

건설시설물 친환경 VE를 위한 환경비용 및 친환경가치모델 정립

김명진* · 김준수** · 김병수***

Kim, Myung-Jin*, Kim, Joon-Soo**, Kim, Byung-Soo***

Definition of Environmental Cost and Eco-VE Model for Eco-VE of Construction Facility

ABSTRACT

Paris Agreement of Climate Change seem affect to Korea eco-policy. Meanwhile the eco-design for reduce carbon emission have been applied in design phase of construction. However eco-design have applied passively except the project of eco-building system. For reflect eco-component in design, design VE that be applying to basic design and executing design phase of all construction project of over 10 billion should be use. But present applying VE Job Plan is reflecting partly eco-component, so the effect is small. Therefor new eco-VE development that reflect eco-elements to exist VE need. As the result of this study, the concept of environmental cost is defined to accounting. The calculation of the cost was using methods that apply CO₂ emission trading price, WTP, carbon productivity concept and carbon tax based on CO₂ emission. However, in order to apply eco-friendly VE at design phase, the model of new concept included carbon productivity concept is necessary. The eco-friendly VE model of new concept is model using CO₂ emission and potential environmental pollution index (PEPI). This study tried define eco-value model and environmental cost definition that become the major axle of eco-VE.

Key words : Paris agreement, Design VE, Eco-VE, Environmental cost, Eco-Value model

초 록

기후변화에 관한 파리협정(Paris Agreement)은 우리나라의 친환경정책에 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 그동안 건설공사의 설계단계에서 탄소발생량을 줄이기 위한 친환경설계가 적용되어 왔다. 그러나 친환경건축물 인증에 해당하는 프로젝트 외에는 소극적 적용에 그치고 있다. 설계에 친환경요소를 반영하기 위해서는 현재 100억 이상 모든 건설공사의 기본설계 및 실시설계단계에 적용되고 있는 설계VE(Value Engineering) 제도를 활용할 필요가 있다. 하지만 현재 적용되고 있는 VE Job Plan은 친환경 요소를 일부 반영하는데 그치고 있으므로 그 효과는 미미할 수밖에 없다. 따라서 기존 VE 기법에 친환경요소를 반영한 새로운 형태의 친환경VE 기법의 개발이 필요하다. 연구의 결과 환경비용의 개념은 회계학적으로 정의되고 그 비용의 산정은 이산화탄소 배출량을 기반으로 하는 탄소세, CO₂배출권 거래가격, 지불의사금액, 탄소생산성 개념을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있었다. 그러나 설계단계에서 친환경VE에 활용하기 위해서는 탄소생산성 개념을 포함한 새로운 개념의 모델이 필요하다. 새로운 개념의 친환경VE모델은 CO₂배출량과 잠재적환경오염지수를 사용하는 모델이다. 본 연구에서는 친환경VE의 한 축을 담당할 환경비용에 대한 개념과 친환경가치모델을 정립하고자 하였다.

검색어 : 파리협정, 설계VE, 친환경 VE, 환경비용, 친환경가치모델

* 경북대학교 토목공학과 석사과정 (Kyungpook National University · lovejin88@naver.com)

** 정희원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정 (Kyungpook National University · kimjoonsoo@knu.ac.kr)

*** 종신회원 · 교신저자 · 경북대학교 토목공학과 정교수 (Corresponding Author · Kyungpook National University · bskim65@knu.ac.kr)

Received August 4, 2016/ revised August 17, 2016/ accepted August 31, 2016

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 공표된 기후변화에 관한 파리협정(Paris Agreement)은 탄소배출량 8위인 우리나라의 친환경정책에 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 그동안 건설공사의 설계단계에서 탄소발생량을 줄이기 위한 에너지 저감대책, 패시브디자인(Passive Design), LCA (Life Cycle Assessment) 분석 등의 친환경설계가 적용되어 왔다. 그러나 친환경건축물 인증에 해당하는 프로젝트 외에는 소극적 적용에 그치고 있다.

그나마 친환경건축물 인증도 에너지사용량 저감에 치중하고 있어 종합적인 친환경설계라고 하기엔 무리가 있다. 설계에 친환경요소를 반영하기 위해서는 현재 100억 이상 모든 건설공사의 기본 설계 및 실시설계단계에 적용되고 있는 설계VE 제도를 활용할 필요가 있다. 정부는 설계VE 제도를 통하여 매년 약 3%의 예산을 절감할 뿐 아니라 시설물의 기능 및 성능을 향상시키는 성과를 거두고 있다(Kim, 2014). 하지만 현재 적용되고 있는 VE Job Plan은 친환경 요소를 일부 반영하는데 그치고 있으므로 그 효과는 미미할 수밖에 없다. 따라서 기존 VE 기법에 친환경요소를 반영한 새로운 형태의 친환경VE 기법의 개발이 필요하며 이를 위해서는 친환경비용과 친환경VE모델에 대한 개념을 정립할 필요가 있다.

본 연구는 100억 이상의 건설시설물 설계 시 반드시 실시해야 하는 설계VE에 친환경 요소를 반영한 친환경VE 개발에 활용될 친환경비용과 친환경가치모델에 대한 개념을 정립하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 논문은 친환경 VE에서의 환경비용의 타당성을 확보하기 위하여 환경비용에 대한 선행연구를 바탕으로 환경비용의 기본 개념과 사용범위 조사를 실시한 후 도출된 환경비용의 개념을 확인하였다. 환경비용의 정립범위는 경제학적 환경비용에서 정의하는 내용을 바탕으로 분석범위를 정하고 환경비용의 제도적, 측정 방법을 파악하고 현재까지 연구된 환경비용 기존연구를 통해 친환경VE에서의 환경비용에 대해 정립하고자 한다. 또한 환경비용의 개념을 이용하여 친환경가치모델을 정립하고자 한다.

1.3 선행연구동향

환경비용 및 친환경VE를 다룬 선행연구동향을 분석한 결과 많은 연구자가 CO₂발생량에 따른 환경비용 산정을 다루었고 회계학적으로 환경비용을 정의하고 분류한 연구도 있었으며 대기오염비용, 환경보전비용 등의 환경오염비용과 여기에 환경세, 탄소세를 추가하여 연구하였다. 그 외 설문조사를 활용하여 환경비용 지불의

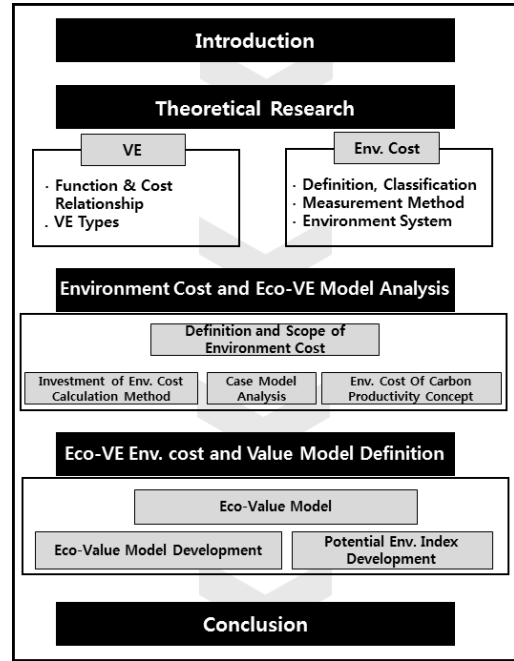


Fig. 1. Research Process

사와 LCA환경부하량을 환경비용으로 전환한 연구도 있었다. 이러한 선행연구의 내용은 다음과 같다.

Lee (1999)은 환경회계에 관련된 문헌을 중심으로 환경비용의 분류와 정의를 제시하고 환경비용 측정과 공시의 이론적 배경 및 개념적 구조를 살피고 측정사례를 검토하였다.

Park (2000)은 기업 환경오염비에 대한 연구로서 회계 측정 제도화를 중심으로 환경오염비의 정확한 측정 및 계산절차를 다뤘다. 회계처리의 일관성과 환경오염비 항목을 별도로 표시하여 비교 가능한 재무제표를 작성함으로써 환경오염비 회계처리 기준의 발전방향을 제시하였다.

그리고 Lee (2000)는 전력사업의 환경비용을 중심으로 기업의 부 이해관계자에게 공시하는 환경비용의 측정방법에 관하여 전력 산업에서 주류를 이루는 환경비용인 대기오염비용을 중심으로 연구하였고 환경비용 분류는 광의의 분류법과 발생원천별 분류법으로 나누었다.

Lee (2006)은 그린소비자의 환경비용 지불의지에 관한연구로 그린소비자와 환경경영 및 환경마케팅에 관한 선행연구를 토대로 하여 가설을 설정하고 검증한 후 시사점과 결론을 도출하였으며, 환경비용은 오염발생의 원천인 기업이 부담하는 환경원가와 기업이 부담하지 않는 사회가 받는 손실로 나누어 정의하였다.

Cho (2015)는 기업의 사회적 책임 인식이 환경회계정보 측정 및 공시에 미치는 영향에 대하여 분석하고 기업의 성과 달성을 측정하는 새로운 척도인 환경보전비용과 연계한 지속가능경영이

될 것이라는 근거를 제시하였으며 환경비용은 환경보전비용과, 환경오염비용으로 나누었다.

Choi (2005)는 국내 건축산업에서 발생하는 자재생산 및 자재생산 시 발생할 수 있는 환경비용을 정량화 하고 LCA기법을 이용하여 환경부하간의 가중치를 이용하여 환경부하량을 환경비용으로 전환할 수 있는 환경비용산출모델을 개발하고 환경비용의 활용성 및 환경성능을 검토하였다.

Kim (2008)은 기존의 LCC 모델에 전 생애주기 동안의 생애비용 (ECO-Cost)을 포함하여 신개념의 포괄적인 비용구조를 제시하였고, 일반적인 환경비용에 환경세 등 다분야 비용을 포함시켜 이를 G-Dex방법론이라 정의 하고 환경-성능-비용평가-가치평가 순서로 분석하였다.

Yun (2009)은 환경시설을 대상으로 정량적인 산출을 위한 환경부하평가 기법을 활용하여 환경영향범주별 소요되는 환경부하량을 산정하여 환경비용을 예측하고 건설 시 합리적이고 경제적인 의사결정을 위한 통합비용 분석기법을 제안하였다.

Cha (2010)은 해체공사에서 배출된 건설폐기물을 해체단계에서 최종처리단계까지 건설폐기물 종류별로 처리된 방식에 따라 CO₂ 발생량과 그에 따른 환경비용 산정을 목적으로 건설폐기물 종류별 수송거리에 따른 총 환경비용에 대하여 연구하였다.

Han (2010)은 건축물의 시공단계에 투입되는 자재의 생산은 물론 공법에 따른 건설자재와 건설장비의 투입으로 인해 발생하는 이산화탄소 배출량을 정량적으로 산정하는 방법을 제안하고 특정 공사의 공법들을 대상으로 이산화탄소 배출량을 분석하여 보다 친환경성이 높은 공법을 선정하는 방안을 제시 하였다. 지정공사, 흙막이공사, 거푸집공사를 대상으로 공법별 이산화탄소 배출량을 분석하였다.

Jang (2012)은 그린VE 개발단계에서 기존의 비용 및 성능분석 뿐 아니라 이산화탄소 배출량 측정도구인 LCA를 접목하여 VE제안에 대한 의사결정 시 친환경요소를 고려할 수 있도록, 산업연관분석법에 의한 건설자재의 원단위 DB를 바탕으로 표준품셈 및 내역서 기반의 CO₂ 배출량 원단위 작성 절차를 제안하였고, 골조공사 대표자재 및 장비에 대한 CO₂ 배출량 원단위 DB를 작성하였다.

Noh (2010)는 BAU (Business As Usual)대비 30%의 이산화탄소 감축을 목표로 탄소세를 도입하고, 탄소세를 통해 거두어들인 세수의 일정액을 R&D투자에 활용하는 방안을 분석하고, 탄소세를 부과하면 화석연료의 상대가격이 상승하기 때문에 비용부담을 회피하는 과정에서 1차적으로 기술변화가 유인되나 탄소세수를 지출하는 과정에서 유인된 기술변화(ITC : Induced technological change)가 탄소감축에 따른 경제적 손실을 최소화하고, 더 나아가 플러스 경제성장을 가능케 하는지 분석하였다.

Kang (2013)은 그린VE (GValue) 모델을 제안하였다. GValue

는 일반적인 VE값에 환경VE 값을 더한 값으로 표현하였다. 환경부하량을 비용으로 나타낸 환경비용(Ce)은 탄소배출권 거래가격을 기반으로 하고 친환경가치를 평가하기 위해 일반기능(Fo)과 친환경기능(Fe)을 따로따로 분석하고 평가하도록 규정하고 있다.

하지만 이러한 연구들은 환경비용을 종합적으로 정립하지 못하고 비용 산정 방법에서도 설문조사, 직접피해비용조사, 세금부과제도, 탄소배출권거래가격 이용과 같이 다양한 방법을 사용하였지만 설계단계에서 친환경VE에 곧바로 적용하기 위해서는 종합적인 분석이 필요하다.

2. 이론적 고찰

2.1 가치공학(Value Engineering : VE)

건설산업에서의 VE를 정의하면 「최저의 생애주기비용(life cycle cost)으로써 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 건설시스템의 기능분석 및 기능설계에 쏟는 조직적인 노력」으로 나타낼 수 있 VE활동은 준비단계, 분석단계, 실행단계 등의 과정으로 나눌 수 있으며, 구체화 된 수치로 정량적으로 분석하는 특징을 가지고 있다(Kim, 1999).

건설사업을 수행함으로써 달성하고자 하는 가치는 비용, 성능, 시간의 요소로서 구성이 되며, 이러한 요소들의 적절한 균형을 유지하여 최적의 가치를 달성하는 것이 중요하다. VE활동에서는 최적의 가치를 달성하기 위하여 정성적인 접근보다는 구체적인 수치로써 정량적으로 분석하는 특징을 가지고 있다. Table 1은 VE에서의 기능과 비용과의 관계를 설명한다.

가치를 향상시키는 형태는 4가지로 분류할 수 있다. 첫째로 기능을 일정하게 유지하면서 코스트를 낮추고 두번째로 기능을 향상시키면서 코스트는 그대로 유지하며 세 번째로는 기능을 향상

Table 1. Relationship of Function and Cost

Div.	Contents
Value Criteria	$V = F/C$ (Function/LCC) V : Value Index
Function	Consideration of the thinking of function focus
Value	Increasing of value index is desirable
Life Cycle Cost	life cycle cost is the sum of all initial cost and maintenance cost

Table 2. Types of VE

Div.	①	②	③	④
Function	→	↗	↗	↗
Cost	↘	→	↘	↗
	V.E	Value & Design		

시키면서 코스트도 낮춘다. 마지막으로 코스트를 추가시키지만 그 이상으로 기능을 향상 시킨다. Table 2는 4가지 유형의 가치향상의 형태를 나타낸 것이다.

2.2 환경비용의 정의

환경비용이란 선행사례들을 보았을 때 사회적 비용에서 유래되었으며, 자연환경에 대한 파괴, 오염, 보전을 위한 비용으로 정의된다. 환경비용은 크게 두 가지로 직접비용과 간접비용으로 나눌

Table 3. Classification of Environmental Cost

Main	Middle	Sub Category	
Environmental Pollution Cost	Environment Damage Cost	Air	
		Water	
		Land	
		Pesticide	
		Radiation	
		Thermal Cracking	
		Toxicology	
		Odor Emissions	
		Environmental Destruction	Noise
	Vibration		
	Industrial Waste		
	Subsidence of Land		
	Sunlight Infringements		
	Adding Harmful Food		
	Water Shortages		
	Destruction of Natural Landscapes		
	Environmental Conservation Cost		Environmental Pollution Prevention Costs
		Operation Maintenance of Environmental Equipment	
Factory Planting			
Environmental Remediation			
Raw Material Conversion and Pollution Avoidance			
Non-Pollution Public Relation			
Environmental Pollution Prevention Training			
Environmental Pollution Measure			
Waste Treatment Cost		Waste Incineration	
		Waste Burial Treatment	
		Effective	
Environmental Pollution Compensation Cost		Compensation	
		Animals and Plants Compensation	
Environmental Pollution Test research cost		Improvement of the Manufacturing Method	
		Reduction of Pollution Control	
		Development of By Products and Joint Products	
		Etc.	
Legal and Institution Cost		Contractor charges	
		Environmental pollution fine	
		Environmental pollution charges	
		Other institutional relation costs	

수 있으며, 직접비용은 환경오염비와 같이 환경자체의 피해비용을 의미하며, 광범위하여 구체적인 정의를 하기 어려우며, 간접비용은 환경비용의 범위 중 환경보전비와 같이 방지비, 보상비, 제도적비용 등 구체적 정의가 가능하다(Lee, 1999).

직접비용과 간접비용의 산정은 대기오염에 의한 피해비용, 생태계피해에 대한 목적세 형태의 비용, 배출에 의한 배출권거래비용 등을 통해 정량화하는 방안을 도입하고 있다. 그러나 직접비용은 대기, 수질, 토양피해비용 등 사례가 드물고 측정이 어려운 광범위한 범위에 있다. 간접비용은 환경오염방지비, 환경오염보상비 법률적 비용 등 자료조사를 통한 범위에서 측정이 가능하다. 그리고 환경비용은 Table 3에서와 같이 크게 두 가지로 구분 할 수 있다. 첫째는 환경오염비이고 다른 하나는 환경보전비이다.

2.3 환경비용 측정방법

환경비용의 측정방법은 다음의 4가지로 구분할 수 있다. 첫째, 조사법은 환경오염을 회피하기 위해 지급하는 화폐금액 즉, 환경오염을 견디어 내기 위해 지급하여야 하는 화폐금액을 결정하는데 사용되며 실제 경험자료를 얻는데 이용된다. 둘째, 분석법은 여러 가지 원천자료로부터 정보를 추출하는 기법으로 현존자료로부터 환경비용 추정에 유용하다. 셋째, 방지비용 추정법의 경우 손실을 방지하는데 요구되는 비용을 실제비용에 대한 대체물로서 사용하는 방법 이며, 손상을 입은 실체가 방지행동을 취함으로써 그러한 손실을 방지하는데 적절하고, 마지막 네 번째로 회복비용 추정법은 방지비의 추정과 같은 방식으로 적용되고 손실이 발생된 때부터 가능하다면 완전히 회복 될 때까지 비용을 포함하는데 주의하여야 한다.

2.4 환경적 제도

환경적 제도는 경제적 유인 제도와 예방적 제도로 구분 할 수 있다. 경제적 유인 제도는 오염물질이 상호간의 관계를 고려할 수 있고 전국적인 환경오염에 대해 규제할 수 있으며 또한, 경제적·사회적 정책과의 연계관계를 잘 고려할 수 있다는 장점이 있다.

경제적 유인제도의 소분류로는 환경개선부담금제도, 배출부과

Table 4. Calculation Method of Environmental Cost (Lee, 2000)

Main	Middle	Sub Category
Calculation Method of Environmental Cost	Investigation	Allowance cost to avoid environment pollution
	Analysis	Method that extracts information from various source data
	Estimation of Prevention Cost	Method that use cost required for prevent damage as substitute to real cost
	Estimation of Restoration Cost	Same as above

금 제도, 폐기물예치금제도로 나뉜다. 예방적제도의 소분류로는 폐기물부담금제도, 환경영향평가, 수질개선부담금제도, 사전협의 제도, 수질사고예방, 자율적 환경관리 기반조성, 환경마크제도가 있다. Table 5는 환경적제도를 정리한 것이다.

2.5 회계학적 환경비용

친환경VE에 사용될 환경비용에 대한 범위를 파악하기 위해 회계학적 연구를 중심으로 Table 6과 같이 정리하였다. Table 6에서 환경비용은 환경오염에 따른 환경오손비와 환경과피비로 분류하였으며 환경오염을 미연에 방지하기 위해 필요한 환경오염 방지비, 폐기물처리비, 환경오염보상비 그리고 법률적, 제도적 비용을 포함하는 환경보전비로 분류하였다. 그러나 기업 환경비용에 대한 연구에서는 환경비용의 정확한 측정 및 계산으로 회계처리의 일관성과 환경비용 항목을 별도로 표시하여 비교가능한 재무제표를 작성함으로써 객관성과 신뢰성을 높이는데 의미를 주었다. 이에 필요한 환경복원비, 폐기물소각처리비, 동식물재산보상비와 같은 환경보전비를 더 비중있게 정의하였다.

따라서 환경비용은 그 사용목적에 따라 환경오염비와 환경보전비의 세부항목을 정의하고 적용하는 것으로 조사되었다.

이와 같이 회계학적 연구동향에서는 환경보전비용 및 환경오염 비용을 기준으로 포괄적인 내용을 다루고 있으며, 환경비용 발생에 대해 분류하고 있으나, 직접적인 계산값과 계산방식에 대해서는 제시하지 않고 있기에 실질적 계산에는 적용이 될 수 없는 한계점이 있으며 친환경VE에 활용하기 위해서는 별도의 계산방법에 대한 연구가 필요하다.

3. 환경비용 산정방식 고찰

현재 우리나라에서 환경비용 산출 시 가장 많이 사용하고 있는 모델은 조건부가치추정법과 LCC-LCA 통합산출법이며 두 가지

Table 5. Environmental System

Main	Middle	Sub Category
Environmental System	Economical Flexibility	Environmental improvement share cost
		Emission taxes
		Waste deposit
	Preventive System	Waste sharing
		Water improvement allotment
		Environmental effects evaluation
		Prior consultation
		Water pollution prevention
		Self environmental control foundation
		Environmental mark system

Table 6. Environment Cost Scope

Main	Middle	Sub Category	Lee (1999)	Park (2000)	Lee (2000)	Lee (2006)	Cho (2015)
Environmental Pollution Cost	Environment Damage Cost	Air	○				
		Water	○		○	○	○
		Land	○		○	○	
		Pesticide	○				
		Radiation	○				
		Thermal Cracking	○				
		Toxicology	○				
		Odor Emissions	○	○	○		
	Environmental Destruction	Noise	○	○	○	○	○
		Vibration	○	○	○	○	○
		Industrial Waste	○			○	○
		Subsidence of Land	○				
		Sunlight Infringements	○				
		Adding Harmful Food	○				
		Water Shortages	○				
Destruction of Natural Landscapes		○					
Environmental Conservation Cost	Environmental Pollution Prevention Costs	Environmental Pollution Prevention Equipment	○		○	○	
		Operation Maintenance of Environmental Equipment	○	○	○	○	○
		Factory Planting	○				
		Environmental Remediation	○	○		○	
		Raw Material Conversion and Pollution Avoidance	○	○			
		Non-Pollution Public Relation	○	○			
		Environmental Pollution Prevention Training	○				○
		Environmental Pollution Measure	○				
	Waste Treatment Cost	Waste Incineration	○	○	○	○	○
		Waste Burial Treatment	○	○	○	○	
		Effective	○	○		○	
	Environmental Pollution Compensation Cost	Compensation	○	○	○		
		Animals and Plants Compensation	○	○	○		
	Environmental Pollution Test research cost	Improvement of the Manufacturing Method	○	○	○	○	
		Reduction of Pollution Control	○	○		○	○
		Development of By Products and Joint Products	○				
		Etc.	○				○
	Legal and Institution Cost	Contractor charges	○	○	○		○
		Environmental pollution fine	○	○	○	○	○
		Environmental pollution charges	○	○	○	○	○
Other institutional relation costs		○	○				

방법의 특징은 다음과 같다. 그리고 외국에서는 탄소생산성 개념을 활용하고 있다.

3.1 조건부가치측정법(CVM)

조건부가치측정법(CVM)은 건설사업의 시행이 환경에 미치는 영향의 화폐적 가치를 평가함에 있어서 시장자료를 구할 수도 없고 대리시장을 통한 간접적인 분석도 어려운 경우 가상적 시장을 설정하고 설문조사를 통해 영향을 받게 되는 사람들에게 환경피해의 방지를 위하여 혹은 환경개선을 위한 최대 지불의사액(WTP)을 직접 묻거나, 표현된 구매의도를 통하여 수요곡선을 추정하는 방법이다.

그러나 지불의사액(WTP)을 조사할 경우 개인면담을 통한 설문 조사를 필요로 하는데 비용과 시간이 많이 들며, 응답자에게 친숙하지 않은 예산결정을 하도록 요구한다는 단점이 있다. 또한 이해되기 쉽게 설득력 있고 의미 있는 시나리오를 필요로 하고, 가정사항으로 인해 여러 가지 변수가 발생한다는 한계점이 있어 친환경 설계VE 환경비용 산출에는 부적절하다.

3.2 LCC-LCA 통합산정법

통합산출법은 전 생애에 걸쳐 발생하는 모든 환경부하에 대해 환경비용을 산출하는 방법으로서 분석하고자 하는 환경부하가 발생시키는 총체적인 환경영향에 대해 경제적 가치로 환산하는 것이 목표이다.

기준이 되는 어느 특정 환경비용에 대한 사회적 간접비용을 알 경우, 영향범주 내 환경부하의 가중분석을 통해 모든 환경부하목록에 대한 환경비용을 배출권거래가격을 활용하여 산출한다. 그러나 실제분석자가 접할 수 있는 환경비용은 극히 제한적인 경우가 대부분이기 때문에 분석과정은 다소 회의적인 측면이 나타난다는 한계점이 있다.

또한, 탄소배출권거래가격은 경제적 효력이 없는 것으로 판단된다. 탄소배출권거래가격은 시장경제의 원리를 이용한 것인데 이것은 할당된 배출권의 양과 세계경제상황에 영향을 받는다. 현재 유럽에서의 배출권 거래가격은 도입초기에 비해 현저히 하락하여

거래되고 있다. 그 이유는 배출권거래제도를 도입한 초기에 기업에게 너무 많은 탄소배출권을 제공하였고 경기침체로 인한 생산량 감소가 맞물려 배출권 수요가 감소하였기 때문이다. 또한 2015년에 거래제를 시작한 우리나라는 도입초기에 있으며 아직 거래가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 배출권거래가격을 이용한 환경비용 산정은 거래가격의 급격한 변동으로 인해 환경비용으로서의 기능을 하기에는 다소 무리가 있다.

LCC-LCA 통합산정 연구를 소개하면 Table 7과 같다. 환경비용을 포함하는 통합산정 개발 연구가 활발히 진행 되고 있으며, 진행 중인 연구사례에서는 각각 다른 방법으로 모델을 제시 하고 있다. 통합산정법은 LCA를 통해 제시되는 환경부하간의 상대적인 환경영향도를 분석 한 후, 배출권거래가격을 이용한 즉, CO₂의 환경비용을 기준으로 타 환경부하와의 가중분석을 통해 환경비용을 산출하는 방법이다.

Park (2007)는 건설물에서의 기계설비 관련공사를 기준으로 환경 및 경제성에 대한 평가를 수행하였다. 평가를 위해 이용 된 수식에 대한 설명은 다음과 같다.

$$Env Cost = \sum_{R=1}^n (ecost_{sta} \times (Optl_{result sta} \div Optl_{result k})) \quad (1)$$

- EnvCost = Total Env. Cost in Evaluation effect Category (won)
- ecost_{sta} = Env. Cost for Criteria Env. Load(g/won)
- n = Env. Load Amount
- Optl_{result sta} = Weight Analysis Result for Criteria Env. Load (LCIA)
- Optl_{result k} = Weight Analysis Result for Target Env. Load (LCIA)

환경부하량을 도출하기 위한 데이터베이스 구축이 필요하여 설계원안과 대안을 비교분석 하였다. 대안비교 분석 시 자체생산

Table 7. LCC-LCA Integration Calculation Research

Div.	Model	Contents	Characteristic
Park (2007)	V=F/(E×O)	E : Eco-Cost for Environmental Load O : Weight Analysis Value Environmental Load	Environmental Load is calculated by LCA method.
Kim (2008)	V=P/(LCC+LCECA)	LCECA : Life Cycle Environmental Cost Analysis	
Yoon (2009)	TC=C+EC	TC : Total Integration Cost C : LCC EC : Environmental Cost	Environmental Cost use carbon emission trading cost.

투입물질에서 발생하는 8개의 환경영향 범주 내 가중치방법을 적용한 16개(Co2, So2 등)의 부하목록을 고려하였다. 그리고 Co2 기준으로 환경에 미치는 상대적인 영향비율을 분석한 후 배출권거래가격을 반영한 Co2의 총비용산출 법을 기준으로 16개의 부하목록에 대한 환경비용을 산출하였다.

설계원안과 설계대안 별로 경제성 및 환경이 통합평가된 결과를 비교분석하기 위해 통합산출법을 통한 통합산출값 $EnvCost$ 는 $Optl_{result\ sta}$ 에 $Optl_{result\ k}$ 을 나누어 설계안 기준의 대안 값을 구한 후 $Optl_{result\ k}$ 를 곱하여 산출한 값을 의미한다.

Kim (2008)은 환경사업 프로젝트 수행 시 환경부하와 환경비용을 고려한 통합평가방법을 제시하는 것을 목표로 G-DEX (Green Cost Index Methodology)라는 방법론을 제시 하였다. 이방법론은 우선으로 LCA를 수행하여 그 자료를 바탕으로 성능평가 및 비용평가를 통한 가치점수가 가장 높은 안을 최적 안으로 선정하는 것으로 LCC-LCA 통합평가로써 환경성과 경제성을 동시에 고려한 의사결정방법이다. 이에 대한 적용공식은 다음과 같다.

$$V = P / C_E \quad (2)$$

$$C_E = LCC + LCECA$$

LCC = Life Cycle Cost

LCECA = Life Cycle Environmental Cost Analysis

Yun (2009)은 환경시설물을 대상으로 정량적인 환경부하량을 산출하여 환경비용으로 환산하여 전과정 동안 소요되는 LCC와 종합하여 환경성 및 경제성 통합비용을 예측하기 위하여 통합모델을 제시하였고, 수식은 다음과 같다.

$$TC = \sum_i (C_i + EC_i) = (C_I + C_M) + (EC_I + EC_M) \quad (3)$$

TC = Total Integration Cost for Life Cycle

C = Each stage LCC

EC = Env. Cost by Carbon Emission Trading Cost

i = Life Cycle Phase

I = Initial Construction Cost

M = Maintenance Phase

3.3 탄소생산성 개념의 환경비용

Mckinsey 보고서(2008)에서는 탄소생산성 개념을 제시하였다. 탄소생산성은 온실가스 감축에 따른 GDP 감소요인을 상쇄시키는 GDP증가요인으로서 최근 온실가스 감축과 지속적인 성장을 강조하는 녹색성장에 부합하는 새로운 개념이다.

이 연구는 지속적인 성장을 위한 기준지표로 활용되고 있으며, 이에 사회 전반적으로 온실가스 감축과 지속적인 성장을 강조하는 녹색성장의 시대에 탄소생산성은 중요한 개념으로 인식되고 있다. 탄소생산성은 온실가스 감축에 따른 GDP 감소요인을 상쇄시키는 GDP증가요인으로서 2008년 McKinsey Global Institute에 의해 처음으로 제시되었다.

2050년에 전 세계 대기 중 온실가스를 500 ppmv로 안정시키기 위해서는 전 세계 온실가스를 2009~2050년 기간 동안 연평균 배출량을 2.4% 감소해야 한다. 우리나라는 2009년 11월에 발표한 국가온실가스 감축목표에 따르면 2020년 온실가스를 배출전망치 대비 30% 감축하기로 하였다.

탄소생산성을 GDP 대비 탄소 집약도(Carbon Intensity)의 역수로서 온실가스 배출량 단위당 GDP의 비율을 나타낸다. 탄소생산성은 Eq. (4)의 Kaya Identity 공식을 기초로 하였다. 여기서는 E는 에너지소비량, P는 인구를 뜻한다(Kim, 2009).

$$CO_2\text{배출량} = \left(\frac{CO_2}{E}\right) \times \left(\frac{E}{GDP}\right) \times \left(\frac{GDP}{P}\right) \times P = \left(\frac{CO_2}{GDP}\right) \times GDP \quad (4)$$

이상과 같이 국내의 환경비용 산정방식을 고찰한 결과 국내의 방식은 시간과 노력이 많이 투입되고 시기에 따라 가변적인 가격을 사용한다는 단점이 있었으며 국외의 탄소생산성 개념은 국가단위로 적용할 경우 효과적이므로 개별 시설물 단위의 친환경VE모델 개발에는 적절하지가 않다.

4. 친환경가치모델

4.1 친환경가치모델 개발

친환경가치모델은 Kang (2013)에 의해 제시된 적이 있다. Eq. (5)에서 보면 그린VE (GValue)는 일반적인 VE값에 환경VE 값을 더한 값으로 표현되어 있다.

$$GValue = V_o + V_e \quad (5)$$

GValue = Optimized Cost Effect that User perform the necessary function and the environmental function simultaneously keeping Quality

V_o = General Fo/Co

V_e = Fe/Ce

Fe = Environmental Function

Ce = Environmental Cost that represent environmental Load in a cost

환경부하량을 비용으로 나타낸 환경비용(Ce)은 탄소배출권 거래가격을 기반으로 하기 때문에 앞서 언급한 모델들과 큰 차이가 없다. 그리고 친환경가치를 평가하기 위해 일반기능(Fo)과 친환경기능(Fe)을 따로따로 분석하고 평가해야 하므로 실행시 그만큼 노력과 시간이 더 필요하다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위한 새로운 친환경가치모델이 필요하다.

본 연구에서 제안하는 친환경가치모델은 기존 VE 가치평가 공식과 McKinsey Global Institute의 탄소생산성 개념을 접목시킨 것으로 공식은 Eq. (6)과 같다.

$$EV = \frac{EF}{LCC \times CO_2 Emission \times PEPI} \quad (6)$$

- EV = Eco-Friendly VE
- EF = Eco-Function
- LCC = Life Cycle Cost
- PEPI = Potential Environmental Pollution Index

수식의 EV (Eco-Value)는 친환경VE를, EF (Eco Function)는 설계항목의 친환경요소를 뜻하며 건축물 친환경 인증평가항목, LEED, BREEAM 등에서 활용하고 있는 친환경 평가항목을 수정하여 사용하고자 한다. 친환경 평가항목이란 건축물의 친환경 성능

Table 8. Eco Evaluation Article (Kim, 2010)

Div.	LEED	BREEAM
Evaluation Article	Architecture Material	Maintenance
	Construction Waste Treatment	Health & Well-Being
	Energy Countermeasures	Energy
	Exist Building Amount	Transportation
	Interior Air Quality	Water Resource Efficiency
	Landscaping/Outside Design	Construction Material
	Recycle Device Installation	Trash
	Operation and Control Facility	Land Planning
	Forbid of Ozone Layer Destroy Material	Ecology Environment
	Position Selecting	Environmental Pollution
	Transportation Relationship	Innovation
	Water Resource Preservation	
	Water Quality	

에 대한 평가 실행과 설계 방법론과 가이드를 제공함으로써 친환경적인 개발과 지속가능한 건축물의 개발을 유도하는 제도이다(Yoon et al., 2011).

Table 8에 친환경평가항목을 나타내고 있으며 친환경가치모델에서는 친환경평가항목과 일반기능을 VE대상의 성격에 맞게 구성하여 사용하고자 한다. 산출방법은 프로젝트의 특성에 따라 시설물의 기능적 요소와 친환경 평가항목 요소를 바탕으로 전문가들의 주관적 관점을 객관화 할 수 있는 AHP를 이용하여 환경성 평가기준의 가중치를 산출한다.

LCC는 설계에 대한 공사비로써 재료비, 장비비, 인건비와 이에 대한 간접경비로 구성되며, CO₂ 배출량은 제품과 시스템의 설계도서 및 견적서 등으로부터 제품이 만들어지기 위해 투입되는 모든 물질의 종류와 양으로부터 환경부하 부산물을 추정하는 개별적산법과 산업의 최종 수요금액으로부터 궁극적으로 유발되는 에너지 소비량과 환경부하량 등을 구하는 산업연관분석법이 있다.

그리고 건축물과 같이 다양한 제품이나 시스템의 공정이 있는 경우에는 단계별로 환경부하량을 구할 수 있는 조합법이 있다. 결국 기존 개별적산법, 산업연관법, 조합법을 우리나라 건설 환경에 알맞은 형태로 수정 후 본 모델에 반영한다면 CO₂ 배출량을 산정할 수 있을 거라 기대 할 수 있다.

잠재적 환경지수(Potential Environmental Pollution Index : PEPI)는 시설물이 시공 된 후 발생 될 수 있는 환경비용의 측정이 어렵기 때문에 Figs. 2 and 3의 잠재적 환경오염지수 측정평가지를 활용하여 친환경 VE 설계의 원안과 대안을 비교하여 더 큰 환경비용 발생의 가능성을 정량적으로 표현 할 수 있다.

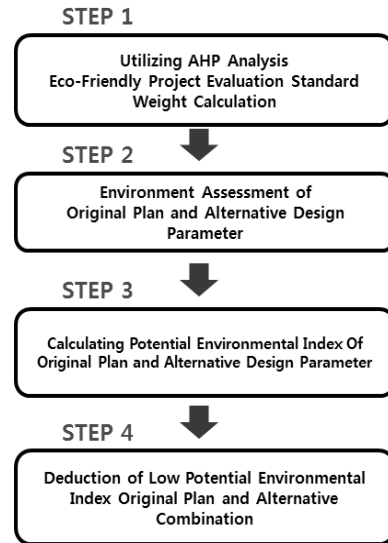


Fig. 2. Potential Environmental Index Calculation Process

Grade		Serious ← Common → No Serious					
		7 6 5 4 3 2 1					
		Env. Damage	Env. Demolition	Env. Pollution	Waste Treatment	Env. Pollution Compensation	Legal and Institution Cost
D1	Orgnl						
	Alt.						
D2	Orgnl						
	Alt.						
D3	Orgnl						
	Alt.						
D4	Orgnl						
	Alt.						
D5	Orgnl						
	Alt.						

Fig. 3. Potential Environmental Index Evaluation Sheet

4.2 잠재적 환경지수의 도출

회계학적으로 정의한 환경오염비와 환경보전비의 개념은 아직 발생하지 않은 비용을 대상으로 하고 있으므로 설계단계에서 추정하기에는 불확실성이 너무 크다. 따라서 잠재적인 환경오염에 대비하기 위한 비용으로 인식하고 이를 잠재적인 환경비용이라 정의하는 것이 타당하다. 이러한 잠재적 환경비용을 지수화 한 것이 잠재적 환경지수이다.

잠재적 환경지수를 도출하기 위해서는 친환경 VE 실행 시 원안과 대안의 간접비교방법으로 잠재적 환경지수를 도출한다. 첫 번째로 개인이나 그룹의 주관적이고 개인적인 선호도를 알고자 할 때 객관적 수리모형을 제공하는 AHP기법을 활용(Choi et al., 2011)하여 VE팀이 친환경 VE 프로젝트에 알맞은 7가지 환경성 평가기준의 가중치를 구한다.

그리고 원안 및 대안의 설계항목별 환경성 평가를 실시 한 후 잠재적 환경지수를 Fig. 3의 평가표를 활용하여 산출한다. 산출방법은 VE팀이 설계항목별 원안 및 대안의 시설물이 시공 된 후 발생 가능한 환경성 평가기준의 환경오염비의 심각성을 1~7점으로 측정한다. 그리고 AHP를 통해 얻은 환경성 평가기준의 가중치를 곱하여 각 설계 항목별 잠재적 환경오염지수를 구한 후 지수 값이 낮은 원안 및 대안을 도출한다. 마지막으로 잠재적 환경지수가 낮은 대안 및 원안 설계항목 조합의 지수를 합산한 값은 Eq. (6)의 잠재적 환경지수(PEPI)로 활용한다.

5. 결론

본 연구는 100억 이상의 건설시설물 설계 시 반드시 실시해야 하는 설계VE에 친환경 요소를 반영한 친환경VE모델 개발에 활용될 환경비용 및 친환경가치모델에 대한 개념을 정립하고자 하였다.

연구의 결과 환경비용의 개념은 회계학적으로 정의되고 그 비용의 산정은 이산화탄소 배출량을 기반으로 하는 탄소세, CO₂배출권 거래가격, 지불의사금액을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있었다. 그리고 드물게 탄소생산성 개념을 활용하고 있다.

그러나 설계단계에서 친환경VE에 활용하기 위해서는 다음과 같은 새로운 개념의 적용이 필요하다. 탄소생산성 개념의 적용방법을 제안한다. 설계단계에서 원안에 대한 대안을 개발하고자 할 때 GDP대신 생애주기비용(LCC)과 CO₂배출량과 잠재적환경오염지수를 사용하는 모델이다. 이것은 탄소배출권거래가격을 사용하는 것 보다 훨씬 안정적이다. 또한, 회계학적으로 정의한 환경오염비와 환경보전비의 개념은 아직 발생하지 않은 비용을 대상으로 하고 있으므로 설계단계에서 추정하기에는 불확실성이 너무 크다. 따라서 잠재적인 환경오염에 대비하기 위한 비용으로 인식하고 이를 잠재적인 환경비용이라 정의하는 것이 타당하다.

본 연구에서 제시한 환경비용에 대한 새로운 정의를 실제 설계단계의 친환경VE에서 적용하기 위해서는 사례적용연구를 추가적으로 진행할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2014R1A2A1A11051065).

References

Cha, G. W. (2010). A Study on the Calculation of CO₂ Emissions

- and Environmental Cost according to Construction Waste, Master Thesis, Kyungpook university (in Korean).
- Cho, C. H. (2015). A study on Effect of Corporate Social Responsibility Recognition on the Measurement & Disclosure of Environmental Preservation Expenses and Sustainable Management, Master Thesis, Seokyeong university (in Korean).
- Choi, J. W., Jung, H. Y. and Jang, S. Y. (2011). "Development of decision making model of measures on the decrease of traffic accident following implementation of intra-city bus by using AHP." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers D*, KSCE, Vol. 31, No. 5D, pp. 679-687.
- Choi, P. H. (2005). A Study on the Development of a Computation Model for Environmental Cost using Life Cycle Assessment, Master Thesis, Suwon university (in Korean).
- Han, S. W. (2010). A Study on Carbon Dioxide Emission of Input Resources according to Construction Method in Construction Phase, Master Thesis, Graduate School University of Seoul (in Korean).
- Jang, D. W. (2012). Unit Data and Estimating Process of Co₂ Emissions with Structural Work BoQ for Green VE, Master Thesis, Graduate School University of Seoul (in Korean).
- Kang, S. I. (2013). A Value Evaluation Model Considering Environmental Cost and Performance for Green VE, Master Thesis, University of Seoul (in Korean)
- Kim, H. K. (2008). Design VE/LCC, LCA Decision Making Method on Construction Industry, Master Thesis, Inchon university (in Korean).
- Kim, J. S. (2014). 1 Trillion Reduction Through Design Economic Review(VE) in MLIT, Available at : http://news.newsway.co.kr/view.php?tp=1&ud=2014012015405634437&md=20140120154342_AO (Accessed: July 13, 2016).
- Kim, M. H. (1999). Construction Management Engineering, Kimoonang, p. 602
- Kim, W. G. (2010). Korea Carbon Productivity Present Condition and Trend/Issue, E-KIET Industrial Economics Information, Korea Institute for Industrial Economics & Trade, Vol. 470, pp. 1-12.
- Lee, H. G. (2000). A Study on the corporate environmental accounting information measurement, Master Thesis, Hanyang university (in Korean).
- Lee, I. H. (2006). A Study on the green consumers' willingness to pay more for environmentally friendly products, Master Thesis, Chung-ang university (in Korean).
- Lee, J. D. (1999). A Study on the Environmental Accounting, Master Thesis, Kyonggi university (in Korean).
- Mckinsey Global Institute (2008). The Carbon Productivity Challenge : Climate Change and Sustaining Economic Growth, Mckinsey Global Institute (in USA)
- Noh, D. L. (2010). The Impact of Carbon Tax on Induced Technological Changes and Its Consequences on GDP, Master Thesis, Kyungwon University (in Korean).
- Park, K. N. (2000). A Study on Corporate Environmental Pollution Expenses, Master Thesis, Sangji university (in Korean).
- Park, K. T. (2007). Case Study of Total Cost Analysis of the Heat Source System in Building, Master Thesis, Hanyang university (in Korean).
- Yoon, J. E. and Lim, Y. H. (2011). "Study on correlation of green building certification system and guidelines-focused on LEED and sustainable building guidelines in the US." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 27, No. 11, pp. 155-164 (in Korean).
- Yun, S. H. (2009). The Integrated Cost Analysis in the Environmental and Economic Feasibility of the Environmental Facilities, Master Thesis, Chung-ang university (in Korean).