 정부 간에 거래를 하는 것이 일반적이다.

이러한 관점에서 볼 때, 정부는 사업 발주 시 현재 이용 가능한 온실가스 배출권을 고려해야 할 것이다. 만약 배출권이 부족할 경우 타 국가로부터 구입을 하거나 최악의 경우 건설 사업을 중단해야 할 수도 있기 때문이다. 환경부(2009)에 의하면 해외 여러 국가에서 탄소거래소가 설립되어 운영되고 있다.

환경부(2009)에 따르면, 2007년 거래량 기준으로 거래량이 가장 많은 곳은 유럽기후거래소(European Climate eXchange, ECX)로서 다른 거래소에 비해 월등한 거래량을 나타내고 있다(표 4 참조). 따라서 본 연구에서는 발주자가 정부일 때 환경요인을 비용화 하기 위해 유럽기후거래소의 탄소 거래가를 기준으로 선정하였다. 최근 1년간의 탄소거래가 평균은 13.54 유로, 최대 15.50유로, 최소 10.30유로를 나타내고 있다. 본 연구에서는 온실가스의 비용화에 있어 최근 1년간의 탄소거래가의 최대 금액과 최소 금액을 기준으로 상·하한

표 4. 해외 탄소 거래소 현황(환경부, 2009)

지역	탄소 거래소	07년 거래량 (백만톤)
EU	유럽기후거래소(ECX)	1,038
	노르드 풀(Nord Pool ASA)	95
	블루넥스트(BlueNext)	24
	유럽에너지거래소(EEX)	23
	오스트리아에너지거래소(EXAA)	0.28
미국	시카고기후거래소(CCX)	23
	시카고 기후선물 거래소(CCFE)	4
	녹색거래소(Green Exchange)	-

치 범위를 두어 계산하였다.

### 3.3.2 민간기업의 비용화 기준

건설공사와 관련하여 직접적으로 해결 가능한 환경오염, 예를 들어 건설공사와 관련하여 발생하는 폐기물은 폐기물 처리비용항목으로, 기타 요인은 환경 보전비 항목으로 이미 공사비 내역서에 반영되어 관리되고 있다. 그러나 온실가스와 같이 간접적으로 배출하는 환경 부하의 경우 이러한 비용부담 체계가 아직 정립되어 있지 않다. 민간기업 차원의 환경비용 부담측면에서 볼 때 온실가스 배출 등의 환경부하 비용발생은 정부차원의 탄소거래가 보다는 직접적인 세금형태로 반영하는 것이 적합하다.

그러나 아직 우리나라에서는 탄소세와 같은 체계가 아직 마련되지 않고 있어, 본 연구에서는 해외의 탄소세 사례를 조사하였다(표 5). 현재 탄소세를 적용하는 국가는 핀란드, 스웨덴, 영국 등 EU 국가와 미국, 캐나다 등이 대표적이다(Carbon Tax Center, 2010). 특히 핀란드와 뉴질랜드 그리고 미국은 다른 나라가 에너지 부분이나 특정 범위에 탄소세 부과를 한정하는 것과 달리 건설 산업 전체에서 발생하는 탄소 배출량에 대해 탄소세를 부과하는 것이 특징이다.

본 연구에서는 건설공사에 적용이 더 원활한 핀란드와 미

표 5. 해외 탄소세 현황(Carbon Tax Center, 2010)

지역	국가	탄소세
EU	핀란드	18.05 EUR
	스웨덴	150 USD
	영국(CO <sub>2</sub> 환산)	12 USD
오세아니아	뉴질랜드(CO <sub>2</sub> 환산)	39 USD
미주	미국(콜로라도)	26 USD
	캐나다(CO <sub>2</sub> 환산)	3 USD

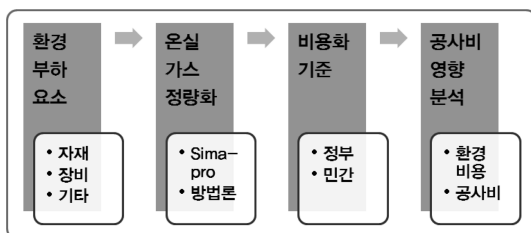


그림 2. 건설공사의 환경비용 분석 절차

국의 사례를 중심으로 탄소세를 반영하여 민간기업의 환경비용을 산정하는 것으로 하였다. 앞에서 수행된 온실가스 배출량 분석 및 비용화 기준을 바탕으로 건설공사에서 환경비용 고려를 위한 개념적 절차는 그림 2와 같다.

## 4. 사례 분석

본 연구에서 제시한 발주자별 건설공사의 환경비용 영향을 검토하기 위해, 2007년 7월부터 2009년 9월까지 국내 A건설사가 수행한 OO고속도로 사업 제 1공구의 포장공종을 대상으로 사례 분석을 수행하였다. 해당 현장은 연장 10.2km에 왕복 4차선으로, 해당현장의 포장공종 공사비는 약 36억 원 규모이다. 이 항목은 사업주체의 유형에 관계없이 동일하며, 공법이나 시공 효율성의 변동은 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 본 연구에서 진행된 사례분석은 해당 현장의 내역서 및 일위대가를 사용하였다. 또한 시공단계 및 포장공종이 수행되는 과정에서의 Input과 Output을 규명하는데 집중하였다.

### 4.1 배출량 계산

본 연구에서는 OO고속도로 제 1공구의 주요 자재 및 장비 사용량을 계산하고, 이를 바탕으로 Simapro 프로그램을 이용하여 배출량을 계산하였다.

#### 4.1.1 자재 부분의 배출량 계산

일반적으로 포장공종에서 발생하는 환경부하는 주로 포장재료에서 발생된다. 아스팔트 포장의 경우 표층과 기층에 사용되는 아스콘이 주요 발생 자재이다. 또한 시멘트 콘크리트 포장의 경우 슬래브를 구성하는 콘크리트가 주요 발생자재이며, 이외에도 철근이 주로 사용된다. 본 연구에서 분석하는 공사 현장에서 사용되는 주요자재의 사용량은 표 6과 같다. 표 6의 온실가스배출량은 포장공종의 주요 자재를 Simapro에 입력하고, 배출량 산정 기준으로 IPCC 2007을 적용하여 계산한 결과이다.

#### 4.1.2 장비 부분의 배출량 계산

본 연구에서 고려한 장비는 아스팔트 포장의 경우 아스팔트 피니셔, 머캐덤롤러, 타이어롤러, 탠덤롤러, 살수차를 고려하였고, 콘크리트 포장의 경우 덤프트럭, 콘크리트 펌퍼, 굴삭기, 조면 마무리기, 살수차를 고려하였다.

일반적으로 포장공종에서 장비에 의해 발생하는 환경부하는 주로 장비 연료인 경유에서 발생된다. 그러므로 본 연구는 대상공사 현장에서 사용되는 주요 장비의 사용량과 연비를 분석하여 경유사용량을 계산하였다. 장비에 의한 연료 사용량은 표 7과 같다. 표 7의 온실가스배출량도 같은 방식으

표 6. OO고속도로(1공구) 포장공종의 주요 자재 사용량 및 온실가스 배출량

자재명	자재 사용량 (톤)	온실가스배출량 (톤)
아스콘	25,252(km당: 2,475)	18,300(km당: 1,794)
콘크리트	105,100(km당: 10,303)	7,260(km당: 711)
철근	394.91(km당: 39)	398(km당: 39)

표 7. 00고속도로(1공구) 포장공종의 장비 사용에 따른 연료 소모량 및 온실가스 배출량

연료명	소모량 (톤)	온실가스배출량 (톤)
경유	7.327	6.1

로 포장공종의 장비사용에 의한 경유 사용량을 SimaPro에 입력하고, 배출량 산정 기준으로 IPCC 2007을 선택하여 계산한 것이다.

4.2 포장공종 공사비 산정

4.2.1 정부 입장에서의 공사비 산정

정부 입장에서의 총공사비 산정에서는 실제 포장공종비와 온실가스로 인한 환경비용을 계산하였다. 시공비는 공사의 도급내역서 상의 포장공종비를 기준으로 작성하였으며, 온실가스로 인한 환경 비용의 경우 국제거래가의 최대와 최소 금액을 기준으로 작성하였으며, 이를 원단위로 표시하기 위해 1유로(EURO) = 1,500원(십만원 단위 반올림, 2010년 상반기 평균 환율)으로 계산하였다(우리은행, 2010). 계산 결과는 표 8과 같다.

4.2.2 민간기업 입장에서의 공사비 산정

민간기업 입장에서의 총공사비 산정에서는 시공비는 공사의 실행 내역서 상의 포장공종비를 기준으로 작성하였으며, 온실가스로 인한 환경 비용의 경우 해외의 탄소세 사례 중 산업전반에 적용이 가능한 사례를 적용하였다. 이를 위해 유럽지역에서 대표로 핀란드를 선택하였으며, 미주 지역에서 대표로 미국 콜로라도 주를 선택하여 계산하였다. 해당 국가별 화폐가치를 원단위로 표시하기 위해 1EURO = 1,500원(십만원 단위 반올림, 2010년 상반기 평균 환율), 1\$ = 1,200원(십만원 단위 반올림, 2010년 상반기 평균 환율)으로 계산하였다. 계산 결과는 표 9와 같다.

4.3 주체별 공사비 비교 및 의의

정부(공공발주자) 및 민간기업 입장에 따른 사례분석 대상 공사의 공사비 변화를 요약하면 표 10과 같다. 최근 1년간의 탄소 거래가를 적용한 정부 입장의 경우, 36억원 규모의

표 8. 정부 입장에서의 총공사비 산정

구분	온실가스 배출량(톤)	국제 거래가 (단위: 유로)	금액(단위: 원)
직접공사비	-	-	3,581,131,757 (km당: 351,091,348)
환경 부하	자재 발생	최대: 15.50 최소: 10.30	최대 603,523,500 (km당: 59,168,970)
			최소 401,051,100 (km당: 39,318,735)
	장비 발생		최대 141,825 (km당: 13,904)
			최소 94,245 (km당: 9,239)
공사비	최대	4,184,797,082 (km당: 410,274,223)	
	최소	3,982,277,102 (km당: 390,419,323)	

표 9. 민간기업 입장에서의 공사비 산정

항목	온실가스 배출량(톤)	적용국가	금액(단위 :원)
직접공사비	-	-	3,581,131,757 (km당: 351,091,348)
환경 부하	자재	핀란드	702,812,850 (km당: 68,903,220)
		미국	809,889,600 (km당: 79,400,941)
	장비 발생	핀란드	165,157 (km당: 16,191)
		미국	190,320 (km당: 18,658)
공사비	핀란드	4,284,109,764 (km당: 420,010,761)	
	미국	4,391,211,677 (km당: 430,510,948)	

표 10. 사용자 주체별 환경비용 영향분석

발주자	시공비	온실가스에 의한 환경비용		시공비에 대한 환경비용의 비율	
정부	35.8억	최대	6억	최대	+ 16.7%
		최소	4억	최소	+ 11.1%
핀란드		7억	핀란드	+ 19.5%	
미국		8.1억	미국	+ 22.6%	

사례분석 공사의 환경비용은 최소 4억원에서 최대 6억원의 추가부담이 발생하며, 이는 실제 직접공사비의 11~16%에 해당하는 증가분이다. 또한 탄소세를 적용한 민간기업 측면에서는 실제 공사비 외에 추가적으로 7억에서 8억 정도가 환경비용이 산정되었다. 이는 기존 공사비의 약 20%에 해당하는 금액이며, 기존의 건설 시스템 아래에서는 전혀 고려되지 않고 있는 항목이다. 현재 500억 이상 공사에 한해 의무적으로 시행되고 있는 환경영향평가에서도 시공과정에서 발생할 수 있는 온실가스에 의한 환경비용은 고려되지 않고 있는 실정이다. 따라서 환경비용의 부담은 정부와 민간 모두에게 큰 부담으로 작용할 수 있는 요소가 될 수 있다.

현재 환경비용에 따른 비용 부과를 하고 있는 EU 및 북미의 선진국들은 에너지 사용에 따른 탄소세 형태로 각 산업의 민간업체들에게 비용을 부담시키는 방식을 채택하고 있다. 이러한 방식은 개별 건설사들로 하여금 환경부하를 최소화하기 위한 프로세스 개선 및 시공기술의 발전을 도모하는 순기능적 영향을 미칠 수도 있으나, 이를 그대로 국내에 적용할 경우 업체들의 비용부담 증가를 유발하거나, 환경세의 공사원가 및 간접비 반영에 따른 공사비 상승을 유발할 우려도 있다.

따라서 다가올 온실가스 규제에 대비하여 사전에 시공 및 유지·운영 과정에서 발생 가능한 환경비용을 분석하고 이를 비용화하여 발주자와 민간업체가 분담하기 위한 시스템을 확립하기 위한 노력이 필요하다.

5. 결 론

온실가스 발생을 줄이기 위한 세계적인 동향과 우리 정부의 제도 추진을 감안할 때, 전 산업에서 세 번째로 많은 온

실가스를 배출하는 건설산업은 체계적으로 온실가스 배출량을 산정하고 이를 비용화할 수 있는 체계를 수립하는 등의 실질적인 감축노력 및 준비가 필요하다. 이를 위해 본 연구는 토목시설물의 온실가스 산정방법 및 비용화 방안을 제시하였으며, 국내 고속도로 건설공사의 포장공종 사례를 분석하였다.

본 연구는 토목공사 현장인 OO고속도로 건설공사에서 온실가스 배출에 의한 환경부하를 SimaPro 프로그램과 IPCC (2007)의 기준을 이용하여 정량화 하였다. 또한 공공발주자(정부)와 민간기업 각각의 관점에서 주체별 특성을 반영할 수 있는 환경영향 비용화 기준을 소개하였다. 마지막으로 실제 사례분석을 통해 포장공종 직접공사비와 온실가스에 따른 환경비용을 비교하였으며, 추가적으로 발생된 비용을 확인하였다. 이러한 기준으로 분석한 결과 정부(공공발주자)입장에서는 실제 공사비의 11~16%, 민간기업의 경우 실제공사비 외에 추가적으로 19~22%에 이르는 막대한 규모임을 확인할 수 있었다.

우리나라는 현재 의무감축대상국이 아니기 때문에 이와 관련된 법 또는 제도적 기준은 마련되지 않았으며, 따라서 정부 주도의 국가적인 차원의 관리는 없는 실정이다. 해외 사례를 감안할 때 탄소세와 유사한 형태로 도입될 가능성이 높으나, 이는 체계적인 준비 없이는 업체들의 막대한 부담 또는 공사비 상승에 따른 예산 지출의 증가를 유발할 수 있다. 따라서 환경비용과 관련된 체계적인 기준 및 시스템 마련을 위한 고민이 필요하다. 또한 전 산업적인 환경비용 발생을 저감하고 예방할 수 있는 기획 및 설계, 건설자재 선정, 시공방법의 결정 등 건설산업의 전 부문에 대한 기술개발이 함께 이루어져야 한다.

본 연구는 건설공사의 시공단계에서 발생하는 환경부하를 평가하고 비용화할 수 있는 방안을 제시하였으며, 발주자와 민간의 서로 다른 관점을 함께 고려하고 비교하였으므로 향후 건설산업의 체계적인 환경부하 및 비용관리 시스템 수립에 기여할 수 있을 것으로 사료되며, 현 정부의 슬로건인 ‘저탄소 녹색성장’ 실현에도 일조할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구는 시설물의 생애주기 중 시공단계에 한정되었고 사례 분석의 대상이 고속도로공사의 포장공종만을 다루었다. 또한 환경부하량 산정에도 제한된 주요 요소만을 고려하였다는 한계를 가진다. 시공단계에 집중한 한계가 있다. 또한 비용화에 필요한 국내 기준이 없어 해외의 기준을 그대로 적용하였다. 추후 후속연구를 통해 분석 범위를 전 생애주기로 확대하여야 시설물이 발생하는 환경부하의 총량을 검토할 수 있을 것이며, 분석대상 공종 및 요소도 보다 폭넓게 고려되어야 할 것이다.

## 참고문헌

국토해양부, 한국건설기술연구원(2010) **건설공사 표준품셈**, 국토해양부, 경기도.  
 김원규(2010) **우리나라 탄소생산성 현황 및 추이와 시사점**, 산업경제정보, 산업연구원.  
 박광호, 황용우, 서성원, 박중현(2000) **고속도로 수명주기에 따른 환경부하 평가**, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권 제3D호, pp. 311-321.  
 박필주, 김만영, 이일석(2009) **산업연관표(2003년)를 활용한 산업**

**별 CO<sub>2</sub> 배출 원단위 분석**, **자원·환경경제연구**, Vol. 18, No. 2, pp. 279-309.  
 에너지관리공단(2008) **온실가스 인벤토리 검증 가이드라인**, 에너지관리공단.  
 에너지경제연구원(2009) **에너지 포커스**, Vol. 6, No. 4, 경기도.  
 이병윤, 김보라, 김광희(2010) **조적벽의 CO<sub>2</sub> 배출비용을 포함한 건설원가 비교에 관한 연구**, **한국건축시공학회 논문집**, 한국건축시공학회, Vol. 10, No. 3, pp. 83-90.  
 정근주(2008) **탄소세 적용에 따른 공동주택 공사원가 및 운영에너지비용의 영향 분석**, **대한건축학회지연합회논문집**, 대한건축학회, Vol. 10, No. 2, pp. 231-238.  
 정영선, 최경석, 강재식, 이승언(2008) **건축물의 환경부하 평가를 위한 LCA 프로그램 개발에 관한 연구**, **대한건축학회논문집**, 대한건축학회, Vol. 24, No. 5, pp. 259-266.  
 조경엽(2010) **국가 온실가스 감축목표 평가와 시사점**, 한국경제연구원.  
 조은래(2002) **환경오염 정화비용에 대한 기금법 도입에 관한 연구**, **한국환경법학회 환경법연구**, 한국환경법학회, Vol. 24, No. 2, pp. 365-407.  
 조한권(2001) **LCA를 적용한 건축물의 환경부하 관리방안에 관한 연구**, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원.  
 환경부(2009) **한국 탄소시장의 태동은 지자체에서**, 보도자료, (2008.02.06).  
 황용우(2000) **건설산업의 종합적인 환경부하 평가를 위한 LCA의 필요성**, **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제48권 제1호, pp. 13-18.  
 황용우, 박광호, 서성원(2000) **도로건설에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 평가**, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권 제1B호, pp. 113-121.  
 Anna Forsberg and Fredrik von Malmborg (2004) **Tools for environmental assessment of the built environment**, *Building and Environment*, Vol. 39, No. 2, pp. 223-228.  
 Ari Rabl, Joseph V. Spadaro, and Bob van der Zwaan (2005) **Uncertainty of Air Pollution Cost Estimates: To What Extent Does It Matter?**, *Environmental Science & Technology*, Vol. 39, No. 2, pp. 399-408.  
 Carbon Tax Center (2010) *Where carbon is taxed*, <<http://www.carbontax.org/progress/where-carbon-is-taxed>>, (2010.05.17.)  
 J.C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero, P. Walker (2001) **Building houses with local materials means to drastically reduce the environmental impact of construction**, *Building and Environment*, Vol. 36, No. 10, pp. 1119-1126.  
 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2010) **IPCC Fourth Assessment Report**, <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>, (2010.11.10.)  
 Lippiatt, B. C. (2003) *BEEs 3.0, building for environmental and economic sustainability-technical manual and user guide*, NSTIR 6916, National Institute of Standards and Technology (NIST).  
 Maria Jesus Gonzalez, and Justo Garcia Navarro (2006) **Assessment of the decrease of CO<sub>2</sub> emissions in the construction field through the selection of materials Practical case study of three houses of low environmental impact**, *Building and Environment*, Vol. 41, No. 7, pp. 902-909.  
 Mette Wiera, Katja Birr-Pedersenb, Henrik Klinge Jacobsenc, and Jacob Klok (2005) **Are CO<sub>2</sub> taxes regressive? Evidence from the Danish experience**, *Ecological Economics*, Vol. 52, No. 2, pp. 239-251.  
 PRÉ Consultants (2006) **Manuals and documentation**, <<http://www.pre.nl/download/default.htm>>, (2010.11.9).  
 Roger Sathre, and Leif Gustavsson (2007) **Effects of energy and carbon taxes on building material competitiveness**, *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 4, pp. 488-494.  
 (접수일: 2010.11.11/심사일: 2010.12.10/심사완료일: 2010.12.10)