

第 88 回 博士學位論文
指導教授 李 彦 求

지속가능한 건축의 성능평가를 위한
체계적 모델 구축에 관한 연구

A Study on the Development of Systematic Model
for Sustainable Building Assessment Tools

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
姜 惠 眞
2011年 2月

지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 체계적 모델 구축에 관한 연구

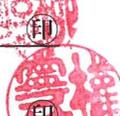
A Study on the Development of Systematic Model
for Sustainable Building Assessment Tools

이 論文을 博士學位論文으로 提出함.

2011年 2月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
姜 惠 眞

姜惠眞의 博士學位論文으로 認定함.

審査委員長	박진철	
審査委員	김근형	
審査委員	유호천	
審査委員	권영진	
審査委員	이언주	

中央大學校 大學院

2011年 2月

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 범위 및 방법	3
제 2 장 지속가능한 건축의 성능평가에 관한 이론적 고찰	5
제 1 절 환경문제의 대두	5
1. 전세계의 환경문제	5
2. 건물에 의한 환경적 영향	6
제 2 절 지속가능한 건축	8
1. 지속가능한 개발	8
2. 지속가능한 건축	13
제 3 절 지속가능한 건축의 실현방안	18
1. 지속가능한 개발의 장애요인 및 실현방안	18
2. 지속가능한 건축의 장애요인	19
3. 지속가능한 건축의 실현방안	20
제 4 절 소 결	21
제 3 장 지속가능한 건축의 성능평가 분석	22
제 1 절 지속가능한 건축의 성능평가도구	22
1. 환경영향평가도구	22
2. 지속가능한 건축의 성능평가도구	24
제 2 절 지속가능한 건축의 성능평가도구 분석 방법	29
1. 분석대상	29
2. 분석방법	29
제 3 절 지속가능한 건축의 성능평가도구 분석	32
1. 성능의 차원	32

2. 평가의 방법	33
3. 평가의 범위	34
4. 결과의 출력방법	36
제 4 절 소 결	38
제 4 장 지속가능한 건축의 성능평가 체계정립	40
제 1 절 지속가능한 건축의 성능평가 기본적 틀	40
1. 모듈의 분리	40
2. 모듈의 내용 및 역할	41
3. 모듈의 설정방법	43
4. 평가의 기본적 틀	45
제 2 절 지속가능한 건축의 성능평가 체계 정립	46
1. 기본적 틀을 활용한 체계정립	46
2. 입력모듈	47
3. 평가모듈	49
4. 출력모듈	56
제 3 절 소 결	63
제 5 장 지속가능한 건축의 성능평가 모델구축	66
제 1 절 기본모델의 설정	66
제 2 절 입력모듈의 구축	67
제 3 절 평가모듈의 구축	69
1. 전생애환경영향평가(Life Cycle Assessment)	69
2. 전생애비용평가(Life Cycle Cost Assessment)	79
3. 개별기준평가(Prescriptive Path Assessment)	93
제 4 절 출력모듈의 구축	94
1. 결과의 종합방법	94
2. 정량적 속성의 정규화	95
제 5 절 소 결	98
제 6 장 결 론	100

부	록	103
참	고 문 헌	112
국	문 초 록	117
ABSTRACT		119

표 목 차

<표 2.1> 코펜하겐 협정 이후 설정된 각국의 CO ₂ 배출량 감축목표	12
<표 2.2> 지속가능한 건축의 실천원리	12
<표 2.3> 지속가능한 건축의 실천원리의 결과	16
<표 2.4> 시장활성화 방안 및 정보 접근성 증대방안	20
<표 3.1> 환경영향평가도구의 종류 및 특징	23
<표 3.2> 성능점수표시도구의 종류 및 특징	25
<표 3.3> 라이프사이클 평가도구의 종류 및 특징	27
<표 3.4> 분석대상	29
<표 3.5> 환경영향평가의 평가체계	30
<표 3.6> 성능의 차원	32
<표 3.7> 평가방법에 따른 분류	33
<표 3.8> 평가의 공간적 범위에 따른 분류	35
<표 3.9> 평가의 시간적 범위에 따른 분류	35
<표 3.10> 결과의 종합방법 및 지표의 수	36
<표 3.11> 가중치 설정방법에 따른 분류	37
<표 4.1> 지속가능한 건축의 성능평가특성에 따른 분류	41
<표 4.2> 지속가능한 건축의 성능평가 기본적 틀	45
<표 4.3> 목표-성능-항목의 위계	48
<표 4.4> 건물에너지 사용에 따른 환경영향평가범위	49
<표 4.5> 건축재료 사용에 따른 환경영향평가범위	50
<표 4.6> 수자원 사용에 따른 환경영향평가범위	50
<표 4.7> 건축환경영향 추정방법의 비교분석	51
<표 4.8> 경제성 평가를 위한 평가범위	52
<표 4.9> 경제성 평가방법의 비교분석	54
<표 4.10> 다기준 의사결정 방법의 비교분석	56
<표 4.11> 가중치 설정방법의 비교분석	62
<표 5.1> 주요건축자재의 기능단위 환산표	71
<표 5.2> 각 단계별 설정된 평가의 범위	72
<표 5.3> 운영단계 에너지해석 계산을 위한 권장 프로그램	73
<표 5.4> 에너지종류별 탄소배출계수	75

<표 5.5> 전력사용에 의한 탄소배출계수	72
<표 5.6> 환경성적표지(Environment Product Declaration)의 영향지표 ..	77
<표 5.7> 전생애비용평가를 위한 구성항목 선정	80
<표 5.8> 내구연한의 설정기준	82
<표 5.9> 설비 내구연한 기준비교	83
<표 5.10> 다기준 의사결정모델의 행렬표	94

그림 목차

(그림 1.1) 연구의 흐름.....	4
(그림 2.1) 전생애 각 단계에서 발생하는 CO ₂ 배출량.....	7
(그림 2.2) 지속가능한 개발의 세가지 핵심원칙(Triple Bottom Line).....	10
(그림 2.3) 지속가능한 개발 개념의 발전과정.....	14
(그림 2.4) 각 분야의 CO ₂ 배출량 감소 가능성.....	17
(그림 4.1) 평가도구의 모듈.....	40
(그림 4.2) 목표-성능-항목 위계 설정(예시).....	44
(그림 4.3) 기본적인 틀을 사용한 체계정립 다이어그램(예시).....	43
(그림 5.1) 지속가능한 건축의 성능평가 기본모델.....	66
(그림 5.2) Uniformat 분류에 의한 건물정보모델링 정보생성 방법.....	68
(그림 5.3) 전생애환경영향평가의 흐름.....	69
(그림 5.4) 전체건물(Whole Building) 평가모델.....	70
(그림 5.5) 에너지플러스 에너지해석 프로그램의 해석결과(예시).....	74
(그림 5.6) 각 단계별 분석방법 및 시스템 경계.....	76
(그림 5.7) 전생애환경영향평가 모델.....	78
(그림 5.8) 전생애비용평가의 흐름.....	79
(그림 5.9) 국내 물가지수 및 에너지, 수도가격 지수.....	84
(그림 5.10) 유가변동예측.....	86
(그림 5.11) 유가변동예측 시나리오.....	86
(그림 5.12) 에너지비용과 CO ₂ 배출비용의 상관관계.....	87
(그림 5.13) 구성항목의 비용산정방법.....	88
(그림 5.14) 전생애비용 평가모델.....	92
(그림 5.15) 다차원 공간에서의 성능의 위치.....	95

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 자원의 고갈, 자연파괴, 기상이변 등의 환경문제가 심각해짐에 따라 지구 및 인류의 지속가능성에 대한 우려가 높아지고 있으며, '지속가능한 개발(Sustainable Development)'의 필요성이 더욱 증가하고 있다. 그 중에서도 건물은 각종 자원을 소비하고, 폐기물을 배출하는 등 환경적 영향이 매우 큰 분야로서 '지속가능한 개발'을 성취하는데 있어서 '지속가능한 건축(Sustainable Architecture)'을 실현하는 것은 매우 중요하다.

그러나 이러한 필요의 증가에도 불구하고, 실질적인 '지속가능한 건축'의 실현은 상대적으로 매우 저조한 형편이다. 이의 가장 큰 원인은 '지속가능한 건축'의 경제성의 문제이며, 지속가능한 건축의 '그린 프리미엄'¹⁾에 대한 오해에서 비롯되는 것으로 조사되고 있다.²⁾

따라서 많은 정부 및 연구기관들은 이를 해결하기 위한 많은 실천적 방안을 제시하고 있는데, 핵심 방안 중 한가지로서 '효과적인 의사결정을 도울 수 있는 성능평가도구'를 꼽고 있다. 왜냐하면 지속가능한 건축의 성능평가는 건설 전 단계(설계단계)에서 건물의 환경적 효과와 경제적 이익을 사전에 파악할 수 있게 하고, 지속가능한 건축을 선택할 수 있도록 돕기 때문이다.

그러나 기존의 많은 성능평가도구는 이러한 핵심적 역할을 수행하는데 있어서 여러가지 한계를 지니고 있으며, 그 한계는 다음과 같다.

- 명확하지 않은 '지속가능한 건축'의 개념은 '지속가능한 건축'의 디자인목표 및 시공목표를 모호하게 만들고, 결국 실질적인 '지속가능한 건축'을 통하여 추구하고자 하는 이익을 실현하지 못하게 만든다.
- 평가방법의 객관성과 정확성의 부족은 대상건물의 '지속가능성'에 대한 검증력을 떨어뜨리며 결과를 신뢰하기 어렵게 만든다.

1) 혹은 CO₂ 배출량 감소 등 지속가능한 건축 실현에 필요한 기술 사용에 따라 증가하는 초기투자비용

2) Greg, K. & Capital, E. (2003). The Cost and Financial Benefits of Green Buildings, California : Sustainable Building Task Force.

- 사용자가 이해하기 어려운 결과의 출력은 평가결과의 실용성을 떨어뜨려 사용하기 어렵게 만든다.
- 다른 평가도구에 대한 상대적인 관심의 부족과 성능평가에서 사용하는 전문용어가 통일되어 있지 않은 점은 평가도구를 쉽게 파악하기 어렵게 만들어 기존의 한계가 반복되는 문제를 발생시킬 수 있다.

따라서 이러한 성능평가도구의 한계성의 문제는 '지속가능한 건축의 통합적인 성능평가'에 대한 합리적인 체계정립을 필요로 하게 되었다. 지속가능한 건축의 통합성능 평가체계의 정립은 성능평가의 틀을 세우고, 틀의 각 부분이 갖추어야 하는 기본조건 및 선택조건을 제시함으로써 성능평가도구개발에 있어서 지침이 될 수 있다.

본 연구는 지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 합리적인 체계를 정립하고, 이와 같은 체계를 이용하여 지속가능한 건축의 성능평가도구에 대한 모델을 구축하는 것을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서 제시된 성능평가모델은 성능평가도구(Tool)를 개발하기 위한 프로그램 알고리즘을 제공함으로써 프로그램의 개발을 용이하게 하고, 궁극적으로는 지속가능한 건축의 실현에 기여할 수 있을 것이다.

제 2 절 연구의 범위 및 방법

연구의 범위 및 방법을 단계적으로 정리하면 다음과 같다.

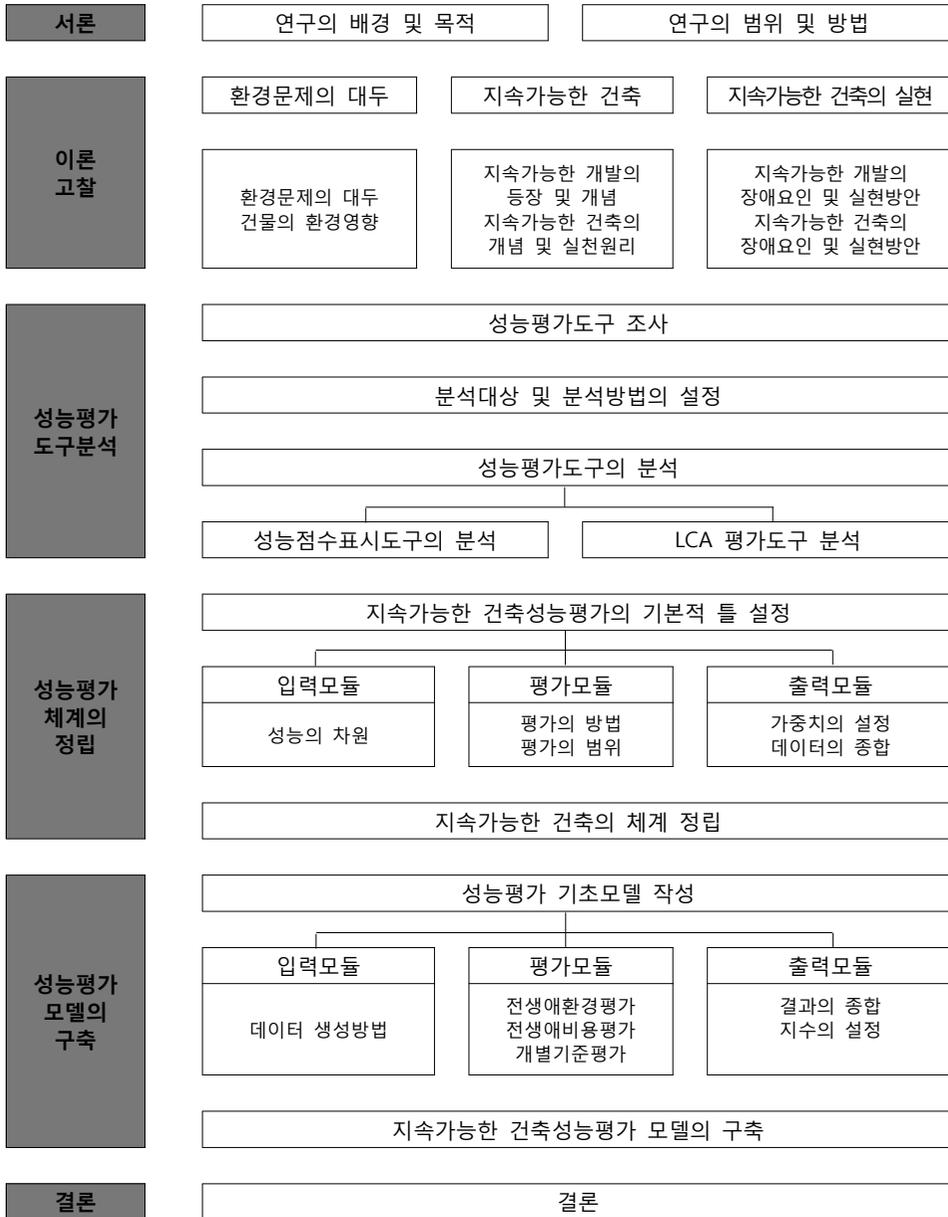
(1) 지속가능성 개발에 대한 문헌조사(Literature Review)을 통하여 지속가능한 개발의 정의 및 범위를 조사하고, 지속가능한 개발에 기여하기 위한 지속가능한 건축의 정의 및 요구조건을 설정한다. 지속가능한 건축의 개념 설정을 통해 목표를 명확하게 한다.

(2) 환경평가에서 사용하는 평가틀을 조사하고, 이를 바탕으로 기존의 건축성능 평가도구의 분석(Building Assessment Tool Analysis)을 실시하여 기존 성능평가도구의 한계를 분석하고, 개발방향을 설정한다.

(3) 분석된 결과를 반영하여 지속가능한 건축의 성능평가도구의 체계를 구체적으로 정립(Establishment of the Framework for Sustainable Building Assessments)한다. 이때 체계는 기존 성능평가 분석결과를 반영하여 기존 성능평가의 한계가 되풀이 되지 않도록 보완한다.

(4) 정립된 지속가능한 건축의 성능평가도구의 개념적 틀을 사용하여, 성능평가도구의 모델을 구축(Development of Systematic Model for Sustainable Building Assessment Tools)한다. 성능평가도구의 모델은 지속가능한 건축의 성능정의, 적절한 평가방법의 설정, 평가결과의 통합방법 설정 및 사용자의 사용방법의 설정 등의 순으로 구축한다.

본 연구의 흐름은 다음 그림 1.1과 같다.



(그림 1.1) 연구의 흐름

제 2 장 지속가능한 건축의 성능평가에 관한 이론적 고찰

제 1 절 환경문제의 대두

1. 전 세계의 환경문제

전세계 인구는 매일 1억 배럴 이상의 연료와 70만톤 이상의 물³⁾을 필요로 한다. Wackernagel⁴⁾의 생태발자국(Ecological Footprint: 필요한 자원을 공급하고, 배출물의 폐기를 감당할 수 있는 토지면적) 모델에 의하면 지구의 지속가능성을 위해서는 한 사람당 1.9헥타르에 해당하는 자원이 필요한 것으로 조사되었으나, 전세계 20%이상(선진국을 중심으로)의 인류는 그 3배에 가까운 6헥타르의 자원을 사용하고 있으며, 이러한 자원의 소비패턴을 지속하기 위해서는 현재 지구에 보존되어 있는 자원보다 약 4.8배 이상이 필요한 실정이다.

사실 지구의 수용능력(carrying capacity)은 이미 초과상태(exceeding sustainability)에 이르렀으며, 지구의 주요 자원 및 에너지원은 저장량에 비해 과잉 공급되고 있는 것은 널리 알려진 사실이다. 또한 이러한 자원의 과다 소비는 여러가지 환경문제를 유발하게 되었는데, 최근 화석연료의 연소로부터 발생하는 지구온난화가스의 영향에 의한 기상이변⁵⁾은 매우 심각한 상황이다.

현재 지구온난화가스의 증가추세로 비추어 볼 때, 2100년에는 온도가 약 3.5℃이상 상승할 것으로 예상되고 있으며⁶⁾ 기상변화가 더욱 심해지면 자연 재해가 더욱 대형화되고, 기록적인 폭염과 가뭄, 홍수는 수많은 인명 피해, 농작물의 피해, 질병의 확산 등의 2차적 피해로 확대될 수 있다. 결국 이러한 환경문제는 인류의 지속가능성까지 위협하는 수준에 까지 이르렀으므로 지속가능한 개발을 통한 환경문제의 감소는 매우 필요할 실정이다.

3) World Energy Council. (2010). Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050. London : World Energy Council.

4) Mathis, W. (2001). Advancing Sustainable Resource Management (Using Ecological Footprint Analysis for Problem Formulation). Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/enveco/waste/pdf/wackernagel.pdf>

5) Hall, M. & Peshos, Z. (2000). Proceedings of 2nd Natural Conference on LCA : Life cycle assessment of infrastructure projects.(2000)

6) World Bank. (2000). Fuel for thought: an environmental strategy for the energy sector. Washington, D.C. : The World Bank.

2. 건물에 의한 환경적 영향

전세계에 지어져 있는 건물이 전생애(재료의 추출, 생산, 운영 및 폐기단계)동안에 발생시키는 환경부하(Environment Load)가 지구환경에 심각한 위협을 가할 수 있는 심각한 수준이라는 것이 밝혀지면서 건물을 환경적으로 만들고, 보다 지속가능한 운영 및 관리가 이루어져야 한다는 필요가 명백해지고 있다.⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 특히, 건축산업 및 환경은 본질적으로 긴밀히 연결되어 있기 때문에 지구적인 환경부하 감소차원에 있어서 핵심 고려사항 중 한 분야이다.

건설산업은 재생자원 혹은 비재생에너지 모두의 가장 큰 소비자 중 하나이다.¹²⁾ 전세계 암석의 40%, 자갈 모래의 40%가 건설산업에서 사용되고, 연간 새로운 목재의 25%가 건설산업에서 사용되는 것으로 보고되고 있으며, 연간 에너지의 40%, 수자원의 약 16%가 건설산업에서 사용되고 있다.¹³⁾

또한, 건물의 공사단계에서 방출되는 오염물질은 전체 공기오염의 약 40%, 액형 폐기물의 20%(미국)를 차지하는 것으로 조사되고 있다. 고품폐기물의 경우에는 미국에서 발생하는 폐기물의 약 29%, 영국에서 발생하는 폐기물의 약 50% 이상, 유럽연합 매년 폐기물의 약 40-50%, 오스트리아에서는 전체 매립 양의 약 20-30%가 건물에 의한 것으로 보고되고 있어 환경에 미치는 부정적 영향이 심각하다.¹⁴⁾¹⁵⁾

7) Hill, R. C. & Bowen, P. A. (1997). Sustainable construction: principles and a framework for attainment. *Construction Management and Economics*, 15, 223-239

8) Barret, P. S., Sexton, M. G. & Green, L. (1999). Integrated delivery systems for sustainable construction. *Building Research and Information*, 27(6), 397-324

9) Cole, R. J. (1999a). Proceedings from CIB Congress : Emerging trends in building environmental assessment methods. Warford.

10) Holmes, J. & Hudson, G. (2000). Proceedings from Cutting Edge 2000 : An evaluation of the objectives of the BREEAM scheme for offices: a local case study, RICS Research Foundation.

11) Scheuer, C., Keoleian, G. A. & Reppe, P. (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, 35, 1049-1064.

12) Curwell, S. & Cooper, I. (1998). The implications of urban sustainability. *Building Research and Information*, 26(1), 17-28.

13) World Watch Institute. (2003). Sustainable facilities: building material selection. West Michigan sustainable Business Forum.

14) Teo, M. M. M. & Loosemore, M. (2001). A theory of waste behaviour in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 19, 741-751.

특히 건물은 화석연료의 주요한 소비주체로서, CO₂ 방출에도 심각하게 영향을 미친다.¹⁶⁾ 단계별 에너지사용 비율은 LCI(Life Cycle Inventory) 데이터베이스에 따라 달라질 수 있지만 건축자재 생산단계가 10-20%, 운영단계의 경우에는 40-80%, 폐기단계에서는 전체의 약 1% 보다 낮은 수치인 것으로 보고되고 있다.¹⁷⁾ (그림 2.1)

전생애 단계1					전생애 단계2 총 방출량의 80-90%							전생애 단계3					
사용 전 단계					사용 단계							사용 후 단계					
제품생산		공사			건물 내 플랜트의 운영				전력소비 (건물의부에서 공급)			유지관리 및 보수	운행	형체	운송	재사용	최종 폐기
자원의 추출	운송	제조	운송	시공													
분석범위 포함											분석범위 비포함						

(그림 2.1) 전생애 각 단계에서 발생하는 CO₂ 배출량

이렇듯 건물은 대지, 자원, 에너지, 수자원과 같은 자원의 주요 소비자인 동시에 환경에 많은 양의 오염물질을 방출시킨다. 따라서 건설활동(building activities)은 지속가능한 미래를 위한 책임 분배에 있어서 그 책임을 피할 수 없으며, 자원의 소비와 환경적 영향에 대한 제한이 불가피하다. 만약 건물의 환경적 성능을 향상시키기 위하여 적절한 조취를 취하게 된다면 전체적 환경적 피해는 급격하게 감소할 수 있을 것이다.¹⁸⁾¹⁹⁾

15) Sjostrom, C. & Bakens, W. (1999). CIB Agenda 21 for sustainable construction: why how and what. Building Research and Information, 27(6), 347-353

16) Clough, R. (1994). Proceedings from of First International Conference: Building and Environment : Environmental impacts of building construction. BRE.

17) Sustainable Buildings Alliance. (2009). The Common Carbon Metric : The Common Carbon Metric-Protocol for Measuring Energy Use and Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operation. London : Sustainable Buildings Alliance

18) Miyatake, Y. (1996), 'Technology development and sustainable construction', in Journal of Management in Engineering, Vol. 12, No. 4, July/August, pp. 23-27

19) Miyatake, Y. (1996). Technology development and sustainable construction. Journal of Management in Engineering, 12(4), 23-27.

제 2 절 지속가능한 건축

1. 지속가능한 개발

(1) 지속가능한 개발의 등장

'지속가능성(Sustainability)'의 개념은 사실 복잡한 진보과정을 거친다. 1960년대 미국 환경오염의 심각성을 다룬 "신의 폐기물창고(God's Junkyard)"²⁰⁾를 비롯하여, "Whole Earth Catalog(1968)"와 같은 지구 환경에 관한 출판물들이 발간되면서 환경적 이해에 대한 새로운 인식의 전환이 가속되었다. 특히, 로마클럽에서 출판한 "성장의 한계(The Limits to Growth, 1972)"²¹⁾는 수많은 과학적, 통계적 자료를 통하여 기하급수적 성장과 자연자원의 고갈간의 관계를 밝힘으로서 지구 성장의 한계를 피력하였다. 또한, 무책임한 개발에 대한 신랄한 비판은 환경적 문제의 해결을 위하여 앞으로 나아갈 방향을 모색하게 되는 계기가 되었다.

이후, Guattari는 "수평적 접근(Transversalite, 1964)"²²⁾에서 환경문제의 해결이 단지 환경적 차원에서만 아니라 사회적 차원을 함께 다뤄야 한다고 주장함으로써 환경문제를 더 이상 환경자체의 독립적 문제로만 다루지 않고, 종합적 접근의 필요성에 대한 인식을 심어준 계기가 되었다. Guattari는 환경문제의 근본적인 문제가 사회/정치적 문제와 연관되어 있음을 밝히면서 특히, 도덕적 책임 및 미적 가치에 대한 새로운 시각의 필요성을 제기하였다.

'지속가능성(Sustainability)'의 기치가 본격적으로 확산된 것은 세계환경개발위원회(World Commission on Environmental and Development, WCED)의 브룬트란트 보고서(Bruntdland Report, 1987) 즉, 우리공동의 미래(Our Common Future)²³⁾가 발간된 이후부터이다. 이 보고서에서는 지속가능한 개발(Sustainable Development)이라는 용어를 제시하고, 그 개념을

20) Blake, P. (1964). God's Own Junkyard: The Planned Deterioration of America's Landscape, NewYork : Rinehart & Winston

21) Meadows, D. H. (1972). The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, Washington, D.C. : Potomac Associates

22) Guattari, F. (2000). The Three Ecologies, NewYork : Athlone Press

23) The World Commission on Environment and Development. (1987). Our Common Future, Oxford: Oxford University Press

“미래세대가 그들 자신의 요구를 수용할 수 있는 능력을 저해하지 않으면서
현세대의 요구를 충족시키는 발전 과정”이라고 정의하였다. 또한, 지속가능한
개발을 추구하기 위하여 다루어야 할 영역을 세 가지 차원(dimension) 즉,
환경성, 경제성, 사회성(Environment, Economy, Social)으로 정립하였다.

이러한 ‘지속가능한 개발(Sustainable Development)’의 개념 정립은 자연
의 테두리 안에서 인간 요구의 지속적인 만족을 추구한다는 점에서 실천단계
에 바탕이 되는 비전을 제시한 것으로 보여진다. 이후 지속가능한 개발 개념
의 구체적인 실현화를 위한 ‘지방의제21(Local Agenda 21)’²⁴⁾이 발표되었
고, 유엔경제사회이사회 (United Nations Economic and Social Council,
ECOSOC)는 ‘지방의제21’에 대한 각국의 추진상황을 평가하고 촉진시켜 나
갔다.

그러나 지속가능한 개발은 효과적인 실천강령인 ‘지방의제21’에도 불구하고
그 광의적 내용 때문에 의미가 파생되고, 개념에 대한 해석이 달라 어느
이슈에든지 남용될 수 있는 문제점²⁵⁾이 발생하였다. 따라서 등장한 것이 세
가지 핵심원칙(Triple Bottom Line, TBL)²⁶⁾이다.

세가지 핵심원칙은 ‘지속가능한 개발’의 개념을 경제분야에 적용하기 위
해 발전되었으나, 이후 David Harvey²⁷⁾가 이를 수정한 후에는 경제분야 외
에서도 지속가능성의 개념을 보다 쉽고 구체적으로 적용할 수 있게 되었다.
현재 이 세가지 핵심원칙은 현재 유엔 자치단체국제환경협회의회(International
Council for Local Environmental Initiative, ICELI)의 기본 개념으로 채택
되어 실천적 적용을 위하여 사용되고 있으며, 국제표준화기구(International
Standard Organization, ISO)의 지속가능성(Sustainability)의 기본 개념으
로 채택되어 사용하고 있다. 또한, 이 개념은 정부의 정책, 법률, 일반 기관에
서의 환경정책에도 강하게 파고들고 있다.²⁸⁾

24) Meakin, S. (1992). The Rio Earth Summit : Summary of the United Nations Conference on Environment and Development. Retrieved from <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/BP/bp317-e.htm>

25) Angelil, M. and Siress, C. (2006). Five easy pieces, In First cycle of the Holcim Awards, Retrieved from <http://www.holcimfoundation.org/>

26) Elkington, J. (1984). Cannibals with Forks : the Triple Bottom Line of 21st Centuries Business, Gabriola Island, B.C.: New Society Publishers

27) Harvey, D. (1998). What’s Green and Makes the Environment Go Round? In F. Jameson and M. Miyoshi(Eds.) The Cultures of Globalization. Durham: Duke University Press.

28) Harding, R. (1998), Environmental decision-making: the roles of scientists, engineers

(2) 지속가능한 개발의 개념

지속가능한 개발의 세가지 핵심원칙 (Triple Bottom Line, TBL)은 '환경성', '경제성', '사회성'에 기초를 두고 있다.(그림 2.2) 이 세가지 핵심원칙에서 환경적 지속가능성은 지구환경의 보존을 의미하는 것으로서 지구환경에 미치는 환경부하를 감소시켜, 지구환경의 지속성을 증가시키는 것이다. 경제적 지속가능성은 지구환경을 보존하는 범위 내에서의 경제적 활동을 의미하며, 이때 발생하는 경제적 이익이다. 사회적 지속가능성의 경우, 환경적, 경제적 지속가능성을 통하여 발생하는 혜택이 잘 나누어질 수 있는 사회적인 평등과 통합을 의미한다.



(그림 2.2) 지속가능한 개발의 세가지 핵심원칙(Triple Bottom Line)

이 세가지 핵심원칙은 동시에 추구되어야 하는 동시적 목표이며, 다각적 접근방식을 필요로 한다. 따라서 전 지구적 환경부하를 감소시키고, 환경부하를 감소시키는 과정에서 경제적 이익을 창출할 수 있으며, 동시에 삶의 질을 향상시키는 것이 지속가능한 개발이라고 정의할 수 있다.

이러한 지속가능한 개발의 개념에 대한 인식은 자리를 잡아가고 있는 추세이지만 결과적으로 모두를 만족시킬 수 있는 지속가능한 개발에 대한 정확한 정의를 찾는 것은 여전히 어려운 일이다. 특히 모든 분야에서 적용할 수 있는 정의를 이끌어 내는 것은 매우 어려우므로 각 분야에서 각 분야의 성격을 반영한 지속가능한 개발의 개념을 정의하는 것이 더욱 현실적인 일이라고 판단된다.²⁹⁾

and the public, Sydney : The Federation Press

29) Pearce, D.W., Markandya, A. & Barbier, E.B. (1989), Blueprint for a green economy. London : Earthscan

(3) 지속가능한 개발과 교토의정서

지속가능한 개발의 필요성에 대한 새로운 인식은 국가차원의 구체적인 실천을 낳게 되었으며, 이후 수많은 정부간 협의 및 협약을 이끌어냈다. 특히 1992년 6월 브라질 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)는 지속가능한 개발의 구체적인 실천을 촉발시키는 계기가 되었다.

현재 유엔(United Nations)은 각 산하조직을 통하여 지구와 사회의 미래 및 인류의 생존문제에 대해 국제적 차원에서 대응방안을 모색 중이다. 또한, 향후 환경무역 체제의 주도권을 행사할 것으로 보이는 세계무역기구(World Trade Organization, WTO)를 비롯하여 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 및 유럽연합(Europe Union, EU)은 환경규제 및 환경시장 등에 보다 적극적으로 나서고 있다. 그 외에도 전세계적으로 체결된 환경(대기, 수질, 폐기물 및 자연환경)과 관련한 국제협약은 현재 약 210가지에 달하는 것으로 보고되고 있다.

특히 최근 많은 관심을 받고 있는 세계기후변화협약((United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)은 기후변화의 원인으로 알려져 있는 CO₂ 배출량의 규제에 관한 것으로서, 1997년 일본 교토에서 제 3차 당사국회의를 통해 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다. 2006년 러시아의 비준으로 실효성이 발휘되어 구속력을 갖게 된 이후, 교토의정서에 따라 부속서 1(Annex 1)에 해당하는 국가들은 2012년까지 CO₂ 배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축해야 한다.

또한 2007년 발리에서 개최된 제 13차 당사국 총회에서는 ‘포스트 2012 로드맵 (일명 발리 로드맵, Bali Road Map)’이 채택되어 2012년 효력이 끝나는 교토의정서를 대체할 새로운 기후변화협약의 체결과 함께 포스트교토(Post-Kyoto)체제의 도래를 예고하였다.

포스트교토 체제에서는 2020-2050년에 이르는 CO₂ 배출량 감축에 대한 중장기 대책이 실행될 것으로 예상되는데, 부속서 2(Annex 2) 국가로 포함되었던 개발도상국의 참여가 불가피 할 것으로 판단된다. 지난 2009년 덴마크 코펜하겐에서 열린 제 15차 당사국총회에서는 코펜하겐 협정(Copenhagen

Accord)의 체결을 통해 기온상승을 산업화 이전에 비해 2℃ 넘지 않도록 억제하는 것을 장기목표를 세웠으며, 이에 따라 부속서 2(Annex 2) 국가를 포함한 각국이 감축계획서를 제출하도록 하였다.(표 2.1)

<표 2.1> 코펜하겐 협정 이후 설정된 각국의 CO₂ 배출량 감축목표

	유럽연합	일본	캐나다	미국	한국	브라질	중국	인도
목표 감축	-30%	-20%	-20%	-17%	(BAU) -30%	(BAU) -36%	+80% -45% (CI)	+45% -25% (CI)
기준 연도	1990	1990	1990	2005	2005	2005	2005	2005
국민 소득 (IMF, 2008)	\$33,400	\$38,450	\$45,085	\$47,440	\$19,136	\$8,395	\$3,259	\$1,017

BAU : 기준시나리오(Business As Usual)³⁰⁾, CI : 탄소집약도(Carbon Intensity)³¹⁾

코펜하겐 협정에 따라 보고된 감축계획서에 따르면 유럽연합을 포함한 선진국의 경우, 2020년까지 1990년 대비 약 20% 이상의 감축을 계획하고 있으며, 미국은 2005년 대비 17%를 계획하고 있다. 우리나라를 포함한 브라질, 중국, 인도 등의 부속서 2(Annex 2)국가에서는 BAU대비 약 30%를 계획하고 있다. 이러한 CO₂ 배출량 규제는 각 분야에서의 단순한 CO₂ 배출량 감소노력을 넘어서 국가 전체의 경제활동 및 성장에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이른바 환경과 경제의 통합적 발전인 ‘지속가능한 개발’ 체제로의 실질적인 전환을 요구하는 패러다임으로 해석되고 있다.

30) BAU(, Business as Usual) : 특별한 조치를 취하지 않을 경우 배출될 것으로 예상되는 미래 전망치를 나타낸다. 따라서 2020년의 BAU라고 하면 인위적으로 감축노력을 하지 않을 경우 현재의 추세로 볼 때 오는 2020년 배출될 온실가스의 총량을 추정하는 것이다.

31) CI(탄소집약도, Carbon Intensity) : 소비한 에너지에서 발생된 CO₂ 량을 총 에너지소비량으로 나눈 값을 말한다. 탄소집약도가 높다는 의미는 상대적으로 탄소함유량이 높은 에너지 사용 비율이 높다는 것을 말한다. 예를 들어 같은 열량의 에너지를 얻기 위해 전체를 선택으로 소비하는 경우와 전체는 천연가스로 소비하는 경우를 비교하면 전자의 경우가 후자에 비해 탄소집약도가 높다.(TC/TOE, TC : 탄소톤, TOE : 석유환산톤)

2. 지속가능한 건축

(1) 지속가능한 건축의 개념

지속가능한 건축은 지속가능한 개발의 달성을 위한 건축분야에서의 노력이 다. 따라서 지속가능한 건축의 개념은 지속가능한 개발과 그 개념을 공유한다. 그러므로 지속가능한 건축 또한, 지속가능한 개발의 세가지 핵심원칙, 즉, 환경성(전 지구적 환경부하의 감소), 경제성(경제적 이익의 창출), 사회성(삶의 질 증진, 형평성, 사회복지의 달성)'를 기본적 개념으로 삼고 있다.

최근에는 건축분야의 성격을 반영한 구체적인 세가지 핵심원칙(TBL in Architecture)을 정의하는 일에 각국의 정부기관, 연구소 (U.S. Department of Energy, U.K. Department for Environment Food and Rural Affairs, American Institute of Architects, Green Building Council of Australia 등)의 연구가 활발하다. 국제 표준화기구(ISO)에서도 산하에 TC59³²⁾를 두고 하부에 건축물의 지속가능성과 관련된 분과위원회(SC17)를 설치하여 세가지 핵심원리에 기초한 지속가능한 건축의 정의를 표준화하고 있으며, 유럽 연합(European Union, EU) 표준화기구(Committee European de Normalization, CEN)의 TC 350 또한 마찬가지로 작업을 수행 중이다. 미국재료시험협회(American Society for Testing and Materials, ASTM))에서는 지속가능한 건물성능에 관한 규정집(E 06/ Sub-committee E06.71)³³⁾을 발간하였다.

최근 발표되고 있는 지속가능한 건축의 세가지 핵심원칙은 다음과 같다.

환경성(Environment) : 환경부하의 감소 (Reduction of Environmental Load)

건축에 있어서 환경성이란 건축물이 지구환경에 미치는 영향에 대한 것을 의미한다. 특히 기후변화의 주요원인이 되는 CO₂ 배출, 자원고갈 및 오염물

32) (ISO) 에서 건축물의 지속가능성을 다루는 기술위원회는 ISO TC59 산하에 있으며, TC59는 건축일반(building construction)위원회로 하부에 건축 및 토목공학의 용어, 설계, 시공 및 건축공사에서 정보의 조직, 모듈조정, 건축부품의 성능요건, 지속가능성 등과 관련된 분과위원회를 설치하여, 표준화 작업을 수행하고 있다.

33) ASTM. (2005). Committee E06 on Performance of Building and Subcommittee E06.71 on Sustainability Standard Guide for General Principles of Sustainability Relative to Buildings

질의 방출에 의한 환경부하를 줄이고자 건축에서 노력하는 것이 그 핵심 내용이다. 따라서 이를 위하여 구체적으로 다룰 수 있는 분야는 에너지, 수자원, 건축자재 등이며, 이를 통하여 지구온난화, 산성화, 오존층 파괴, 폐기물 발생, 자원고갈 등의 발생을 줄일 수 있다.

경제성(Economic) : 경제적 이익의 창출 (Cost-Saving)

건물에서 발생하는 경제적 이익은 건물사용(임대수익)에 의한 것이 일반적이었다. 그러나 지속가능한 건축에서의 경제적 효과는 일반적으로 기대할 수 있는 경제적 효과 외에도, 건물 운영단계에서의 에너지 절약에 의한 운영비용의 감소, 환경오염방지에 따른 환경비용의 감소, 재실자들의 생산성 증진에 따른 이윤창출 등이 포함되어 직, 간접적으로 발생하는 모든 경제적 이익을 포함한다. 그러나 현재는 간접적 이익을 계산하기에 불확실성이 존재하는 간접적 요소에 대해서는 적극적으로 다루지 않고 있다.

사회성(Social) : 쾌적성 및 건강성 증진 (Well-Being Improvement)

사회성은 가장 그 범위가 넓고 정의가 다양해 논의가 지속되는 분야이지만, 일반적으로 인간의 복리/후생을 의미한다. 구체적인 내용으로는 삶의 질 향상, 만족도 향상, 건강증진, 사회적 기여 등이 포함되며, 이는 건축이 오래 전부터 추구해왔던 본질적 요소와 동일한 내용이다.

지속가능한 건축의 세가지 핵심원칙은 기존의 건축이 추구하던 '경제성'과 '사회성'에 '환경성'이 편입된 구조이다.(그림 2.3) 그러나 '환경성'이 편입됨에 따라 기존의 '경제성'은 그 의미가 전반적으로 개편되었으며, 사회성의 의미는 좀더 강화되었다. 또한 '환경성'은 지속가능한 건축에서 가장 의미가 크고, 가장 우선적으로 고려해야 하는 요소로 자리잡고 있다.



(그림 2.3) 지속가능한 건축 개념의 발전

(2) 지속가능한 건축의 실천원리

지속가능한 건축의 실천원리는 지속가능한 건축의 개념을 실현할 수 있는 실천방안이다. 이를 위해서는 건물에서 발생하는 '환경부하의 감소', '직, 간접적으로 발생하는 경제적 효과의 향상' 및 '재실자의 쾌적성 및 건강성 증진'을 실현할 수 있는 구체적인 방법이 필요하다.

지속가능한 건축의 환경성 증진은 지구에 영향을 미치는 환경부하(Environmental Load)의 감소를 통하여 달성되므로 건물에서 사용하는 에너지 및 자원사용의 감소, 폐기물의 감소, CO₂ 배출량의 감소가 구체적인 과제가 될 수 있다. 특히, CO₂ 배출량 감소를 통한 기후변화감소는 최근 지속가능한 건축에서 달성해야 하는 필수적 요소로 꼽히고 있다.

지속가능한 건축에서의 경제적 효과(Cost-Saving)는 장기적 관점에서 영향을 미치는 직, 간접적 요소를 고찰하는 것이 필요하다. 장기적 관점에서 보면 에너지 효율 증진을 통한 운영비용의 절감, 환경부담금 절감에 따른 전생애비용의 감소, 건물의 환경성 증진을 통한 가치제고, 건물가치향상을 통한 이미지 향상 등이 포함될 수 있다. 그러나 간접발생비용의 경우에는 현재 정확한 경제적 이익 평가가 어려우므로 이를 제외한다. 따라서 에너지효율 증진을 통한 운영비용의 절감, 환경부담금의 절감이 대표적인 실천원리로 꼽을 수 있다.

지속가능한 건축의 사회성은 재실자의 삶의 질 향상, 만족도 증진 등으로 정성적 개념까지 포함하고 있는 내용이다. 이는 기존건축에서 본질적으로 추구해왔던 요소와 일치하며 다양한 방법을 통하여 실현되어 왔으나 이를 실현할 수 있는 실천방안은 단순히 설명할 수 있는 것이 아니다. 따라서 본 연구에서는 재실자의 쾌적성 및 건강에 영향을 미치는 실내외의 물리적 환경만을 대상으로 실천원리를 제시하며 이는 실내환경의 질, 외부의 어메니티 등으로 국한된다.

다음 표 2.2는 지속가능한 건축의 실천원리에 대한 내용이다.

<표 2.2> 지속가능한 건축의 실천원리

지속가능한 건축의 실천원리	
환경성	
건물에서 발생하는 환경부하의 감소	
	에너지 및 자원사용의 감소
	폐기물의 감소
	CO ₂ 배출량의 감소
경제성	
건물의 전생애동안 발생하는 장기간의 경제적 이익	
	운영단계에서의 에너지비용 및 자원비용 감소를 통한 경제적 이익
	환경부하감소로 인한 환경부담금 감소
사회성	
삶의 질 및 만족도 향상	
	실내,외 환경의 질 향상

위의 원리를 실천할 경우, 기대할 수 있는 결과는 아래 표 2.3과 같다. 환경적으로는 기후변화의 감소, 생태계시스템의 보호, 종 다양성, 대기 및 수질 향상 및 효율적인 자연자원의 사용이 이루어질 수 있으며, 경제적으로는 전생애관점에서의 투자회수비용이 증가가 가능하다. 사회성의 경우에는 재실자의 쾌적 및 건강성의 향상을 기대할 수 있다.

<표 2.3> 지속가능한 건축의 실천원리의 결과

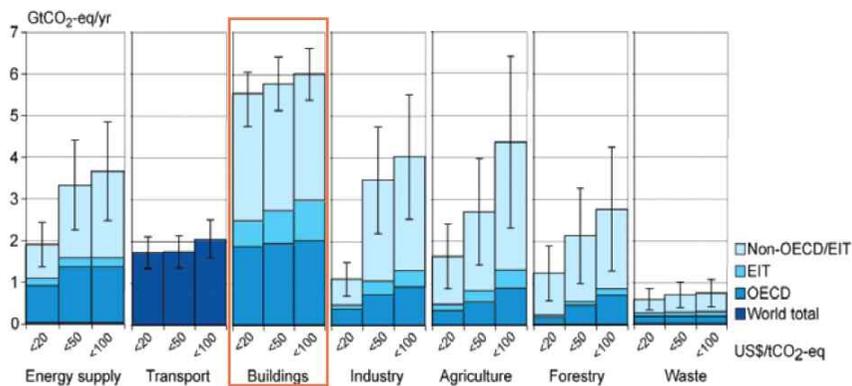
지속가능한 건축의 실천원리의 결과	
환경성	
건물에서 발생하는 환경부하의 감소	
	생태계 시스템의 보호
	종 다양성
	대기 및 수질향상
	자연자원 사용의 감소
경제성	
건물의 전생애동안 발생하는 장기간의 경제적 이익	
	전생애적 관점에서의 투자회수비용 증가(투자회수기간 감소)
사회성	
삶의 질 및 만족도 향상	
	재실자의 쾌적성 향상
	재실자의 건강성 향상

(3) 지속가능한 건축의 CO₂ 배출량 감소의 중요성

최근 지속가능한 건축의 여러가지 실천원리 중에서 가장 시급한 과제로 떠오르고 있는 것은 CO₂ 배출량의 감소이다. 실제로 건물에서의 CO₂ 배출량은 전체 CO₂ 배출량의 약 30-40%를 차지하는 것으로 보고되고 있으며, 이는 CO₂ 를 배출하는 분야 중에 가장 높은 수치로서 현재 CO₂ 배출량은 약 860만톤에 육박하는 것으로 집계되고 있다.³⁴⁾

더군다나 건물에서의 CO₂ 배출량은 1971년부터 2004년까지 꾸준히 매년 2%씩 증가하는 높은 증가율을 보이고 있어 심각성을 더하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 CO₂ 배출량 고성장 시나리오에 따르면 2030년에는 CO₂ 배출량이 현재의 두 배에 해당하는 약 15억 6천만 톤에 이를 것으로 발표되었다.

또한, 건물분야는 CO₂ 잠재적 감소량(potential net profit)이 어느 분야보다 높게 분석되고 있는 점에서도 배출량 감축에서 우선순위를 가진다. 실제 건물에서의 온실가스 감축 가능성은 상용화된 가능한 기술과 기타 전략을 활용하면 신축 및 기존 건물에서의 에너지소비를 건물의 전생애기간 동안 30-80%까지 감소시킬 수 있는 것으로 파악되었으며, 이는 선진국 및 경제 전환기에 있는 개발도상국에서도 동일하게 높은 수치를 나타낸다.(그림 2.4)



(그림 2.4) 각 분야의 CO₂ 배출량 감소 가능성

34) Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. & Meyer, L.(Eds.) (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Cambridge : Cambridge University Press.

제 3 절 지속가능한 건축의 장애요인 및 실현방안

1. 지속가능한 개발의 장애요인 및 실현방안

지속가능한 개발의 개념의 진보와 실천원리의 도출은 사회적 합의를 증가시켰으며 이로 인해 지속가능한 개발의 실현은 이전보다 훨씬 가까워지고 있다. 그러나 실제로 지속가능한 개발의 실현율은 여전히 저조한 것이 사실이다. 그 원인으로 꼽히는 것은 세가지 핵심원칙의 대립적 구도인데, 그 중에서도 환경성과 경제성의 대립적 구도는³⁵⁾ 가장 큰 원인으로 꼽힌다.

이 대립적 구도의 원인은 경제활동에서 어떤 형태로든 환경보호가 개입될 경우, 이윤획득에 심각한 위험을 야기시키는 듯한 이미지가 팽배한³⁶⁾ 데서 비롯된다. 또한 명령과 규제중심의 의무감만을 강조하는 환경정책 또한 대립적 구도를 가중시키고 있다. 그러나 본질적으로 지속가능한 개발의 개념은 환경부하를 감소하기 위해 단순히 경제규모 전체의 양을 제한해야 한다거나, 환경적 가치 및 의무감만을 강조하는 것은 아니다.

최근에는 지속가능한 개발의 환경성과 경제성의 통합에 의한 발전사례가 늘고 있다. 그 중 하나가 재생에너지분야인데, 이 분야는 초기 정부주도의 기술주도형 환경정책에서 경제적 인센티브를 수반하는 시장주도형 정책으로의 전환이후, 시장성이 확보되기 시작했으며, 이후 급격하게 성장하였다. 이 분야의 선두인 독일의 경우 재생에너지산업으로 13만명의 고용과 80억 유로의 경제효과를 창출함과 동시에 3,500만톤의 이산화탄소를 줄이고 있다.³⁷⁾

이러한 예를 볼 때, 환경성의 시장성 확보는 지속가능한 개발의 환경성과 경제성의 통합적 발전을 이룰 수 있는 방안으로 판단되며, 이를 위해서 환경시장의 활성화, 환경적 투자의 이익을 확보할 수 있는 구체적인 정책 등이 필요하다.

35) Bentivegna, V., Curwell, S., Deakin, M., Lombardi, P., Mitchell, G. & Nijkamp, P.(2002). A vision and methodology for integrated sustainable urban development: BEQUEST. Building Research and Information, 30(2), 83-94.

36) Boughey, J. (2000). Proceedings from Cutting Edge 2000 : Environmental valuation, real property and sustainability. London : RICS Research Foundation.

37) Ender, C. (2008). Wind Energy Use in Germany - Status 31.12.2007, DEWI Magazine, Vol. 32

2. 지속가능한 건축의 장애요인

지속가능한 개발에서 환경성과 경제성 통합에 갈등이 있는 것과 마찬가지로 건축분야에서도 이러한 환경성과 경제성의 성능은 대립적 구도를 갖는다. 이러한 현상은 지속가능한 건축의 필요성이 이미 사회적으로 충분한 합의를 갖추었음에도 불구하고 실질적인 투자는 매우 저조한 현상으로 나타난다.

이는 건설단계에서 발생하는 '그린 프리미엄'(에너지절약 혹은 CO₂ 배출량 감소 등 지속가능한 건축 실현에 필요한 기술사용에 따라 증가하는 초기투자비용)때문인데, 의사결정자들은 단순히 '그린 프리미엄'으로 인해 증가하는 초기투자비용을 경제적 효과의 감소로만 여기기 때문이다.

실질적으로 '그린프리미엄'에 따른 건물의 환경성 향상과 그에 따른 경제성은 대립적 구도를 갖는 것이 아니라 통합구도를 이루고 있다. 이는 건물의 운영기간이 길고, 운영기간에도 막대한 운영비용이 발생하기 때문인데 '그린 프리미엄'을 투자할 경우, 운영단계에서의 상당한 운영비용을 감소시키는 효과가 있기 때문이다. 특히 유가가 급등하고, 환경비용이 예고됨에 따라 '그린 프리미엄'의 효과는 더욱 증가할 것으로 판단된다.

그러나 아직 의사결정자들에게는 운영단계에서 발생하는 비용과 환경, 건강 등의 외부비용을 고려하여 '그린 프리미엄'의 효과를 파악하는 전생애적 개념이 부족한 실정이다. 또한, 실질적으로 '그린 프리미엄'에 의한 경제적 효과를 평가하는 평가기술과 전문가가 부족하여 제공받을 수 있는 정보에 있어서도 한계가 많다.

이는 '그린 프리미엄'에 대한 투자와 에너지절약에 대한 이익간의 지속적인 교환을 막는 시장구조의 한계에서 비롯하는 것으로 나타나고 있으며, 건물 디자인의 전형적인 프로세스의 한계, 관리상, 규제적 문제 등에 의해서도 나타나는 것으로 보여진다.

3. 지속가능한 건축의 실현방안

시장활성화 및 경제적 정책의 뒷받침은 지속가능한 건축의 전생애에서 발생하는 경제적 효과를 증가시킬 수 있다. 이는 '그린 프리미엄'에 대한 투자자의 부담을 줄이고 운영비용을 증가시킴으로서 전생애적 관점에서의 비용을 감소시킬 수 있기 때문이다. 구체적인 시장 활성화 및 경제적 정책으로는 등급 및 인증 등의 복합적 적용, 환경부하에 대한 세금부여, 환경부하 감소에 대한 세금공제, 특정 에너지효율에 대한 보조금 지급 등이 있다. 그 중에서도 환경부하에 대한 세금 부여, 보조금 지급이 온실가스 저감 및 비용감소에 가장 효과적인 것으로 나타나고 있다.(표2.5)

또한 그린 프리미엄에 의한 경제적 혜택에 대한 정보를 제공하는 것은 장애요인을 해결하는 또 하나의 방법이다. 건물의 전생애단계에서 발생하는 모든 환경영향 및 경제적 이익을 고려하는 것이 복잡하고, 일반 의사결정자들은 건물의 전생애에 대한 관점이 부족한데서 지속가능한 건축을 선택하는 것을 주저하게 만들기 때문이다. 따라서 '그린 프리미엄'의 전생애적 경제적 효과에 대한 정보를 제공할 수 있는 방안을 제시하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 전문가양성 프로그램, 일반인 교육프로그램, 성능평가도구의 개발 등이 효과적인 것으로 분석되고 있다.(표 2.5)

<표 2.4> 시장활성화 방안 및 정보접근성 증대방안

시장활성화 방안 및 경제적 인센티브	온실가스 저감효과	비용효과
등급 및 인증등의 복합적인 적용	◎	◎
에너지효율 등급 가이드(백서)	◎	◎ / ◎
교토 프로토콜(CO ₂ 배출량 거래제)	●	◎
세금부여(CO ₂ , 혹은 에너지)	●	◎
세금공제/면제	◎	◎
공공 이익으로의 기부	◎	◎
국가보조금, 대출	◎	◎
정보의 접근성 증대방안	온실가스 저감효과	비용효과
성능평가도구의 개발	●	◎
전문가 양성 프로그램 (획득해야 하는 필수과목포함)	●	◎ / ●
일반인 교육 프로그램	◎	◎ / ●
에너지 비용 및 효과에 대한 정보제공	◎	◎

● : 높음 ◎ : 보통 ○ : 낮음

제 4 절 소 결

환경문제의 심각성이 증가하고 건물에 의한 환경적 위해의 수준이 매우 높다는 것이 밝혀지면서, 지속가능한 미래에 대한 건물분야의 책임이 크게 대두되고 있다. 특히 CO₂ 배출저감이 시급한 상황에서, 건물에서 발생하는 CO₂ 배출량은 전체 약 30-40%를 차지하고 있어 지속가능한 건축의 역할이 매우 중요한 실정이다.

지속가능한 건축은 지속가능한 개발을 달성하기 위한 건축에서의 노력으로서 환경성, 경제성, 사회성 향상의 통합적 목표를 공유하고 있다. 이와 같은 목표를 달성하기 위해서는 건축물에서의 에너지, 수자원, 건축재료 사용에 의한 환경적 영향의 감소, 경제적 효과의 증진, 재실자의 건강 및 쾌적 향상 등이 요구된다.

최근 지속가능한 건축의 중요성과 필요성에 대한 인식은 크게 증가하고 있다. 그러나 지속가능한 건축의 실질적 실현은 여전히 저조한 편이다. 이는 환경성과 경제성을 대립적 구도로 인식하고 있는 의사결정자들이 지속가능한 건축을 위한 비용을 경제적 부담으로 느끼기 때문이다. 그러나 이와 같은 경제적 부담에 대한 인식을 바꿀 수 있는 환경시장은 아직 활성화되어 있지 않고, 전생애비용의 경제적 효과에 대한 정보를 접근하는 것은 쉽지 않은 상황이다.

따라서 지속가능한 건축의 개발 및 보급을 위해서는 시장을 활성화하고, 이를 뒷받침할 수 있는 제도적 정책이 필요하다. 또한 의사결정자들이 지속가능한 건축의 환경성 및 경제성에 대한 정보를 쉽게 접근할 수 있게 함으로 지속가능한 건축의 경제성에 대한 인식을 새롭게 하는 한편, 경제적 효과를 증진시킬 수 있도록 하는 경제적 인센티브 등의 방안이 더욱 구체화되는 것이 필요하다.

지속가능한 건축의 성능에 대한 정보는 일반인 및 전문가 교육프로그램의 활성화, 컨설팅 전문가의 양성, 평가도구의 개발 등으로 접근성을 증진시킬 수 있다. 그 중에서 평가도구의 개발은 지속가능한 건축의 환경적, 경제적, 사회적 효과를 객관적으로 확인함으로써 지속가능한 건축의 보급 및 활성화에 크게 기여할 것이다.

제 3 장 지속가능한 건축의 성능평가도구 분석

제 1 절 지속가능한 건축의 성능평가도구

1. 환경영향평가도구

지속가능한 건축의 성능평가는 환경영향평가의 개념 및 방법을 차용하여 개발한 경우가 많다. 또한, 환경성능에 대한 다양한 개념 및 평가방법에 대해서도 많은 영향을 받고 있다. 특히, 건물의 전생애 평가는 일반제품의 환경영향평가를 건물 특성에 맞게 수정하는 방안이 지속적으로 검토되고 있다.

환경영향평가는 건전한 환경관리 및 환경의 지속성에 대한 필요에 따라 개발되었다. 특히, 환경영향평가는 환경과피를 사전에 예방하기 위한 법적제도로서 시작되었으며, 미국에서 국가환경정책법(National Environmental Policy Act: NEPA)이 입법화 된 이후, 다른 나라로 급속하게 과급되었다.

환경영향평가의 방법은 지난 30년간 지속적으로 개발되어 왔다. 대표적인 성능평가에는 전생애평가(Life Cycle Assessment), 환경영향평가(Environment Impact Assessment, EIA), 환경피해평가(Damage Assessment), 환경위험평가(Risk Assessment)³⁸⁾ 등이 있다.

환경영향평가의 역할은 '입법, 정책, 프로그램의 개발, 사업, 운영절차 등이 환경과 사람들의 건강과 복지에 미치는 영향을 확인하고 예측하며, 또한 그 영향에 대한 정보를 해석하고 알려주는 것'으로서 환경적 측면 뿐 아니라 경제적, 사회적인 종합적인 접근을 하고 있다. ³⁹⁾이를 위하여 다양한 평가기법들이 사용되고 있으며, 정책적인 차원에서 사용되고 있는 환경영향평가기법들을 정리하면 다음 표 3.1과 같다.

38) SETAC-Europe Working Group on Conceptually Related Programmes. (1997). Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes. Brussels : SETAC Press

39) Glasson, J., Therivel, R., & Chadwi, A. (1994). Introduction to Environmental Impact Assessment, London : Routledge

<표 3.1> 환경영향평가의 종류 및 특징

종류	평가의 목적	평가 방법 및 범위	예시
환경영향평가 (Environmental Impact Analysis, EIA)	사업이나 정책이 자연 환경에 미치는 영향을 파악하고 연구 건설사업 이후 이로 인해 주변의 자연환경이 변하는 정도를 예측하고 분석하는 작업	범위 : 사업이 환경에 미치는 자연과학적 측면에 대한 평가라고 말할 수 있지만, 인간 행위의 변화로 인한 환경영향평가까지 포함	
경제영향평가 (Economic Impact Analysis, EIA)	환경정책이 입안될 경우, 이로 인한 경제 영향을 분석	방법 : 분석모형은 각 산업의 산출물과 투입물로 사용하는 기술적 관계를 고려하여 파급효과를 분석 범위 : 경제의 성장률, 실업률, 각 산업이 국민경제에서 차지하는 비중, 수출 수입과 같은 거시적인 부분	대기배출 감소를 유도하기 위해 에너지가격을 올리고, 탄소세를 부과하면, 탄소세가 3%일 경우에는 국내 총생산(GDP)이 약 0.16%가 줄어들고, 탄소세가 10%일 경우에는 0.5% 하락하는 등의 기술적 관계에 대한 분석
비용편익분석 (Cost-Effectiveness Analysis, CEA)	목표로 하고 있는 환경의 수준을 달성하기 위해 사용할 수 있는 여러가지 정책 중 가장 비용 효과적인 방법을 찾는 것		자동차로 인한 대기오염을 현재의 70% 수준으로 줄이려고 했을 때, 사용할 수 있는 갖가지 방법에 소요되는 비용을 분석하고, 이 가운데 가장 적은 비용을 들여 30%의 저감을 이루어 낼 수 있는 방법을 찾는 것
환경피해평가 (Damage Assessment)	사람의 행위로 인해 자연환경이 입은 피해를 평가하는 것	방법 : 환경복구에 필요한 피해보상액과 책임이 결정 범위 : 환경피해금액은 훼손된 자원의 가치와 그 자원을 복구하는데 소요되는 비용을 각각 계산하여 이 가운데 적은 비용으로 결정	
환경위험평가 (Risk Assessment)	유조선의 기름유출이나 원자력 발전소의 방사능 유출등과 같은 독성물질에 의해 발생하는 간헐적인 오염 사고를 줄이기 위한 정책을 평가하기 위해 사용		

2. 지속가능한 건축의 성능평가도구

건물의 환경성능평가는 건설행위 및 건물에 의한 환경영향을 평가하기 위하여 시작되었다. 초기에는 공사단계에서의 환경적 영향, 재활용을 위한 디자인, 건물자재평가 등의 정량적인 관점에서의 평가가 개발되었으나, 정성적인 요소에 대한 평가까지 확대되고 있다.

현재 지속가능한 건축성능평가에는 다양한 도구들이 있으며 평가방법과 그 구성이 매우 다양하다. Reijnders and van Roekel⁴⁰⁾는 많은 평가 도구들을 대략 두 개의 카테고리로 나누었으며, 이는 점수와 평가항목에 기초한 성능점수평가와, 자재와 에너지의 흐름에 의한 정량적인 입/출력 데이터를 기초로 한 물리적인 라이프사이클 접근의 정밀정량평가이다.

(1) 성능점수표시도구

성능점수표시도구는 지난 10년간 시장에서의 지속가능한 건축에 대한 다양한 장려정책과 규제로 인해 사용이 빠르게 보급되어 왔다. 지속가능한 건축의 성능인증을 획득하는 것을 목표로 하는 경우가 많고, 각 제시된 평가항목에 해당하는 점수를 입력하여 모든 점수를 합산하는 결과로 도출되는 것이 보통이다.

성능점수표시도구는 일반적으로 개별평가방법(Prescriptive Path)을 사용하기 때문에 건물 성능의 평가기준을 제시하는 평가항목으로 평가하는 것이 대부분이다. 각 평가항목에 가중치를 적용하여 계산되는 점수를 합산하고 이를 등급으로 환산한다. 등급으로 환산되면 건물 간 성능비교에 용이하게 쓰인다.

다음 표 3.2는 성능점수표시도구의 종류 및 특징이다.

40) Reijnders, L. & van Roekel, A. (1999) Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. *Journal of Cleaner Production*, 7(221), 5.

<표 3.2> 성능점수표시도구의 종류 및 특징

평가 도구	개발기관 / 국가	특징	
LEED	USGBC USA	특징	<ul style="list-style-type: none"> -초기목적은 지속가능한 건축시장의 활성화임 -건물의 전생애적 관점에서 통합성능을 평가함. -건물의 디자인도구로서 사용하는 것이 그 목적임 -가중치의 정보는 투명하지 않음. -일반적으로 개별기준평가모델이지만 에너지 부분에 있어서는 에너지 시뮬레이션을 사용하여 성능규정을 하는 HERS Index를 도입해서 사용하고 있음.
		평가 항목	지속가능한 부지개발, 에너지 및 대기, 자재 및 자원, 실내환경의 질
BREEAM	BRE UK	특징	<ul style="list-style-type: none"> -지역 및 세계환경에 건축이 미치는 환경적 영향 최소화가 목적 -건물의 전생애적 관점에서 통합성능평가함. -건물의 디자인 및 환경성능평가로서의 도구 -가중치는 건물주, 투자자 및 각 분야의 전문가들의 의견을 바탕으로 구성되었으며 지속적인 업데이트가 이루어지고 있음. 성능결과는 각 성능의 합산한 값임. -일반적으로 개별기준평가모델이지만 에너지 부분에 있어서는 간단한 worksheet을 사용하는 에너지 지표를 사용하고 있으며, 건축재료 및 수자원에 있어서는 LCA 데이터에 기초하고 있음.
		평가 항목	에너지의 사용, 건강과 웰빙, 대기오염, 교통, 부지의 사용, 생태환경, 건축자재, 수자원
CASBEE	JSBC Japan	특징	<ul style="list-style-type: none"> -건물의 전생애적 관점에서 통합성능평가함. -건물의 디자인 및 환경성능평가로서의 도구 -가중치는 도출하였으며, 환경의 질/환경부하 부분으로 나누어 BEE라는 지수로서 통합성능을 나타냄 -개별평가기준평가모델을 사용하고 있으며, LCA 데이터베이스를 부분적으로 사용하고 있으나 수학적 모델을 사용하고 있지는 않음. -건물의 운영단계가 평가의 주요범위이며, 도시적 차원에서의 열섬효과 및 간접 환경부하를 일으키는 지역기반시설에 대한 영향 함께 고려
		평가 항목	실내환경, 서비스의 질, 외부환경, 에너지, 자원 및 건축재료
SBTool	iiSBE CA	특징	<ul style="list-style-type: none"> -건물의 전생애적 관점에서 통합성능평가하며 모든 평가방법론은 건물의 최소한의 전생애기간인 20년을 기준으로 함. -건물의 디자인 및 환경성능평가로서의 도구 -가중치는 두 가지 타입을 가지고 있는데, 이는 iiSBE에서 설정한 기본값 혹은 각국에서 결정한 가중치 중 하나를 선택할 수 있게 되어 있음. 각국에서 결정한 가중치는 자국의 상황에 맞게 설정된 값임. -개별기준평가모델이며, 각 평가항목의 성능결과를 가중치를 곱하여 합산하면 총점수가 됨.
		평가 항목	부지의 선택 및 프로젝트 계획, 에너지 및 자원의 소비, 환경부하 실내환경의 질, 건물시스템의 기능 및 제어, 사회적 경제성 성능, 문화의 영속성

(2) 라이프 사이클 평가

라이프사이클 평가는 환경을 에너지 및 자재사용의 시스템으로 이해하고⁴¹⁾ 건물로 인해 유발되는 환경오염과 자원고갈에 대하여 해당 건축물에 투입(input)과 배출(output)을 연계하여 평가함으로써 환경부하의 정도로 나타내는 것이 기본적인데, 따라서 건물을 정량적 평가에 초점을 두고 있는 Life-Cycle Assessment(LCA) 원리를 기본으로 하고 있는 것이 대부분이다.

Life-Cycle Assessment(LCA) 원리는 건물의 전생애 걸쳐 잠재적인 환경영향을 분석하는데 있어 객관적이며 과학적으로 연구를 진행할 수 있는 방법론으로 평가되며, 이에 현재 국내외에서 건축분야를 포함한 전 산업분야에서 높은 활용도를 나타내고 있다. LCA는 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가 및 해석의 단계로 이루어진다.

이때의 투입(input)은 건축물에 투입된 건축자원을 의미하거나 건축자재 및 재료 등 건축물에 투입된 유무형의 자원소비를 의미하며, 배출(output)은 자원의 소비로 발생하는 온갖 환경적 영향을 나타낼 수 있다.

건축물에 투입(Input)된 자재 및 재료, 에너지 수자원 등의 사용으로 발생할 수 있는 배출(Output)물질은 CO₂, CH₄, CFC, SO_x, NO_x 등과 각종 폐기물이며, 이에 의해서 자원의 고갈, 지구온난화, 산성화 등에 영향을 미치게 된다. 이러한 환경평가는 국제협약과 국내 환경기준, 그리고 환경독성화학회(Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)나(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)에서 제시하는 환경영향 범주 및 항목들을 들 수 있다. 이들 항목을 정리하면, 크게 자원, 대기, 수질 및 생태계, 폐기 등의 영향범위로 구분할 수 있다.

다음 표 3.3은 라이프사이클 평가도구의 종류 및 특징이다.

41) Baccini, P. A. (1997). City's metabolism: towards the sustainable development of urban systems. *Journal of Urban Technology*, 4(2), 27-39.

<표 3.3> 라이프사이클 평가도구의 종류 및 특징

평가 도구	개발기관 / 국가	특징	
A T H E N A	ASI, Canada	특징	<ul style="list-style-type: none"> -사용자가 일반적인 조립타입을 선택하거나, 각 제품의 성능을 넣으면 이를 완전 분해해서 LCI 데이터베이스로 가져가고 LCA 분석 -복잡한 계산과정을 거쳐서 높은 수준의 건축자재/제품의 정보를 제공 -단위면적당 혹은 설정된 표준디자인을 기준으로 서로 비교가능
		평가 체계	
B E E S 3 · 0	NIST, USA	특징	<ul style="list-style-type: none"> -LCA 평가를 사용한 환경성능평가 / ASTM 기준을 사용한 경제성 평가 -환경/경제성평가는 다속성의사결정방법을 사용 -환경, 경제적 영향에 있어서 선택한 가중계수를 적용, 수자원소비, 자원고갈, 생태독성과 같은 다양한 환경변수들로 가중치계산 -환경성/경제성 평가의 균형을 맞춰줌. -200개의 데이터베이스에 있는 각 건축재료를 직접 비교가능
		평가 체계	
E Q U E R	France	특징	<ul style="list-style-type: none"> -건물의 Ecoprofile을 비교해줌. -건물모델링을 기초로 평가하며 이 프로그램은 열환경 시뮬레이션인 COMFIE와 연동함. 재생에너지(자연형/설비형 태양열, PV 모듈)의 사용을 통합할 수 있음. -기능단위는 특정기간을 포함하는 전체건물단위임 -사용기간 동안의 채실자에 의한 환경영향이 포함 -건물의 폐기물시스템, 우수,중수이용시스템 등에 대한 건물간 비교 가능
		평가 체계	
G R E E N C A L	NISE, NE	특징	<ul style="list-style-type: none"> -환경부하를 계산 -4개의 모듈로 구성(자재, 에너지, 수자원사용, 교통) 자재: 자재선택에 따른 영향 / 에너지: 운영단계에서의 에너지사용 수자원: 운영단계에서의 수자원사용 / 교통: 직주거리에 따른 평가 -환경비용을 계산(Cost/m², 점수:1-2000)하여 평균점수를 표준 건물 (100점)과 비교
		평가 체계	

<표 3.3> 라이프사이클 평가도구의 종류 및 특징(계속)

평가 도구	개발기관 / 국가	특징	
E C O I L E F F E C T	Sweden	특징	<ul style="list-style-type: none"> -외부/내부 환경평가이며, 분리해서 평가함. -외부 : 에너지와 자재 사용 / 외부환경부하는 LCA에 의한 서로 다른 영향 카테고리의 기여에 따른 계산 -내부 : 실내환경평가 ·가중계수에는 잠재적인 피해가 적용되며, 표준건물과의 상대비교를 통한 평가
		평가 체계	
E C O - P R F I L E	DBUR, DN	특징	<ul style="list-style-type: none"> -간단한 건물의 환경성능평가방법 -외부환경, 자원, 내부환경으로 나누어 평가하고 결과를 나타냄 -각 항목은 4-6개 sub area로 되어 있으며, 전체 90개항목 -각각의 sub-area는 가중계수로서 계산 -성능점수표시방법을 채택하고 있지만, 정량평가가능
		평가 체계	
E C O I Q U A N T U M	IVAM, NL	특징	<ul style="list-style-type: none"> -LCA를 기초로한 전체적인 건물의 환경부하를 평가 -사용하기 편리하고 일반적으로 사용하는 건축자재나 제품에 대한 데이터베이스가 방대 -통합적 평가방법은 아님 -주거건물에만 적용 가능함 -디자인단계에서 대안비교시 사용
		평가 체계	
E N V E S T	BRE, UK	특징	<ul style="list-style-type: none"> -초기디자인 단계에서의 LCA 분석 / LCC 분석 -간단한 초기 데이터로 전반적인 환경영향을 분석할 수 있음. -부하는 평가점수로 계산되며, 사용자가 비교평가 할 수 있음. -평가점수(eco-points)의 가중계수는 다양한 환경문제의 중요성에 대해 사회적 합의를 바탕으로 한 BRE의 국가적 합의의 결과임.
		평가 체계	

제 2 절 지속가능한 건축의 성능평가도구 분석방법

1. 분석대상

분석을 위한 선택한 성능평가도구는 다음 표 3.4와 같다. 성능점수표시도구의 경우에는 전 세계적으로 알려져 있으며 각국 시장의 활성화에 기여하고 있는 활발하게 사용되는 평가도구들이다. 라이프사이클 평가도구는 컴퓨터 프로그램을 바탕으로 평가하는 도구가 대부분이며 주정부 및 지방자치단체의 주요한 재정지원으로 개발된 것이 특징이다.

<표 3.4> 분석대상

성능점수표시도구 (Rating System)	라이프사이클 평가도구 (Life Cycle Assessment Tool)
BREEAM	ATHENA
CASBEE	BEES3.0 ⁴²⁾⁴³⁾
KGBC	Eco-profile
LEED	Eco-Quantum ⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾
SBTool	EQUER
	Invest
	GreenCal

2. 분석방법

지속가능한 건축의 성능평가도구 분석은 환경영향평가의 기본적 체계를 기초로 실시하였다. 환경영향평가는 지속가능한 건축의 성능평가와 많은 유사한 점을 가지고 있으면서 지난 30년간 지속적으로 개발되었고, 평가체계에 대해서도 연구가 진행되는 분야이다.

42) IEA. (1999). IEA-BCS Annex 31. Energy related environmental impact of buildings. Paris: International Energy Agency.

43) Berge, B. (1995). Building materials for a sustainable development, NKB working paper 07. Helsinki : Nordic Committee for Building Standards.

44) Kortman, J., Ejwik, H., Mak, J., Anink, D. & Knapen, M. (1998). Proceedings from Green Building Challenge 1998 : Presentation of test by architects of the LCA-based computer tool Eco-Quantum domestic. Canada : Vancouver

45) Lowe, F., Kortman, J. & Howad, N. (2000) Proceedings from Sustainable Building 2000 : Implementing environmental performance assessment methods: three international case studies. Maastricht.

46) Hedriks, C. (2000). Durable and sustainable construction materials. The Netherlands: Aeneas Technical Publishers.

환경영향평가의 체계는 많은 환경영향평가도구에서 동일한 문제점이 반복적으로 발생하게 됨에 따라 이에 대한 해결책으로서 개발을 시작했으며 현재는 환경독성화학회(Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)를 주축으로 정립하고 있다. 다음 표 3.5는 환경영향평가의 성능평가체계이다.

<표 3.5> 환경영향평가의 평가체계

Aspects	Categories	
Dimensions of Performance	Main dimension	
	Environmental	
	Economic Social	
Character of the approach	Emphasis on procedure	
	Problem identification	
	Problem formulation	
	Modelling	
	Interpretation	
	Implementation	
	Feedback and learning	
	Emphasis on modelling	
	Flexibility in model(s) used	
	Defined model(s) used	
Additional models used for interpretation		
System boundaries	Spatial modelling	
	One geographical area(single site)	
	Many geographical areas(many sites)	
	No defined geographical areas(no defined sites)	
	Time modelling	
	Snapshot view somewhere in time (past, present or future)	
	Snapshot views at intervals over a period of time	
	Whole lifetime included (use of discounting rate)	
	Type of data (input and output data)	Subject of data
		Physical systems
Social and economic systems		
Nature of data		
Evaluation of results/ interpretation	Quantitative	
	Qualitative	
	Presentation of results	
	Single parameter	
	Few parameters	
	Many parameters	
	Purpose of additional models for evaluation	
	To aggregate data	
To identify critical data		

일반적으로 환경영향평가는 성능의 차원, 평가방법, 평가의 범위, 결과의 출력방법 등으로 분류할 수 있다. 환경영향평가에서 주로 다루지는 성능의 차원(Dimensions of Performance)은 환경성(Environmental), 경제성(Economic), 사회성(Social)으로 구분할 수 있으나, 환경성 즉, 자원의 사용량, 폐기물의 발생량, 오염물질 배출량 등에만 초점을 맞추기도 하고, 경제성, 사회성을 모두 포함하기도 한다.

평가방법은 개별기준 평가모델(Emphasis on procedure)과 총량기준 평가모델(mathematical model)로 나눌 수 있다. 일반적으로 개별기준평가와 총량기준평가를 모두 사용하는 것이 특징이지만 각 평가도구가 강조하는 성능을 평가하기에 적절한 방법을 좀더 사용한다. 개별기준평가는 기준제시를 통한 평가이다. 총량기준평가의 경우에는 수학적 모델을 사용하여 총량계산을 하는 것이 특징이며 따라서 대부분 컴퓨터 알고리즘을 활용하여 평가한다.

평가의 범위는 일반적으로 공간적 범위와 시간적 범위로 나뉜다. 공간적 범위는 평가대지의 범위에 따라 달라지며 시간적 범위는 평가가 수행되는 시점으로 설명할 수 있다. 시간적 범위는 경우에 따라 환경변화의 흐름을 파악할 수 있는 일정기간을 평가하거나 전생애를 평가하기도 한다.

출력데이터는 평가결과를 그대로 출력할 수도 있고, 혹은 좀더 종합적인 형태로 만들 수도 있다. 예를 들어, 특정 환경영향에 관련한 대기배출물질을 지구온난화지수(GWP, Global Warming Point)로 종합하면 출력데이터를 단일지표화할 수 있다. 환경성능평가의 특징에 따라 출력데이터가 달라지지만 의사결정에 있어서는 출력데이터를 간단하게 하는 것이 유용한 것으로 조사되고 있다.

환경영향평가체계는 이미 Jösson⁴⁷⁾에 의해 건축자재의 환경성능평가도구의 초기비교분석을 위해 사용되었던 분석적 틀의 일부이기도 하며, Anna Forsberg⁴⁸⁾가 LCA 평가도구의 분석을 위하여 사용된 평가틀이기도 하다.

47) Jösson, A. (2000). Tools and methods for environmental assessment of building products-methodological analysis of six selected approaches. Building and Environment, 35, 223-38

48) Forsberg, A. & Malmborg, V. F. (2004). Tools for environmental assessment of the built environment. Building and Environment 39, 223-228.

제 3 절 지속가능한 건축의 성능평가도구 분석

1. 성능의 차원

성능의 차원은 환경성, 경제성, 사회성으로 분리될 수 있다. 이에 평가도구에서 평가하는 내용을 분류하여 분석하였다. 환경성의 경우, 전 지구적 환경 부하를 감소시키는데 있어서 해당되는 내용, 경제성은 경제적 효과에 대한 내용, 사회성은 재실자의 건강 및 쾌적(만족감) 향상을 위한 내용을 등이 포함된다.

대부분의 평가도구는 건물의 환경적 영향(Environment)에 대해서 평가하고 있으며, 환경영향은 에너지, 자재, 수자원으로 나눌 수 있는 것으로 나타났다. 경제성(Economic)의 경우는 SBTool, BEES 3.0, Envest에서만 다루고 있는 것으로 나타났으나 SBTool의 경우, 경제성을 직접 평가하기 보다는 평가항목으로서 접근하고 있다. 사회성(Social)은 그 범위가 매우 넓지만 재실자의 쾌적/건강으로 대부분 제한하고 있는 것으로 나타났으며, 일부 평가도구에서는 건물대지 및 주변 환경의 어메니티, 커뮤니티 및 편의 등에 대하여 다루고 있다. 그러나 라이프사이클 평가도구에서는 Eco-profile에서만 실내공기환경에 대해서 다루고 있는 것으로 나타났으며 다른 평가도구는 다루지 않는다.

<표 3.6> 성능의 차원

구분	이름	성능의 차원(Dimensions of Performance)		
		환경성 (Environment)	경제성 (Economic)	사회성 (Social)
Rating Tool	BREEAM	✓	-	✓(IEQ)
	CASBEE	✓	-	✓(IEQ)
	KGBC	✓	-	✓(IEQ)
	LEED	✓	-	✓(IEQ)
	SBTool	✓	✓	✓(IEQ)
LCA Tool	ATHENA	✓	-	-
	BEES3.0	✓	✓	-
	Eco-profile	✓	-	✓(IAQ)
	Eco-Quantum	✓	-	-
	Envest	✓	✓	-
	EQUER	✓	-	-
	GreenCal	✓	-	-

2. 평가의 방법

평가방법은 일반적으로 총량기준평가모델과 개별기준평가모델로 나눌 수 있다. 개별기준평가모델은 평가항목을 사용하여 평가하기 때문에 평가범위가 다양할 수 있는 장점이 있다. 총량기준평가모델의 경우, 성능을 정밀하게 평가할 수 있는 수학적 알고리즘을 가지고 있는 것이 대부분이다. 총량기준평가모델은 전문성으로 인해 평가시 전문가 수와 소요시간이 상대적으로 많이 소요되는⁴⁹⁾ 문제를 발생시키지만 객관적 결과를 도출할 수 있는 장점 때문에 신뢰성이 높다.

기존의 성능점수표시도구는 개별기준평가모델을 사용하는 경우가 많고, 라이프 사이클 평가도구는 총량기준평가모델을 사용하는 것이 일반적이었다. 그러나 분석결과에 따르면 개별기준평가모델을 기초로 하고 있는 성능점수표시도구인 LEED의 경우에는 최근 정확한 결과를 도출하기 위하여 간단한 총량기준평가모델 알고리즘을 포함하고 있으며, Envest의 경우에는 건물설계과정을 평가도구에 포함시키기 위하여 개별기준평가방법을 함께 포함하고 있다. 이러한 평가방법의 통합은 각 평가방법의 단점을 보완하는 목적으로 이루어지고 있다. 그러나 일부 평가도구의 경우에는 성능을 평가하기에 적절하지 않는 평가방법만을 사용하기도 한다.

<표 3.7> 평가방법에 따른 분류

구분	이름	평가의 방법	
		개별기준 평가모델	총량기준 평가모델
Rating Tool	BREEAM	✓	-
	CASBEE	✓	-
	KGBC	✓	-
	LEED	✓	-
	SBTool	✓	✓
LCA Tool	ATHENA	-	✓
	BEES3.0	-	✓
	Eco-profile	✓	-
	Eco-Quantum	-	✓
	EQUER	-	✓
	Envest	✓	✓
	GreenCal	✓	✓

49) Lloyd, S., Landfield, A. & Glazebrook, B. (2005). Integrating LCA into Green Building Design, building design & construction.

3. 평가의 범위

평가에 있어서 시간적 범위란 건물의 전생애 가운데 대상이 되는 평가기간을 의미한다. 기존 라이프 사이클 평가도구는 건축자재에 대한 평가가 대부분이었으나 최근에는 건물자체를 '제품'으로 보는 시각이 증가함에 따라 전생애를 다루고자 하는 노력이 증가하고 있으며, 그 중에서도 운영단계에 초점을 맞추고 있다. 최근 개발된 EQUER, Envest의 경우에는 건물의 운영단계 평가를 위해 간단한 건물에너지해석 엔진을 연동하고 있다.

평가의 공간적 범위는 대지를 포함한 전체공간에서부터 건축자재에 이르는 것으로 분류할 수 있다. 성능점수표시도구의 경우, 엄밀한 정량적 계산을 포함하지 않기 때문에, 대지에서 자재까지 전 범위를 포함하는 것이 대부분이며, 라이프 사이클 평가도구의 경우, 어느 한 단계에 대한 정밀한 해석이 이루어지는 것으로 나타났다. 대지의 경우에는 정밀한 평가를 하기에는 공간적 범위가 매우 크므로 거의 다루고 있지 않다.

시간적 범위는 전생애에서 특정 범위까지 평가의 목표에 따라 다양하게 선택할 수 있다. 그러나 공간적 범위에서 건물전체를 선택하게 될 경우, 시간적 범위에서는 운영단계에서의 평가가 반드시 포함되어야 한다. 일반적으로 전체건물의 공간적 범위를 선택하고 있는 평가도구의 경우에는 운영단계에서 발생하는 영향을 평가하는 것이 대부분이지만 일부 평가도구에서는 이러한 범위의 일치가 보이지 않는 경우도 있다. 특히, 라이프사이클 평가도구인 Athena는 전체건물에 대해서 다루고 있는 것으로 알려져 있지만 건물자재가 조합되었을 때 생기는 에너지 사용에 대한 평가는 아니며 각 자재 데이터의 합산결과 일 뿐이므로 전체건물에 대해 다루고 있다는 평가범위의 의미를 사용자들에게 명확히 해석하여 알려주는 것이 필요하다.

<표 3.8> 평가의 공간적 범위에 따른 분류

구분	이름	평가의 목표			
		자재	조합제품 (Assemblies)	전체건물	건물의 대지
Rating Tool	BREEAM	✓	-	✓	✓
	CASBEE	✓	-	✓	✓
	KGBC	✓	-	✓	✓
	LEED	✓	-	✓	✓
	SBTool	✓	-	✓	✓
LCA Tool	ATHENA	✓	✓	✓	-
	BEES3.0	-	-	-	-
	Eco-profile	-	-	✓	-
	Eco-Quantum	✓	✓	-	-
	EQUER	-	-	✓	-
	Envest	-	✓	-	-
	GreenCal	-	✓	✓	-
	GreenCal	-	✓	✓	-

<표 3.9> 평가의 시간적 범위에 따른 분류

구분	이름	전생애(Life Cycle)			
		생산단계	공사단계	운영 및 관리단계	폐기단계
Rating Tool	BREEAM	✓	✓	✓	✓
	CASBEE	✓	✓	✓	✓
	KGBC	✓	✓	✓	✓
	LEED	-	✓	✓	✓
	SBTool	✓	✓	✓	✓
LCA Tool	ATHENA	✓	✓	-	-
	BEES3.0	✓	-	-	-
	Eco-profile	✓	✓	✓	✓
	Eco-Quantum	-	✓	-	✓
	EQUER	-	-	✓	-
	Envest	✓	✓	✓	✓
	GreenCal	-	✓	-	✓

4. 결과의 출력방법

(1) 결과의 종합방법

결과값은 사용자에게 제공되는 마지막 출력데이터로서 결과값의 모습에 따라 평가결과의 사용범위가 달라질 수 있다. 최종 출력데이터는 각 성능의 평가결과가 통합되어 나타날 수도 있고, 자세히 나열될 수도 있다. 따라서 출력데이터의 종합정도에 따라 통합지수, 혹은 몇 개의 지수, 여러 개의 지수 등으로 나누어 볼 수 있는데, 출력결과가 단순할수록 의사결정단계를 감소시킬 수 있는 장점이 있는 장점이 있다.

분석 결과에 따르면, 라이프 사이클 평가도구는 평가결과를 그대로 출력하는 경향이 있다. 그러나 이렇게 결과를 그대로 출력하게 될 경우, 비전문가에게는 출력결과의 의미를 전달하는데 어려움이 생긴다. 반면에 성능점수표시도구의 경우에는 결과를 종합하여 단일지수화 하는 경우가 많으며 등급설정을 하는 것이 대부분이기 때문에 상대적으로 활용성이 높다. 통합된 결과는 디자인 대안간 비교에도 여러 형태로 쓰이고 있으며, 각 건물의 지속가능성 혹은 친환경성 정도를 한번에 파악할 수 있도록 하는 장점이 있다.

<표 3.10> 결과의 종합방법 및 지표의 수

구분	이름	지표	결과종합의 방법
Rating Tool	BREEAM	단일점수	각 영역의 평가항목에 가중치를 적용하여 합산함.
	CASBEE	환경지수	BEE(Building Environment Efficiency)의 결과를 계산하는 지수로 표현
	KGBC	단일점수	각 영역의 평가항목에 가중치를 적용하여 합산함.
	LEED	단일점수	각 영역의 평가항목에 가중치를 적용하여 합산함.
	SBTool	단일점수	각 영역의 평가항목에 가중치를 적용하여 합산함.
LCA Tool	ATHENA	단일점수	성능 점수는 표준건물로 지정된 건물의 성능을 zero(0)으로 했을 때 얻을 수 있는 상대적인 수치임. 마지막 결과는 단일점수로 합산
	BEES3.0	단일점수	환경성능(LCA approach) 경제성능(ASM LCC approach)의 합산
	Eco-profile	각 변수	3개의 영역 - 4-6의 하위영역 - 87개의 변수로 나타냄.
	Eco-Quantum	2 Eco-Quantum Score	12개의 환경적 영향인자를 4개의 환경평가를 하고, 가중치를 적용하여 합산하여 2개의 지수로 표현
	EQUER	각 변수	환경적 영향을 6개로 나누어 평가함.
	Envest	UK Ecopoints	환경데이터는 12개의 환경영향으로 분리됨
GreenCal	환경비용	100점에서 최고등급인 2000점 사이에서 성능을 기준으로 상대적인 점수로 계산하고, 환경비용으로 환산함.	

(2) 가중치의 설정

평가의 결과를 단일지수 혹은 몇 개의 지수로 결과를 종합하는 과정에서 가중치를 사용하게 되는데, 이때 설정된 가중치가 객관적이고, 신뢰할 수 있는 방법을 통하여 도출되었는지 여부에 따라 종합된 출력데이터의 신뢰성도 달라지게 된다.

라이프 사이클 평가도구의 경우, LCA 결과를 바탕으로 각 환경영향에 대한 가중치를 설정하는 것으로 나타났다. LCA 결과를 바탕으로 가중치를 설정하면 그 결과는 정량적 데이터를 바탕으로 하기 때문에 이를 신뢰할 수 있는 장점이 있지만 이는 환경성능에 대해서만 적용이 가능하다는 한계가 발생하게 된다. 또한 각 가중치가 의미하는 바를 일반 평가도구 사용자들에게 설명하기는 쉽지 않은 문제점이 있다.

성능점수표시도구의 경우에는 객관적 방법에 의해서 가중치가 설정되지 않는 경향이 있고, 설정방법에 대한 투명성이 낮아 출력데이터에 대한 신뢰도가 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 전문가 설문 혹은 사회적 합의를 통하여 가중치를 도출하고 있는데, 일부에서는 객관성을 더하기 위해 LCA 결과를 함께 반영하기도 한다. 또한 지역적으로 중요하게 여기는 성능이 달라질 수 있으므로 각 지역의 전문가에 의하여 가중치를 재설정하는 방법을 통하여 지역적 가중치를 적용하기도 한다.

<표 3.11> 가중치 설정방법에 따른 분류

구분	이름	가중치 설정방법		
		전문조사	LCA	전문가 설문
Rating Tool	BREEAM	-	-	-
	CASBEE	✓	-	✓
	KGBC	-	-	✓
	LEED	✓	-	✓
	SBTool	✓	✓	✓
LCA Tool	ATHENA	-	✓	-
	BEES3.0	-	✓	-
	Eco-profile	-	✓	-
	Eco-Quantum	-	✓	-
	EQUER	✓	✓	-
	Envest	-	✓	-
	GreenCal	-	✓	-
GreenCal	-	✓	-	

제 4 절 소 결

환경영향평가도구의 평가체계를 지속가능한 건축의 성능평가도구에 대입하여 설정한 결과에 따르면 지속가능한 건축의 성능평가의 구조적 특징은 성능의 차원(Dimensions of Performance), 평가의 방법(Character of the Approach), 평가의 범위(System Boundaries : Time Modelling, Spatial Modelling), 결과의 출력(Presentation of Results)인 것으로 나타났다. 다음의 구조적 특징을 바탕으로 분석을 실시한 결과 세부분류는 다음과 같다.

분류	세부분류
성능차원 (Dimension of Performance)	주요 분류(Main dimension)
	환경성 Environmental
	경제성 Economic
	사회성 Social
평가방법 (Character of the approach)	개별기준평가(Prescriptive Path)
	총량기준평가(Performance Path)
평가범위 (System boundaries)	공간적 범위(Spatial modeling)
	건축자재(Material)
	조합품(Assemblies)
	건물(Whole Building)
	건물의 대지(Building Site)
	시간적 범위(Time modeling)
	자재의 생산(Product)
	공사(Construction)
	운영(Operation)
	전생애(Whole Life)
평가의 결과 (Evaluation of results/interpretation)	출력데이터의 종합정도(Presentation of results)
	단일지표(A Single Index)
	몇 개의 지표(Few Index)
	수많은 지표들(Many Index)
	가중치의 설정방법(Weighting)
	정량적 가중계수의 설정
정성적 가중계수의 설정	

각 구조적 특징에 따라 성능평가도구를 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 건축성능평가에서 다루고 있는 성능(Dimensions of Performance)은 환경성, 경제성, 사회성으로 분류될 수 있다. 경제성 평가의 경우, 실질적인 경제성 평가를 다루고 있는 평가도구는 아직 2-3개에 불과한 것으로 나타났지만 경제성 평가를 포함하고 있는 경향이 증가하고 있는 추세이다. 이는 지속가능한 건축에서 추구하는 성능을 모두 다루는 종합성능평가로의 개발경향

을 나타내지만 평가하고자 하는 성능이 확대됨에 따라 지속가능한 건축의 성능과의 연계성이 떨어지는 평가항목이 무분별하게 포함되는 문제점도 나타나고 있다.

2) 평가의 방법(Character of the Approach)은 크게 개별기준평가(Prescriptive Path), 총량기준평가(Performance Path)로 대별할 수 있는 것으로 나타났다. 크게 성능점수표시도구는 개별기준평가를, 라이프사이클 평가도구는 총량기준평가를 사용하는 것으로 나타났지만 최근에는 두 가지를 모두 사용하는 경향을 보인다. 이는 성능의 특성에 적절한 평가방법을 설정하기 위하여 채택되는 것이며, 평가결과의 객관성을 증진시키지만 여전히 적절하지 않은 평가방법이 선택되어 평가결과의 신뢰성이 우려되는 평가도구 또한 많은 것으로 분석되었다.

3) 평가의 범위(System Boundaries : Time modelling, Spatial modelling)는 시간적 범위와 공간적 범위로 나눌 수 있다. 시간적 범위는 어느 한 시점에서 건물의 전생애까지 다양하게 설정할 수 있다. 공간적 범위의 경우, 건축자재에서 대지까지 설정할 수 있으나, 대지의 경우에는 그 범위가 모호할 수 있으므로 건물로 제한하였다. 공간적 범위는 크게 건축자재, 조립품(Assemblies), 건물로 분류할 수 있다.

4) 결과의 출력(Presentation Of Results)은 평가결과의 종합(Data aggregation)방법에 따라 달라진다. 평가결과를 종합하는 과정에서 필요한 것은 가중치의 설정(Weighting)이며, 결과의 종합정도에 따라 단일지수로 표현될 수도 있고, 평가된 결과를 전부 출력할 수도 있다. 결과의 종합정도는 출력데이터의 활용성에 영향을 미치게 되는데, 단순한 출력데이터일수록 활용성이 증가하지만 일부 라이프사이클 평가도구는 평가결과를 그대로 출력함으로써 전문가들에게만 해석되는 문제가 발생하는 것으로 나타났다.

앞서 제시한 특징은 성능평가의 체계를 구조를 이룰 수 있는 기본적인 특징으로 판단된다. 그러나 기본적인 특징을 바탕으로 분석했을 때, 평가도구의 신뢰성과 활용성을 떨어뜨릴 수 있는 문제가 반복적으로 나타났으며, 이는 성능평가도구가 개발될 때 발생하는 한계에 의한 것으로 사료되었다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 개발단계에서 사용될 수 있는 성능평가도구의 체계(Frame of Assessment Tool)의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

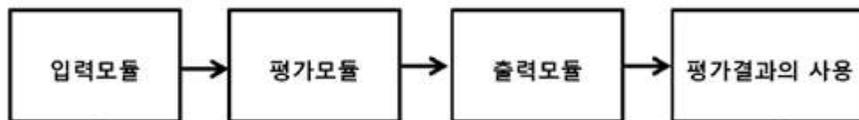
제 4 장 지속가능한 건축의 성능평가체계 정립

제 1 절 지속가능한 건축의 성능평가 기본적 틀

1. 모듈의 분리

앞서 분석한 결과에 따르면, 지속가능한 건축의 성능평가도구의 특징은 크게 성능의 차원, 평가의 방법, 평가의 범위, 결과의 출력방법 등으로 설명할 수 있다. 이러한 특징은 지속가능한 건축의 성능평가의 기본적인 구조(Framework)를 이루고 있으므로 이를 성능체계의 기본내용으로 사용하고자 한다. 그러나 기본적 틀은 조직적 구성을 함께 필요로 하므로 모듈로 분리하였다.

평가도구는 일반적으로 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈로 분리할 수 있으며 각 모듈의 평가순서는 다음 그림 4.1과 같다.

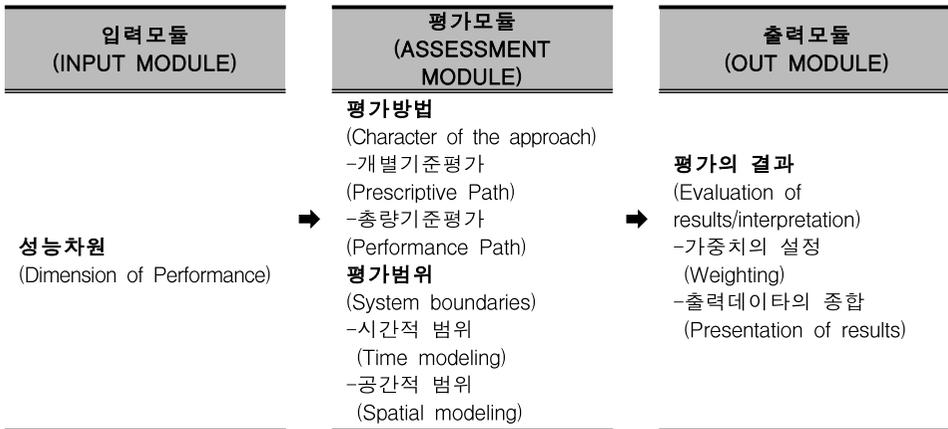


(그림 4.1) 평가도구의 모듈

각 모듈은 지속가능한 건축의 성능평가도구의 특징에 해당하는 내용을 수행하게 된다. 입력모듈은 성능의 차원을 다루는 모듈로 분리하였다. 성능의 차원은 평가내용이 설정되는 특징을 가지며 설정된 내용에 따라 데이터의 수집이 이루어진다. 평가모듈에서는 평가의 방법 및 범위를 다루게 된다. 평가모듈의 설정에 따라 평가의 방법 및 범위가 설정된다. 평가결과의 출력은 출력모듈에서 다루는 것으로 분리하였다. 출력모듈은 평가결과를 가공하여 사용하기 용이하게 만드는 특성을 포함한다.

다음 표 4.1은 지속가능한 건축의 성능평가 특성을 각 모듈로 분리한 것이다

<표 4.1> 지속가능한 건축의 성능평가특성에 따른 분류



2. 모듈의 내용 및 역할

(1) 입력모듈

입력모듈(Input Module)은 평가대상의 정보가 입력되고, 모델링되는 모듈이다. 따라서 입력모듈에서는 정보의 수집(data collection) 및 정보의 가공(data process)이 이루어진다. 그러나 정보를 수집, 가공하기 위해서는 그전에 수집할 정보의 내용을 먼저 설정해야 한다. 이는 ‘어떠한 성능을 평가할 것인가’를 설정하는 데서 비롯되며, 결국 ‘성능의 달성을 통해 추구하고자 하는 최종목표는 무엇인가로 거슬러 올라간다.

따라서 ‘추구하는 최종목표’, ‘목표를 달성하기 위한 성능’ 및 ‘성능을 구성하는 하위항목’ 등의 고찰이 필요하며 이를 목표-성능-하위항목에 이르는 긴밀한 위계로 정립하는 것이 필요하다. 이 위계는 성능의 추적(Investigated Dimension)을 통하여 정립할 수 있다.⁵⁰⁾

만약 이러한 성능위계가 정립되지 않으면 평가내용이 실제로 원하는 성과와 멀어지는 경우가 발생할 수 있다. 목표-성능-평가내용 위계의 정립을 통한 입력모듈의 설정은 평가의 실제 내용과 달성하고자 하는 목표의 연관성이 감소하는 오류를 방지할 수 있다.⁵¹⁾

50) Deru, M. & Torcellini, P. (2005). Performance Metrics Research Project – Final Report. CO : National Renewable Energy Laboratory

(2) 평가모듈

평가모듈(Assessment Module)은 입력모듈에서 설정한 마지막 항목에 대한 실질적인 평가가 수행되는 모듈이다. 따라서 평가모듈에서는 ‘성능의 내용을 어떻게 평가할 것인가’를 설정하게 되며, 평가방법과 범위의 설정을 통해 결정한다.

평가의 방법과 범위를 고찰하여 설정하는 것은 성능특성에 맞는 평가를 실시할 수 있도록 돕는다. 또한, 성능에 주요한 영향을 미치는 시간적 평가범위와 공간적 평가범위를 빠뜨리는 오류를 막을 수 있다. 만약 성능특성과 맞지 않은 평가의 방법과 범위가 설정되면 평가의 결과가 실제 성능을 의미하는지의 여부가 불분명하게 되므로 평가모듈의 설정을 통해 평가결과와 신뢰성을 향상시키는 것이 필요하다.

(3) 출력모듈

평가결과는 결과자체의 의미가 직접 사용되기 보다는 의사결정자들 간에 의사소통의 기능 및 평가대상의 종합적인 지표로서의 기능을 하기 때문에 이를 위하여 출력모듈에서 가공하는 작업이 필요하다. 따라서 출력모듈(Output Module)은 평가결과를 용도에 맞게 종합하는 역할을 담당한다.

특히, 평가모듈에서 복잡한 환경적 문제, 즉 굉장히 큰 영향분석 범위 및 시간을 요구하는 문제를 평가했을 경우, 출력되는 결과의 양이 방대하고 복잡하므로 출력모듈에서의 이를 종합하는 것이 중요하다. 왜냐하면 평가결과는 간단할수록 사용자의 인지도를 높이고, 실용성이 증가되는 경향이 있기 때문이다.

그러나 단순화를 위해서는 서로 연관성이 적은 데이터(환경성, 경제성, 사회성)를 종합해야 하므로 다중기준에 대한 과학적인 가중치 설정 및 의사결정방식을 사용하는 것이 필요하다.

51) Deru, M.; Torcellini, P. (2004). Proceedings of the World Renewable Energy Congress VIII (WREC 2004) : Improving Sustainability of Buildings through a Performance-Based Design Approach. A.A.M. Sayigh, ed. Denver, Colorado

3. 모듈의 설정방법

(1) 입력모듈

많은 속성(서로 다른 특성)을 포함하는 성능의 복잡한 특성은 계층적 구조(Hierarchical Structure)를 이용하여 간편하게 표현할 수 있다.⁵²⁾ 그러나 이것은 하위속성에 대한 정보의 손실을 초래할 수 있으므로, 계층의 정립에 있어 각 속성에 대한 정의 및 범위를 명확히 아는 것은 중요하다. 계층은 크게 목표(Goal), 성능(Performance) 및 항목(Criteria)으로 분리할 수 있다.

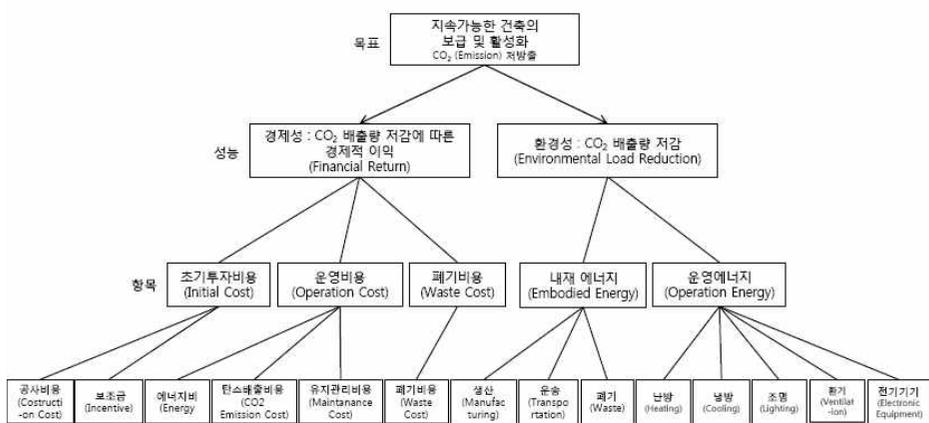
목표(Goal)는 건물에서 추구해야 하는 비전(vision)을 의미한다. 이는 현 시대의 패러다임이나, 시대의 요구, 공공의 이익 및 관련 사람들의 이익이 담겨 있는 것으로 정의할 수 있다.

성능(Performance)은 목표 달성을 위해 분류되는 조건들이다. 만약 목표(Goal)가 단순한 선언(Statement)이기만 한다면 달성할 수 있는 방안을 제시하기 어려울 뿐더러 해석하는 사람마다 목표가 달라지는 혼란을 야기할 수 있기 때문에 반드시 실제적인 성능으로 분류될 수 있어야 한다. 그러나 성능은 직접적으로 평가할 수 있는 것이기 보다는 목표를 이루는데 필요한 조건이라고 정의할 수 있다.

항목(Criteria)은 각 성능이 실제 평가가 가능한 단위로 분류된 것이다. 평가항목은 평가로 직접 연결될 수 있으면서도 성능을 구성하는 구성요소이어야 하는 요구조건이 있다. 또한, 평가대상에 따라 평가항목은 조금씩 바뀔 수 있는데, 예를 들어 폐기비용이 발생하지 않는 건물이라면 경제성을 이루는 하위항목 중에 폐기비용에 대한 하위항목이 포함되지 않는 것과 같다.

목표, 성능 및 항목은 문헌조사, 실제 데이터, 전문가 집단의 워크샵 등을 통해 설정할 수 있다. 다음 그림 4.2는 지속가능한 건축의 목표-성능-항목 위계의 예시이다.

52) Olson, D. L., Fliedner, G. & Gurrie, K. (1995), Comparison of the REMBRANDT System with Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 82, 522-539.



(그림 4.2) 목표-성능-항목 위계 설정(예시)

(2) 평가모듈

평가모듈의 평가방법은 총량기준평가모델과 개별기준평가모델로 대별될 수 있다. 총량기준평가모델은 수학적 혹은 복잡한 컴퓨터 알고리즘을 통하여 성능의 총체적 값을 계산하는 모델이다. 이와 반대로 개별기준 평가모델은 각 하위영역에서 갖추어야 할 조건들이 제시되어 있으며, 각 조건에서 요구하는 수준을 부합시킬 때 성능을 달성하게 된다. 그러나 어떤 조건은 필수적으로 달성해야 하는 반면에 선택적으로 달성여부를 선택할 수도 있다

평가의 내용은 공간적 범위, 시간적 범위로 나뉜다. 공간적 범위는 평가대상의 물리적 범위를 의미하는 것으로서 건축자재, 건축자재의 조합제품, 건물 전체, 대지로 구분된다. 공간적 범위를 어떻게 설정하느냐에 따라 평가의 범위가 달라지는데, 특히 건물전체를 설정했을 경우에는 건물을 하나의 제품으로 생각했을 때 제품을 사용하는 과정에서 발생하는 환경영향을 의미한다.

시간적 범위의 경우에는 건물의 전생애를 대상으로 범위를 설정하게 되는데, 평가의 목표에 따라 전생애중 한 단계만을 평가할 수도 있고, 전단계를 평가할 수도 있다. 중요한 것은 설정한 평가목표에 가장 영향을 미치는 평가범위를 우선적으로 설정하는 것이다.

공간적 범위와 시간적 범위가 일치하도록 하는 것은 평가범위를 설정하는데 있어서 중요하다. 특히, 공간적 범위를 건축자재로만 한정시켰을 때는 일

치하는 시간적 범위는 자재의 생산단계이다. 자재가 건물에 투입되어 구성요소가 된 이후의 단계에서는 자재에 의한 환경영향은 상대적으로 극히 미미한 것으로 보고되고 있다. 만약 운영단계를 시간적 평가범위에 함께 포함하였을 경우에는 운영단계 동안에 건축자재의 유지 및 관리를 위하여 발생한 환경영향만을 포함하는 것이 명확한 범위의 일치이다.

(3) 출력모듈

출력모듈에서는 서로 연관성이 적은 데이터(환경성, 경제성, 사회성)를 종합하게 된다. 이를 위해서는 합리적인 의사결정방식이 사용되어야 하는데, 크게 다속성의사결정방법과 다목적의사결정방법으로 나뉘게 되며 다속성의사결정방법의 경우에는 가중치의 설정에 영향을 받게 된다. 결과는 몇 개의 대표적인 지표로 종합하기도 하고, 몇 개의 지표를 다시 종합하여 단일지표로 만들어내기도 한다. 단일지표로 출력할 경우에는 최소 및 최대성능의 기준을 설정하고, 등급을 매기기도 한다.

4. 평가의 기본적 틀

다음 표 4.2는 지속가능한 건축의 성능평가 체계 정립의 기본적 틀이다. 이 기본적 틀은 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈로 분리되어 있으며, 각 모듈의 역할에 따라 모듈에서 필요한 기본조건을 설정할 수 있도록 구성되었다.

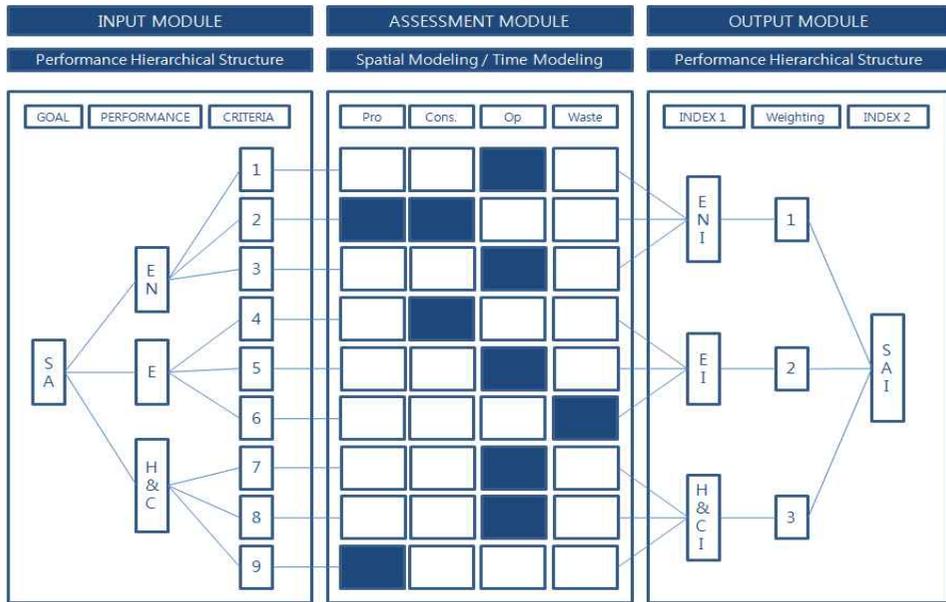
<표 4.2> 지속가능한 건축의 성능평가 기본적 틀

입력모듈			평가모듈				출력모듈	
목표	성능	항목	전생애				가중치의 설정	지표 및 등급의 설정
			생산 (자재)	공사 (조합품)	운영 (건물)	폐기		

제 2 절 지속가능한 건축의 성능평가 체계의 정립

1. 기본적 틀을 활용한 체계정립

기본적 틀에는 평가도구에서 기본적으로 갖추어야 하는 조건과 선택조건들을 제시되어 있다. 그림 4.3는 제시한 기본적 틀을 사용하여 체계를 정립하는 간단한 다이어그램이다.



(그림 4.3) 기본적 틀을 활용한 체계정립 다이어그램(예시)

실제로 건축성능평가도구의 체계(Framework of Assessment Tool)의 정립은 기본적 틀의 각 모듈에서 제시하는 조건을 따라 문헌고찰과 평가이론의 비교분석을 통하여 설정할 수 있다. 입력모듈의 경우, 문헌고찰, 설문조사 등을 통하여 성능위계를 정립할 수 있으며, 평가모듈에서는 비교분석을 통한 적절한 평가방법의 설정, 평가범위의 설정이 이루어진다. 출력모듈에서는 결과 종합방법을 선택하고, 그에 따른 가중치 설정방법을 선택함으로써 정립된다.

2. 입력모듈

(1) 입력모듈(Input Module)의 설정

가) 목표

지속가능한 건축의 비전은 '미래세대가 그들 자신의 요구를 수용할 수 있는 능력을 저해하지 않으면서 현세대의 요구를 충족시키는 건축활동'으로 정의할 수 있다.

나) 성능

지속가능한 건축을 달성하기 위해 갖추어야 하는 성능(Performance)은 세 가지 핵심 원칙에 따라 환경성(Environment), 경제성(Economic), 사회성(Social)으로 나뉜다. 일반적으로 환경성(Environment)은 전 지구적 환경부하를 감소시키는 성능을 가리키며, 경제성(Economic)은 지속가능한 건축을 통한 경제적 효과를 나타낸다. 다만, 사회성(Social)은 설정된 범위가 넓어, 공통적으로 합의된 사항이 거의 없지만 일부에서는 재실자의 웰빙, 건강, 쾌적(Occupant Health and Comfort) 등에 집중하고 있다.

다) 항목

① 환경성(Environment, Environmental Load Impact)

건축활동으로 인한 전 지구적 환경부하(Environment Load)는 해당 건축물에 투입량(Input)과 배출량(Output)을 연계함으로써 계산할 수 있다. 이때의 투입(Input)은 건축물에 투입된 에너지, 수자원, 자재 등 유무형의 자원소비가 있으며 이에 따른 배출(Output)은 CO₂, CH₄, CFC, SO_x, NO_x 등과 각종 폐기물 등이 있다.

② 경제성(Cost-Saving)

건축활동으로 인해 발생하는 비용은 전생애비용과 간접비용으로 나눌 수 있는데, 전생애비용은 초기투자비용, 운영비용, 폐기비용으로 나뉘며, 간접비용은 사회적 비용 등을 의미한다. 간접비용은 재실자의 쾌적 및 건강 증진을 통해 발생하는 간접적 이익에 의한 경제적 효과를 의미한다. 간접비용의 경

우, 그 가치를 평가하는 것에는 불확실성이 존재하지만 가치평가가 지속적으로 이루어지고 있으므로 이를 개념적으로 포함하는 것은 필요하다.

③ 사회성(Occupant Health & Comfort Improvement)

사회성은 기본적으로는 인간의 복리/후생을 바탕으로 하고 있으며, 삶의 질 향상, 건강증진, 만족도 증진, 안전 등이 그 내용이다. 그러나 그 범위가 넓고 정의가 애매해 지속가능한 개발에서도 여전히 논의가 활발하다. 현재 명확하게 사회성의 범위로서 설정할 수 있는 것은 재실자의 건강 및 쾌적성이다. 본 연구에서는 재실자의 건강 및 쾌적성에 영향을 미치는 범위를 재실환경으로 국한하였다. 재실환경은 실내환경과 실외환경의 질로 구분할 수 있다.

(2) 목표-성능-항목의 위계

정립된 목표-성능-항목의 위계는 다음 표 4.3과 같다.

<표 4.3> 목표-성능-항목의 위계

목표	성능	항목	
지 속 가 능 한 건 축	환경성 (Environmental Load)	에너지(Energy)	
		건축재료(Building Material)	
		수자원(Water)	
	경제성 (Cost-Saving)	전생애비용 (Life Cycle Cost)	초기투자비용 (Initial Cost)
			운영비용 (Operation Cost)
		간접비용 (Indirect Cost)	폐기비(Waste Cost)
	건강 및 쾌적 (Health & Comfort)	건강비용 (Cost for Human Health)	
		실내환경의 질(Indoor Environment Quality)	
		실외환경의 질(Outdoor Environment Quality)	

3. 평가모듈

(1) 환경성(Environmental Load Impact)평가

가) 평가의 범위

① 에너지

건물의 전생애동안 사용되는 에너지는 내재에너지와 운영단계의 사용에너지로 분류할 수 있다. 내재에너지는 자재의 생산과정에서 투입되는 에너지라고 할 수 있으며 자재 채취량 및 제품생산특성에 따라 달라진다. 시공단계에서의 에너지소비는 공사에 필요한 자재들을 건설현장까지 운반하는데 요구되는 에너지와 건축물의 시공당시에 사용되는 건설기계장비와 운송장비 및 기타 에너지이다. 운영단계에서의 에너지사용은 난방, 냉방, 급탕, 전기기기, 조명, 환기 등으로 분류할 수 있다. 폐기단계에서의 에너지소비량은 폐기(해체)시에 투입되는 에너지이며, 해체공법과 사용되는 장비의 종류 및 작업량이 포함 내용이다.

<표 4.4> 건물에너지사용에 따른 환경영향평가범위

투입	건물의 전생애평가				배출
	생산	시공	운영	폐기	
에너지	(+)자재생산 (+)자재운송	(+)기계장비 (+)자재운송	(+)난방 (+)냉방 (+)급탕 (+)조명 (+)전기기기 (+)취사	(+)해체장비 (+)폐기물 운송	

② 건축재료

재료는 건축물을 구성하는 모든 물리적 요소를 의미하며 건물의 전생애 단계별로 사용재료 및 사용량을 구분할 수 있으나, 일반적으로 자재의 생산 및 시공단계에서 사용된다.

자재생산 및 시공단계에서 필요한 모든 원료는 적은 양으로 사용되는 수많은 원료까지 포함할 수 있으나 주요자재를 중심으로 설정하는 것이 필요하다. 그러나 작은 양에도 불구하고, 환경영향이 매우 큰 경우에는 투입량을 설

정해야 한다. 제품의 생산 후 발생하는 폐기물 또한 영향평가의 범위에 포함되는 것이 필요하다. 운영단계에서는 건물의 유지관리에 필요한 자재가 투입되는데 이때는 새로운 자재라기보다는 건물자재의 내구연한에 따라 교체작업이 이루어지면서 발생하는 자재의 투입이며, 이때 수명을 다한 건축자재는 폐기물로서 포함된다. 해체단계에서는 자재는 더 이상 투입되지 않고, 투입된 자재가 폐기물로 발생한다. 이때 발생한 폐기물의 경우, 재활용 및 재사용되는 자재를 제외하고 환경영향평가를 실시한다.

<표 4.5> 건축재료 사용에 따른 환경영향평가범위

투입	건물의 전생애평가				배출
	생산	시공	운영	폐기	
재료	(+)주요자재 (+)기타자재 (+)생산시 투입되는 간접자재 (+)폐기물	(+)자재시공시 투입되는 기타자재 (+)폐기물	(+)유지관리시 투입되는 기타자재 (+)폐기물	(+)폐기물 (-)재활용 재사용	

③ 수자원

자재생산, 공사, 운영, 해체단계에서 투입되는 모든 수자원이 해당된다. 특히 운영단계의 경우에는 수자원의 건물에 직접 투입되어 거주자에 의해 사용되는데, 이때는 크게 실내, 실외로 구분할 수 있다. 실내에서 사용되는 물은 재실자에 의해 직접 사용되는 상수와 설비시스템에서 사용되는 수자원으로 나눌 수 있으며, 실외에서 사용되는 물은 정원수 및 기타로 구분된다. 각 모든 단계에서는 사용한 물을 재처리하여 재활용할 수 있다.

<표 4.6> 수자원 사용에 따른 환경영향평가범위

투입	건물의 전생애평가				배출
	생산	시공	운영	폐기	
수자원	(+)자재생산시 투입된 수자원 (-)재처리된 수자원	(+)시공시 사용된 수자원 (-)재처리된 수자원	(+)실내 물사용 (+)실외 물사용 (-)재활용	(+)해체시 사용된 수자원	

나) 평가의 방법

환경성의 에너지, 건축재료, 수자원의 정량적 데이터로서 총량기준평가모델로서 정확하게 평가할 수 있다. 평가하게 되는 총량은 투입된 자원의 종류와량, 배출된 오염물질의 양으로서 건축재료, 시공 및 폐기단계에서는 전생애환경영향평가 원리를 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 운영단계에서 투입되는 에너지사용량의 경우에는 전체건물의 특성에 따라지게 되므로 건물에너지 해석프로그램이나 기타 calculator를 통해 계산하고, 사용에너지에 따른 배출물질을 계산해야 한다.

전생애환경영향평가는 크게 직접조사법과 산업연관분석법, 혼합법으로 나뉜다. 직접조사법은 제품생산의 각 프로세스 단계에서 사용된 자원, 에너지(input)와 배출물(output)은 상세하게 계산하여 집계하는 방법이고, 산업연관분석법은 약 400여개 항목에 걸친 산업연관표를 사용하여 부분간의 금액 기준으로 특정제품 제조시에 직/간접으로 관계되는 에너지와 부하를 산정하는 것이다. 혼합법은 두 가지 방법의 장단점을 혼합한 것이다. 다음은 각 분석방법의 특징을 비교 분석한 표 4.7이며 분석결과에 따르면 혼합법이 가장 합리적일 것으로 판단된다.

<표 4.7> 건축환경영향 추정방법의 비교분석

항목	직접조사법	산업연관분석법	혼합법
결과의 정확성	○	△	○
운용시간적 측면	×	○	×
분석대상 범위	×	○	○
최신정보의 갱신정도	×	○	△
비용적 측면	×	○	×

내용의 적합성에 대한 평가기호 ○ : 양호, △ : 보통, × : 낮음

운영단계의 에너지사용량 평가는 건물에너지 해석 프로그램의 성격에 따라 평가방법이 달라지는데, 정적해석방법과 동적해석방법으로 나뉘며, 동적해석방법을 권장한다. 수자원 사용량은 사용량 계산에 특별한 방법은 존재하지 않는다.

(2) 경제성(Financial Return)평가

가) 평가의 범위

전생애 과정을 통해 수많은 종류의 비용이 여러 시점에서 투입된다. 따라서 적용할 비용항목은 분석대상이나 분석주체에 따라 적정하게 설정되어야 한다. 건물의 전생애는 크게 기획, 설계비용, 공사비용, 운영, 관리비용, 해체, 처분비용 등으로 분류된다.

초기투자비용은 건물을 기획하는 것에서부터 공사에 필요한 모든 비용을 포함한다. 이에겐 기획비, 설계비, 재료비, 인건비, 기타잡비가 있다. 운영단계에서 발생할 수 있는 비용은 에너지비용, 환경비용, 유지보수비 및 일반 관리비가 있다. 그 외에도 운영단계에서는 재실자의 건강 및 쾌적성 증진에 따른 비용효과가 발생할 수 있다. 폐기단계에서 폐기비용은 철거비와 잔존가치가 평가된다.

<표 4.8> 경제성 평가를 위한 평가범위

투입		건물의 전생애평가				배출
		생산	시공	운영	폐기	
전생애비용	초기 투자	기획 설계비 (+)기획비 (+)설계비	공사비용 (+)재료비 (+)인건비 (+)기타비용 (-)인센티브			
	운영			에너지비용 (+)가스비용 (+)전기비용 (+)상하수도 비용 (+)환경비용 유지보수비 (+)수리부품비 (+)교체비 (+)청소비 일반관리비 (+)세금 (+)보험료 (+)인건비		
	폐기				폐기비용 (+)철거비 (+)잔존가치	
간접	사회			(-)재실자 쾌적건강 증진에 따른 비용효과		

나) 평가의 방법

경제성 평가방법은 수학적 평가모델이나 시간가치의 고려여부에 따라 평가 방법에 차이가 있다. 시간가치를 고려하는 분석법은 현금유입(Input)과 현금유출(Output)을 바탕으로 투자안의 가치를 평가하게 되며, 대표적인 방법으로는 투자회수기간법(Payback Period), 투자이익률법(Saving to Investment Ratio), 내부 수익률법(Internal Rate of Return: IRR), 전생애비용분석법(Life Cycle Cost: LCC) 등이 있다.

① 투자회수기간법 (Payback Period)

여러 계획안에 대하여 경제성을 평가하는 경우, 그 사업에서 얻을 수 있는 이익에 따라 투자금액의 회수기간을 구하여 회수기간의 길이에 의하여 경제성을 판단하는 방법이다. 투자회수기간의 산정은 다음 식 4.1과 같다.

$$\text{회수기간} = \frac{(A\text{안의 투자금액} - B\text{안의 투자금액})}{(A\text{안의 연간유지관리비용} - B\text{안의 연간유지관리비용})} \dots\dots\dots (\text{식 } 4.1)$$

② 투자이익률법(Saving to Investment Ratio : SIR)

투자이익률 법은 각종 계획안에 대하여 투자 금액당 이익률을 산출하고, 투자금액의 효율성을 판단하여 그 대소로 계획안의 우열을 판단하는 방법이다. 투자 이익률은 다음 식 4.2와 같다.

$$\text{투자이익률}(SIR) = \frac{\text{운영비용절감액의 현재가치}}{\text{초기투자비}} \dots\dots\dots (\text{식 } 4.2)$$

투자 이익률이 1이 넘으면 그 투자는 효과적이라 간주하며, 그 비율이 높을수록 경제성이 있다고 한다. 이 방법의 최대문제점은 손익계산서에 의거한 절감액을 산출해야 하며, 많은 시간이 요구된다.

③ 내부수익률법(Internal Rate of Returns : IRR)

발생된 이익의 현재 가치가 초기 투자액과 같아지는 할인률을 내부 수익률이라고 하며, 그 크기로 대안의 우열을 판단한다. 내부수익률은 다음 식과 같다.

$$\text{부수익률 } RR = i + (i_2 - i_1) \times \frac{PW_1}{PW_1 - PW_2} \dots\dots\dots (\text{식 } 4.3)$$

직접 계산하는 것은 고차방정식을 풀어야 하고 투자안의 내용연수에 따라서 함수식의 실제계산이 매우 복잡해지므로 일반적으로 내부수익률을 직접 구하기보다는 시행착오법을 사용하여 이율을 적용하여 NPV>0이면 이율을 높이고, NPV<0이면 이율을 낮추어 계산한다.

④ 전생애비용분석법(Life Cycle Cost : LCC)

전생애비용분석법은 기획단계부터 사용 후 폐기처분단계까지의 모든 비용을 이자율, 물가상승률 등 금액의 시간적 가치를 고려하여 현재가치로 환산하여 그 가치의 대소로 대안의 경제성을 평가하는 방법이다. 일반적인 두가지 LCC분석 방법에는 현가법(present worth approach)과 연가법(annualized approach)이 있는데, 두 가지 방법 모두 현재비용과 미래비용을 기준가(등가: equivalent cost)로 환산하여 디자인 대안을 비교할 수 있도록 하고 있다. LCC 분석은 제품의 수명이 길고, 사용기간 중의 투자비용이 많은 투자의 경우에 적합한 분석기법이다.

각 평가방법의 특징은 다음 표 4.9과 같다. 내부수익률법과 투자이익률법은 계산상의 어려움이 있다. 회수기간법은 종래에 많이 사용하였고 이동이 자유로운 집이나 비품과 같은 내용연수 또는 기능이 건물본체와 독립되어 있는 경우는 적당하나 건물, 또는 건물과 상호연관이 있는 경우에는 부적당하다. 따라서 전생애비용을 모두 다룰 수 있는 전생애비용(LCC)분석법이 가장 적합할 것으로 판단된다.

<표 4.9> 경제성 평가방법의 비교분석

평가방법	초기 투자비	운영비	잔존 가치	시간적 가치	내용 연수	사용 연수	계산	비고
회수기간법	○	○	○	△	×	×	용이	회수 후 고려 부
투자이익률법	○	○	○	○	×	×	어려움	이익계산에 시간이 걸림
내부수익률법	○	○	○	○	×	×	어려움	
LCC 분석법	○	○	○	○	○	○	중간	

내용의 적합성에 대한 평가기호 ○ : 양호, △ : 보통, × : 낮음

(3) 건강 및 쾌적성(Occupant Health and Comfort) 평가

가) 평가의 범위

재실자의 쾌적 및 건강에 대한 평가는 재실자의 쾌적감 및 건강에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로 구체화 할 수 있다. 쾌적감은 '주변환경의 질'과 '인간의 태도'사이의 관계에서 결정되는 환경에 대한 느낌이라고 정의할 수 있으며, 재실자의 쾌적 및 건강에 영향을 미치는 요소는 물리적 요소와 심리적 요소로 구분할 수 있다. 물리적 요소는 주변환경으로 설정할 수 있으며 이는 실내환경과 실외환경으로 나눌 수 있다. 그러나 심리적 요소의 경우, 명확하게 정의된 바가 없고 현재는 거의 평가되지 않고 있으므로 제외한다.

건강의 경우 또한, 주변환경에 의하여 영향을 받는다. 특히 최근 실내공기 질에 의한 건강의 문제는 매우 심각한 것으로 드러나고 있다. 건물의 환경에 의한 심리적 영향 또한 상당한 것으로 조사되고 있지만 이는 정량적인 평가가 매우 어려우므로 이 또한 제외하는 것으로 설정하였다.

따라서 건강 및 쾌적성(Occupant Health and Comfort)평가의 범위는 실내환경과 실외환경의 물리적요소로 설정하였으며, 이 중에서도 재실자의 쾌적감 및 건강에 주요하게 영향을 미치는 인자를 찾는 것이 필요하다.

나) 평가의 방법

재실자의 건강 및 쾌적성(Occupant Health and Comfort)에 영향을 미치는 물리적 요소를 평가하기 위해서는 개별기준평가모델이 적합할 것으로 판단된다. 왜냐하면 건강 및 쾌적성에 영향을 미치는 요소에 대하여는 정량적 평가가 가능하지만 각 요소가 재실자의 전체적인 건강 및 쾌적성에 어떻게 작용하는지는 평가하기에는 매우 어렵기 때문이다. 따라서 영향을 미치는 인자에 대한 개별기준에 의한 평가를 실시하고, 이를 정성적 방법으로 종합하여 결론을 내는 것이 적합할 것으로 사료된다.

따라서 재실자의 건강 및 쾌적에 영향을 미치는 주요한 인자를 평가할 수 있는 평가방법 및 평가기준을 세우는 것이 필요하다.

4. 출력모듈

(1) 결과의 종합방법

가) 다기준 의사결정방법

최선의 대안을 선정하는 의사결정과정에서 어느 하나의 기준이 아닌 여러 기준이 고려되어야 하는 경우를 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making ; MCDM)이라 한다. 다기준 의사결정은 고려하는 기준들이 속성차원이거나 또는 목적차원이거나에 따라 다속성 의사결정(Multi-Attribute Decision Making: MADM)과 다목적 의사결정(Multi-Objective Decision Making: MODM)으로 분류할 수 있고, 목적은 의사 다수의 속성으로 표현될 수 있는 보다 상위개념이다.

다속성 의사결정은 구체적 대안에 적용할 속성을 상정하고 이에 따른 대안의 평가 및 선택에 초점을 맞추게 된다. 이에 반하여 다목적 의사결정은 특정 대안의 상정에 앞서 의사결정 문제에서 추구해야 하는 목적을 규정한다는 점에서 의사결정 과제의 설계에 무게 중심이 있다. 그러나 실제 다기준 의사결정과 관련된 문제에서는 목적과 속성, 심지어는 목표 등이 혼재하는 경우가 많으며, 이를 보다 포괄적인 개념의 기준으로 하여 다룬다.⁵³⁾⁵⁴⁾(표 4.10)

<표 4.10> 다기준 의사결정 방법의 비교분석

구분	다속성 의사결정	다목적 의사결정
기준	속성(attribute)	목적(Objective)
목적	불분명	분명
요소	분명	불분명
제약조건	비활동적(속성에 포함)	활동적(제한식에 포함)
대안	유한개	무한개
용도	선택/평가(Evaluation)	설계(Design)

53) M. W. Ellis & E. II. Mathew. (2002). Needs and trends in building and IIVAC system desing tools, Building and Environment. 37, 461-470.

54) Lorna A., Greening, Steve Bernow. (2004) Design of coordinated energy and environmetal polishes : use of multi-criteria decision making. Energy Polish. 32, 721-735

나) 다기준 의사결정방법의 적용

다기준 문제를 적용하기 위해서는 각 속성을 정량화, 정규화하는 것이 필요하다. 이는 의사결정을 위하여 정보를 종합하는 과정에서 각 성능의 평가 결과의 단위가 다르거나, 성격이 다르기 때문이다. 의사결정문제의 속성이 정량적 속성으로 구성되었을 경우에도 의사결정문제에 대한 해법을 적용할 때 고려할 것이다. 즉 의사결정문제를 구성하는 속성들이 서로 다른 단위로 되어 있거나 비용과 같은 최소화 기준을 적용하여야 할 경우와 이익과 같은 최대화 기준을 적용하여야 할 경우가 혼재되어 있는 경우이다.

이 경우에는 속성을 정규화(normalization)하여야 한다. 속성의 정규화는 모든 의사결정문제에 반드시 필요한 것은 아니다. 그렇지만 비교적 많은 방법에서는 필수적으로 선행되어야 한다. 가령 최소극대법(Maximin), 가중치합산법(simple additive weighting method), ELECTRE(Elimination et Choix Traduisant la Realite) 등의 방법에서는 반드시 정규화를 필요로 한다. 다음 식 4.4는 의사결정문제를 표현하는 행렬이다.

$$x_j = \begin{bmatrix} a_1c_1 & \cdots & a_1c_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_m c_1 & \cdots & a_m c_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{(식 4.4)}$$

① 벡터의 정규화

벡터정규화(Vector normalization)는 의사결정 행렬에 있어서 모든 속성에 대해 아래 식 4.5을 이용하여 정규화 하는 방법이다.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{n} \dots\dots\dots \text{(식 4.5)}$$

$$i = \frac{x_{ij}^2}{n}$$

($i = 1, 2, \dots, m$ $j = 1, 2, \dots, n$)

② 단순 선형 척도변환법

단순 선형 척도변환법은 모든 결과가 선형 즉 일정한 비율로 변환되는 방법이다. 그렇기 때문에 결과의 크기에 대한 상대적 순서가 동일하다. 단순선형 척도 변환법은 속성의 기준이 이익 또는 비용에 따라 구분된다.

이익(또는 최대치)기준

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \dots\dots\dots (\text{식 4.6})$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

이때 $x_j = \max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ 이고, r_{ij} 의 값은 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 이 된다.

비용(또는 최소치)기준

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j} \dots\dots\dots (\text{식 4.7})$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

선형 척도 변환법을 사용하는데 있어 주의할 점은 한 의사결정문제에 이익 및 비용 기준이 함께 들어있을 경우, 위의 이익 기준과 비용 기준식을 동시에 사용할 수 없다는 점이다. 그렇지만 이것은 속성의 역수를 취하여 식에 적용하므로써 해결할 수 있다.(식 4.6)(식 4.7)

즉 의사결정문제를 구성하는 속성이 이익기준과 비용기준이 혼합된 문제이며 비용기준이 이익기준에 비해 적을 경우의 문제를 정규화하기 위해서는 이익 기준식을 사용하여야 한다. 그리고 비용 기준 속성은 이익 기준 식을 사용하기 위하여 각각의 비용 기준 속성에 대하여 비용 기준 속성의 역수를 취하여 아래의 식 4.8에 적용하여 정규화한다.

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\max(\frac{1}{x_{1j}}, \frac{1}{x_{2j}}, \dots, \frac{1}{x_{mj}})} = \frac{\min(\frac{1}{x_{1j}}, \frac{1}{x_{2j}}, \dots, \frac{1}{x_{mj}})}{\frac{1}{x_{ij}}} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} \dots\dots\dots (\text{식 4.8})$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

반대로 의사결정문제의 속성이 비용 기준이 많고 이익 기준이 적은 경우에는 아래 식 4.9가 된다.

$$j = 1 - \frac{1}{\max(x_{ij}, x_{2j}, \dots, x_{mj})} = 1 - \min\left(\frac{1}{x_{ij}}, \frac{1}{x_{2j}}, \dots, \frac{1}{x_{mj}}\right) = 1 - \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} \dots\dots\dots (\text{식 4.9})$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

③ 복잡한 선형 척도 변환법

단순한 선형 척도 변환법보다 더 복잡한 선형 척도 변환법도 있다. 이 방법은 최대값과 각 속성의 최소값을 기준으로 변환하는 방법이다. 단순 선형 척도 변환법에 비해 각 속성이 0과 1사이에 값으로 정확하게 변하는 장점이 있다. 이 변환법의 단점은 가능성은 작지만 비율변환을 보장하지 못하는 경우가 발생할 수 있다는 점이다.(식 4.10)(식 4.11)

이익 또는

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_{ij}^0 - x_j^{\min}} \dots\dots\dots (\text{식 4.10})$$

$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$

비용(또는 최소치)기준

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}}{x_{ij}^0 - x_j^{\min}} \dots\dots\dots (\text{식 4.11})$$

$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$

본 연구에서는 정규화 작업에 있어서 가장 객관적 방법으로 소개되고 있는 복잡한 선형척도 변환법을 사용하여 정규화는 것으로 설정하며, 정규화하는 과정에서 필요한 최대값은 같은 조건의 건물들 목적함수(Objective function)을 사용하여 계산한 최적안(Optimization Design)의 값을 사용하는 것으로 하고, 최소값의 경우에는 같은 조건의 표준건물의 값을 사용하는 것으로 설정한다.

(2) 가중치 설정방법

실제적으로 기준의 상대적인 중요도를 설정하는데 있어서 효과적 타당성을 획득하는 것은 어려운 일이다. 따라서 가중치를 설정할 수 있는 설정모형은 매우 다양하며, 문제의 특성 및 가중치설정방법을 고려하여 방법을 선택하는 것이 중요하다. 일반적으로 건축성능평가도구에서 사용되거나, 연구되고 있는 가중치 설정방법은 다음과 같다.

가) 순위합법(Rank Sum Method)

이 방법에서 속성 j 의 가중치는 다음 식 4.12에 의해 계산된다.

$$w_j = \frac{n+1-j}{n} = \frac{2(n+1-j)}{n(n+1)} \dots\dots\dots \text{(식 4.12)}$$

k
 $k=1$

$(j=1,2,\dots,n)$

나) 평점법(Rank Method)

평점법은 속성 $j(j=1,2,\dots,n)$ 에 대해서 피실험자 k 의 평점을 ρ_k 라고 할 때, 속성 j 의 가중치 w_j 를 다음과 같이 계산한다. 이때 평점의 척도는 0-10 점, 0-100등 임의로 정할 수 있다.(식 4.13)

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^l w_{jk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l w_{jk}} \dots\dots\dots \text{(식 4.13)}$$

$(j=1,2,\dots,n)$

다) LINMAP((LINEar programming techniques for Multi-dimensional Analysis of Preference)

이 방법은 의사결정행렬이 구성된 상태에서 이상점(ideal point)를 지정하여 유클리드 거리를 계산하고 또한 선호도의 쌍비교를 통하여 선형계획법에 의한 해를 구하는 과정에서 가중치를 계산하는 방법이다. 이는 선형계획모형

(linear programming model)으로 변환시키면 다음 식 4.14와 같다.

$$\begin{aligned} & \min_{k,t} \sum_{(k,t) \in \Omega} Z_{kt} \dots\dots\dots \text{(식 4.14)} \\ \text{s.t.}, & \sum_{j=1}^n w_j (x_{kj} - x_{tj}) + Z_{kt} \geq 0, \text{ for } (k,t) \in \Omega \\ & \sum_{j=1}^n w_j \sum_{(k,t) \in \Omega} (x_{kj} - x_{tj}) = h \\ & w_j \geq 0, j=1,2,\dots,n \\ & Z_{kt} \geq 0, \text{ for } (k,t) \in \Omega \end{aligned}$$

이 선형계획모형을 풀어서 얻은 값(ω, x^*)에서 ω 가 문제에서 구하려는 가중치이다.

라) 가중최소자승법 (Weighted Least Square Method)

의사결정문제에 대해 아래와 같은 쌍비교 행렬 A를 구성하였을 경우, 식 4.15로 표현할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [W_1 & \dots & W_1 \\ W_1 & \dots & W_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_n & \dots & W_n \\ [W_1 & \dots & W_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{(식 4.15)}$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

행렬 A는 역수행렬(reciprocal matrix)로 모두 양의 값이고, 역수특성(reciprocal property) 즉, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{kj}}$ 의 성질을 가지고 있다. 이때 가중치는 아래와 같은 제약적 최적화 문제(constrained optimization problem)를 풀어서 얻을 수 있다.(식 4.16)

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{j=1}^n (a_{ij} w_j - w_i)^2 \dots\dots\dots \text{(식 4.16)} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ & w_i \geq 0 \end{aligned}$$

마) Composite Priority Method

이 방법은 AHP와 마찬가지로 계층구조로 된 문제에 대하여 속성의 쌍비교를 통하여 아래 식 4.17에 의해 가중치를 계산하는 방법이다.

$$= kx_k \times w_{jk} \dots\dots\dots (식 4.17)$$

이 때 $x_k = \frac{1}{q_k} \times \sum_{h=1}^K Th_{2h}$ 이고, $w_{jk} = \frac{T_{jk}}{\sum_{h=1}^K Th_{2h}}$ 이다. 여기서 K는 비례 상수 기호 q_k 는 척도인자(scaling factor), $\sum_{h=1}^K Th_{2h}$ 는 절대값의 합이고, w_{jk} 는 지역 우선가중치(Local Priority(or importance) weight)이다.

앞서 제시한 계산방법 중에서 합리적인 가중치 계산방법 선택하여 적용하기 위해서는 최종적으로 한 가지 방법을 선택해야 한다. 그러나 각각의 가중치 도출방법을 여러 가지 타당성 기준 등에 입각하여 정량적으로 평가한다는 것은 사실상 어려우며, 평가성능에 따라 필요한 계산법이 달라질 수 있으므로 가중치계산법을 평가한 표55)를 제시하였다. 다음 표를 활용하여 적절하다고 생각하는 가중치 계산법을 사용자가 주관적으로 판단하여 고르는 것이 필요하다.

<표 4.11> 가중치 설정방법의 비교분석

가중치 도출방법	실질적 타당성	이론적 타당성	적용의 용이성	적용의 유연성	
				MADM	MODM
순위합법	●	△	■	■	■
평점법	○	△	◎	■	○
LINMAP	△	■	△	○	◎
가중최소자승법	◎	◎	△	○	◎
Composite Priority Method	○	○	○	○	×
고유벡터법	○	■	◎	○	×

내용의 적합성에 대한 평가기호 ■ : 매우적합 ◎: 적합 ○: 보통, △: 빈약, ×: 매우빈약

55) . (1999). 다기준 의사결정의 가중치도출방법 선정을 위한 평가기준과 절차의 개발, 동국대학교 박사학위논문

제 3 절 소결

지속가능한 건축의 성능평가 체계를 정립하기 위하여 지속가능한 건축의 성능평가 특성을 세 모듈로 분리하고 기본적 틀로 정리하였다. 기본적 틀이 설정된 후에는 이를 바탕으로 지속가능한 건축의 성능평가 체계를 정립하였다.

다음은 기본적 틀과 모듈의 역할 및 내용이다.

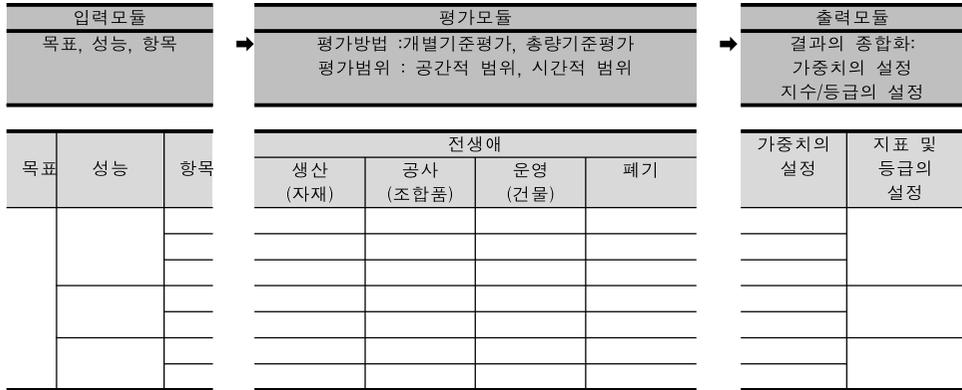
1) 성능평가도구의 기본적 틀은 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈로 구성된다. 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈로 구성하여 작성할 때, 성능평가도구 개발에서 반복적으로 발생할 수 있는 오류를 막아주고, 의사결정지원으로서의 성능평가도구의 역할을 강화할 수 있다.

2) 입력모듈은 평가대상의 정보를 입력하고 수집하는 모듈로서 건물에서 달성해야 하는 목표에 해당하는 성능-항목을 명확히 포함하기 위하여 위계가 정립되어야 한다.

3) 평가모듈은 입력모듈에서 설정한 평가항목에 대한 평가가 수행되는 모듈이다. 따라서 각 평가항목에 해당되는 평가범위의 설정과 특성에 맞는 평가방법의 설정이 필요하다.

4) 출력모듈은 평가모듈에서 도출된 평가결과가 종합되는 모듈이다. 평가의 결과는 간단하고 쉽게 해석할 수 있을수록 사용성이 증가한다. 그러나 지속가능한 건축의 성능이 서로 다른 특성을 가지고 있기 때문에 결과를 종합하는데 있어서 타당한 방법을 사용하는 것이 필요하다.

다음 표는 각 모듈의 역할에 따른 내용을 정리한 것이다.



기본적 틀을 활용하여 지속가능한 건축성능평가 체계를 정립한 결과는 다음과 같다.

1) 입력모듈에서 목표-성능-항목에 이르는 전체성능의 위계를 정립한 결과, 에너지, 건축재료, 수자원, 전생애비용, 간접비용, 실내환경 및 실외환경에 이르는 평가항목이 도출되었다.

2) 평가모듈은 환경성은 전생애환경영향평가(LCA), 경제성은 전생애비용평가(LCC), 쾌적 및 건강성은 개별기준평가를 사용하는 것이 적절할 것으로 판단하였으며, 평가범위는 지속가능한 건축 성능에 유의미한 영향을 미치는 범위를 중심으로 포함하였다.

3) 출력모듈은 종합하는데 있어서 타당한 방법을 사용하는 것이 필요하여, 다기준 의사결정방법 및 그에 따른 가중치의 설정이 필요할 것으로 판단된다. 지속가능한 건축성능을 종합하는 데에는 다속성의사결정방법을 사용하는 것이 적절하다.

다음은 정립된 지속가능한 건축의 성능평가 체계에 관한 표이다.

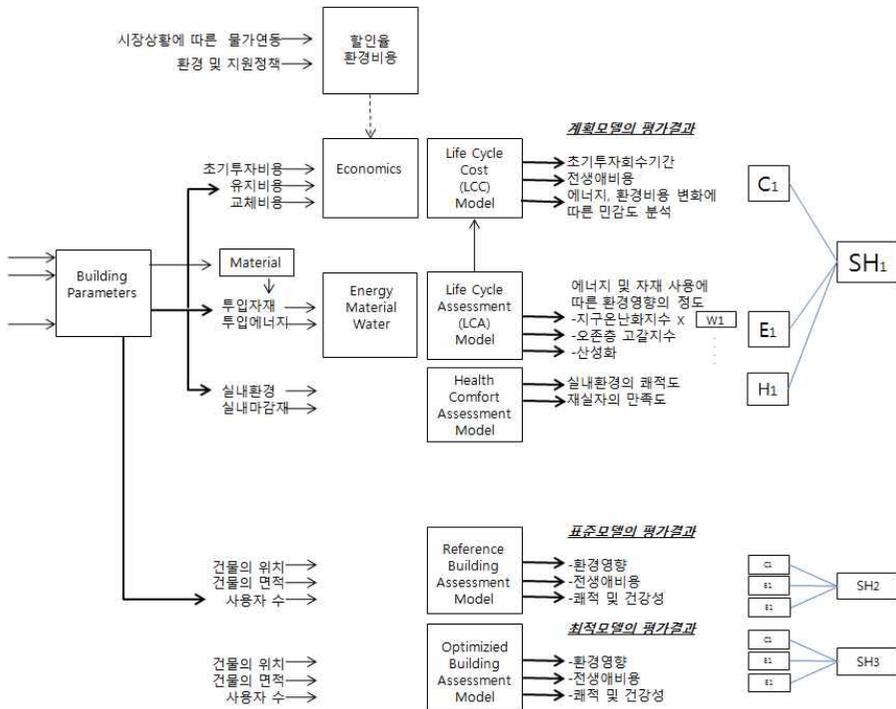
입력모듈			평가모듈				출력모듈		
목표, 성능, 항목			평가방법 : 개별기준평가, 총량기준평가 / 평가범위 : 공간적 범위, 시간적 범위				가중치, 결과의 종합		
목표	성능	항목	전생애				가중치의 설정	지표 및 등급의 설정	
			생산(자재)	공사(조합제품)	운영(건물)	폐기			
지속 가능한 건축	환경성	에너지	(+)자재생산 (+)자재운송	(+)기계장비 (+)자재운송	(+)난방 (+)냉방 (+)급탕 (+)취사 (+)조명 (+)전기기기	(+)해체장비 (+)폐기물운송	EN1	Sustainable Architecture Index	
		재료	(+)주요자재 (+)기타자재 (+)주요/기타자재 생산시 투입되는 간접자재 (+)폐기물	(+)자재시공시 투입되는 자재 (+)폐기물	(+)유지관리시 투입되는 자재 (+)폐기물	(+)폐기물 (-)재활용 재사용	EN2		
		수자원	(+)자재생산시 투입된 수자원 (-)재처리된 수자원	(+)시공시 사용된 수자원 (-)재처리된 수자원	(+)실내물사용 (+)실외물사용 (-)재활용	(+)해체시 사용된 수자원	EN3		
	경제성	전생애 비용	초기 투자 비용	공사비용 (+)재료비 (+)인건비 (+)기타비용 (-)인센티브					E1
			운영 비용			에너지비용 (+)가스비용 (+)전기비용 (+)상하수도비용 환경비용 (+)CO2 배출비용			E2
		폐기 비용				폐기비용	E3		
		간접 비용	사회적 비용			건강비용			E4
	건강 및 쾌적	실내 환경			열환경 빛 환경 음환경 공기 환경		H1		
		실외 환경					H2		

제 5 장 지속가능한 건축의 성능평가 모델 구축

제 1 절 기본모델의 설정

앞에서 설정한 체계를 바탕으로 성능평가모델을 개발하기 위하여 먼저 각 모듈에서 생성되는 정보의 범위 및 흐름을 설정하였다. 이를 위한 수립된 기본모델은 다음 그림 5.1과 같다.

입력모듈의 경우, 선정된 성능범위에 따라 입력되어야 하는 데이터 선정에 따라 데이터의 생성방법이 설정된다. 평가모듈은 선정된 평가방법이 모델화 되는 단계이다. 선정된 평가방법이 복잡한 수학적 알고리즘을 가지고 있을 경우에는 외부프로그램을 함께 사용할 수도 있다, 출력모듈의 경우, 각 평가 모듈에서 도출된 평가결과가 종합된다.



(그림 5.1) 지속가능한 건축의 성능평가 기본모델

제 2 절 입력모듈의 구축

입력모듈은 필요한 데이터가 가공되고 생성되는 단계이다. 본 모델에서 제안하는 성능을 모두 평가하기 위해서는 입력모듈에서 처리할 수 있는 데이터의 양이 매우 커지며 이를 모두 다루는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 최근 개발되고 있는 건물정보모델링(Building Information Modeling, BIM)⁵⁶⁾은 건물의 환경영향, 경제성 등을 평가하기 위한 상세한 데이터를 다룰 수 있도록 개발되고 있어⁵⁷⁾ 입력모듈과 연동해서 사용할 때는 입력모듈에서 필요한 데이터를 생성할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 건물정보모델링(BIM)은 개발자에 따라 데이터의 생성과 흐름이 달라지며, 개발단계에 있는 것들이 많으므로 입력모듈과 연동할 수 있는 건물정보모델링(BIM)을 탐색하여 이를 사용하는 것이 필요하다.

본 연구의 입력모듈과 연동할 수 있는 적합한 것으로 판단되는 건물정보모델링(BIM)은 Martin Fischer(Stanford Univ.)⁵⁸⁾가 개발하고 있는 것으로서 미국에서 최근 공식적으로 발표된 건축자재 및 제품의 새 분류체계(Uniformat(2007))에 환경영향정보, 가격의 속성을 코딩(Coding)하여 사용하는 방식을 택하고 있다. 이는 기존 정보의 사용성 및 적용성이 뛰어나고, 다른 프로그램과의 연동성이 뛰어나 개발결과가 기대되는 작업이다.

그러나 현재 Martin Fischer(Stanford Univ.)의 건물정보모델링 프로그램은 상용화하는 단계에 있으므로 본 연구의 입력모듈과 연동하기 위해서는 생성되는 데이터를 분류하는 작업 및 기타 후속연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 평가모듈과의 연동을 위한 입력모듈의 대략적 체계만을 설정하였다.

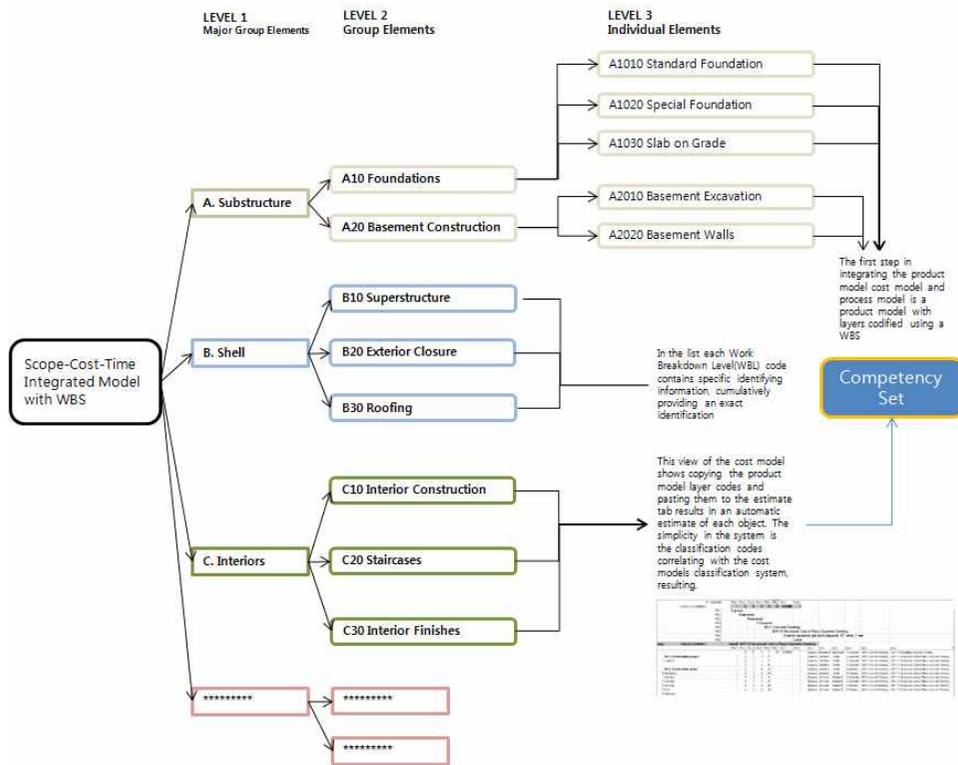
아래 그림 5.2는 Uniformat의 세번째 분류단계까지 나타나 있으며,

56) (Building Information Modeling, BIM)이란 건물을 하나의 제품이라는 개념으로 접근하여 건물에 투입되는 모든 산업제품들의 정보를 모델링하는 작업으로 정의할 수 있다.

57) See, R. (2007). Building Information Models and Models Views, JBIM-Fall (Publication, NBIMS). pp20-25

58) Peterson, F. & Fischer, M. (2009). Case Study : Scope-Cost-Time Integrated Model with Work Breakdown Structure, Retrieved from <http://www-leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP115.pdf>

Uniformat의 분류체계가 공종별 분류체계(Working Breakdown Structure, WBS)로 변경된 후 자재의 비용정보가 코딩되는 소프트웨어의 장면이 나타나 있다.

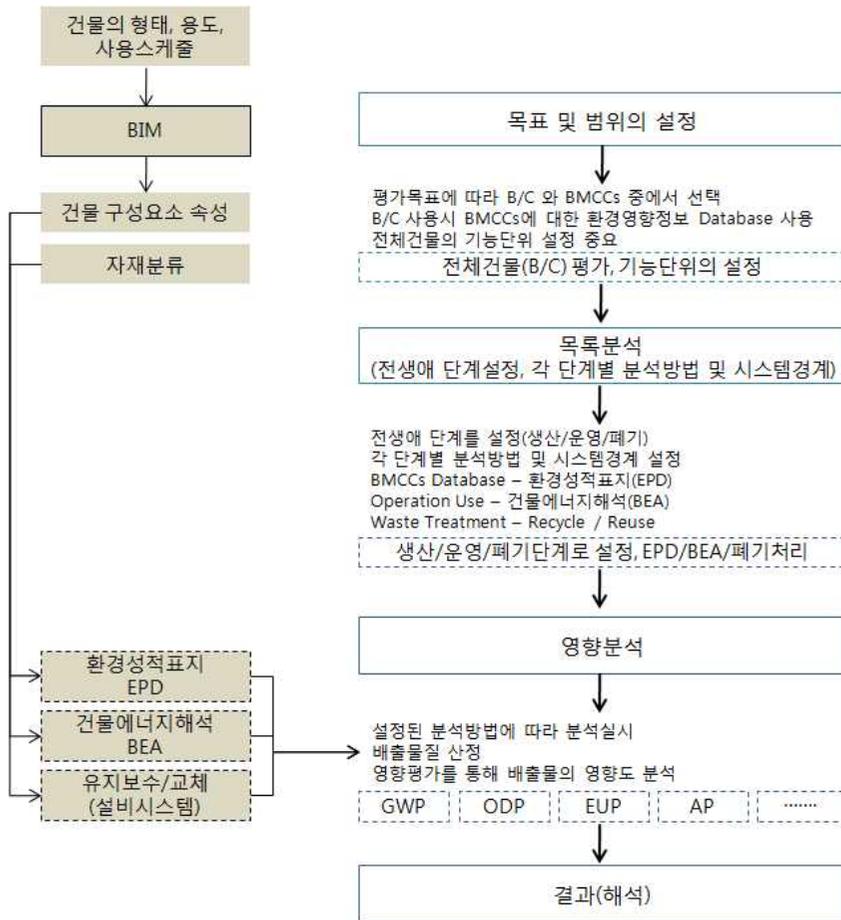


(그림 5.2) Uniformat 분류에 의한 BIM 정보 생성방법
(다음의 BIM 정보 생성방법은 Stanford integrated modeling 방법임)

제 3 절 평가모델의 구축

1. 전생애환경영향평가(Life Cycle Analysis, LCA)

전생애환경영향평가는 목표 및 범위의 설정(Goal and Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향분석(Impact Assessment), 해석(Interpretation)의 과정을 통해서 분석이 이루어진다. 분석의 흐름은 아래 그림 5.3과 같다.

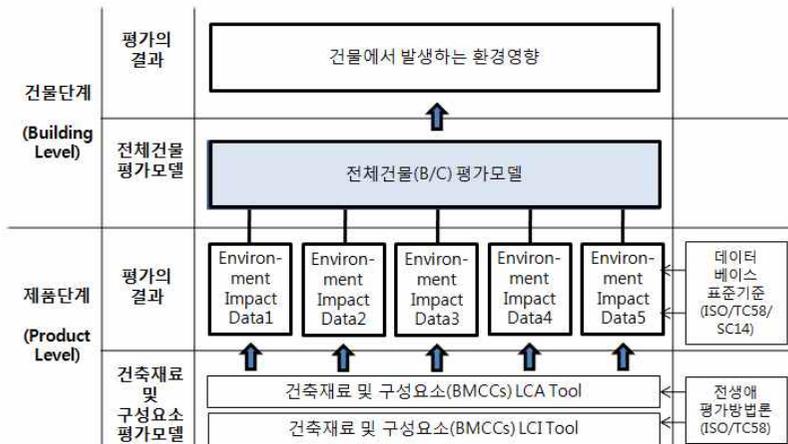


(그림 5.3) 전생애환경영향평가의 흐름

(1) 목표 및 범위 설정

건물의 전생애 환경영향평가는 목표 설정에 따라 ‘전체건물(Whole Building)’의 평가와 ‘건축재료 및 구성요소(Building Materials Combination and Components)’ 중심의 평가로 나뉜다. ‘전체건물(Whole Building)’은 건물을 하나의 제품으로 간주하고, 건물의 생산에서 폐기까지의 전생애를 평가하는 것이며, 환경적 영향이 큰 건물의 운영기간을 포함하게 된다. 본 연구에서는 건물의 전생애, 즉 건물의 운영단계에서 발생하는 환경영향을 주요 영향으로 다룰 예정이므로 평가목표를 ‘전체건물(WB)’로 설정하였다.

‘전체건물(WB)’을 평가하는 경우에는 전생애를 평가할 수 있는 평가모델이 수립되며, 건물의 생산단계에서 발생하는 ‘건축재료 및 구성요소(BMCCs)’ 각각에 대한 환경영향에 대한 평가는 따로 실시하지 않는다. 대신 이미 생성된 제품별 환경영향정보를 입력하는 것이 일반적이다.⁵⁹⁾ 따라서 ‘전체건물(WB)’ 평가는 아래 그림 5.4와 같은 과정을 통해 실시된다.



(그림 5.4) 전체건물(Whole Building) 평가모델

자재의 환경영향정보를 전체건물에 데이터로 사용하기 위해서는 기능단위 (Functional Unit)를 설정하는 것이 필요하다. 건물전체의 기본적인 기능단위는 단위면적, 혹은 건물의 단위용적, 재실자의 수 등이 대표적이며, 본 연

59) Shpresa, K., Schuurmans, A. & Suzy, E.(Eds.) (2003) Life-Cycle assessment in building and construction : a state of the Art Report, North Carolina : SETAC Press

구에서는 건물의 단위면적(m²)을 기능단위로 설정한다.

따라서 전체건물 평가모델에서 사용하는 건축재료 및 구성요소의 데이터는 ‘전체건물’ 평가모델에서 사용하는 기능단위에 맞게 환산해야 하며, 현재 자재에서 사용되는 단위는 중량단위, 부피단위, 혹은 열관류율과 같은 성능단위이므로 이를 ‘건물 및 공사’ 평가모델의 데이터베이스로 사용하기 위해서는 t 및 kg/m²등으로 환산해야 한다. 다음 표 5.1은 주요건축자재의 기능단위 환산표이다.

<표 5.1> 주요건축자재의 기능단위 환산표

자재	콘크리트	타일	벽돌	유리	거푸집	블록	몰탈
환산량	2300 (kg/m ³)	28.8 (kg/m ²)	2 (kg/개)	9.9 (kg/m ²)	6.7 (kg/m ³)	14.0 (kg/개)	33 (kg/m ²)

(2) 목록분석

가) 분석단계 및 기간의 설정

전생애기간의 분석단계는 분석자에 따라 달라질 수 있다. 그러나 단계를 분리하는 방법에 대해서는 명확한 원리가 있는 것은 아니며 단지 모든 단계를 통하여 전생애가 반영되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 건물 환경영향평가도구의 분석범위⁶⁰⁾⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾와 실제 평가가능성을 반영하여 분석범위를 설정하였다.

60) Scholten NPM, De Groot-Van Dam A. (1999). Material-related environmental profile of a building. A prototype method. Delft, NL: TNO Bouw, a joint cooperation with IVAM Environmental Research, W/E Consultants Duuzaam Bouwen, TNO MEP, CML, INTRON. TNO rapport 1999-BKR-R025.

61) Krogh, H., Tillman, A. M., Hakkinen, T. & Fossdal, S. (1995). Environmental data for building materials in the Nordic countries. Copenhagen : Norwegin Building Research Institute

62) CIB. (1997). International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Buildings and the environment. Second International Conference. Paris, F: CIB

63) Häkkinen, T. (1994). VTT research notes: Environmental impact of building materials. Espoo, Tampere, and Oulu : VTT Building Technical Research Center

64) Mak J, Anink D, Kortman J, van Ewijk. (1997). Eco-Quantum computer programme. Gouda/Amsterdam, NL: W/E Consultants Sustainable Buildings/IVAM

일반적인 평가범위는 생산단계, 운영단계, 폐기단계로 나타났다. 공사단계의 경우에는 제외하는 경우가 많았는데, 이는 대지 내에서 발생하는 환경영향이 전체 영향에 비해 상대적으로 매우 낮은 것 외에도 평가할 수 있는 데이터가 매우 부족하기 때문이다. 공사단계에서 발생하는 폐기물의 경우에도 현장에서 시방서의 증가의 부담의 원인으로 데이터가 거의 만들어 지지 않고 있으므로 평가가 어렵다.

운영단계의 경우에는 전체 에너지사용량의 약 40-80%를 사용하여 상대적인 영향이 크므로 명확한 결과를 도출하는 것이 필요하다. 수자원의 경우에는 건물의 운영단계에서 사용하는 수자원을 어느 정도 다루고 있다. 그러나 기타 단계에서의 수자원 사용은 거의 다루지 않는 것으로 나타났다. 유지관리 및 교체는 대부분의 평가도구에서 다루고자 하는 내용이지만 기준이 명확하지 않아서 그 내용은 서로 다른 경우가 많다.

폐기단계에서 발생하는 폐기물의 발생량 및 폐기처리수준에 따른 환경영향이 크다. 그러나 에너지사용비율은 1%에 지나지 않아 에너지 사용에 의한 영향은 상대적으로 매우 낮으며, 폐기물 운송에 의한 에너지사용량만이 일반적으로 포함된다.

따라서 본 연구에서는 시공단계의 경우에는 시공현장에서의 사용에너지 및 폐기물발생에 대한 자료의 부족으로 제외하는 것으로 설정하였다. 수자원의 경우에는 운영단계에서 발생하는 수자원 사용량은 분석에 포함하되 기타 단계에서 발생하는 수자원사용에 의한 환경영향은 제외하는 것으로 설정하였다.

다음은 각 단계별로 설정된 평가범위를 정리한 표 5.2이다.

<표 5.2> 각 단계별 설정된 평가의 범위

	생산단계	시공단계	운영단계	폐기단계
건축재료		×	×	○
에너지	사용하는 데이터에 따라 조금씩 달라질 수 있음.	×	○	○ (폐기물 운송에 따른 에너지사용)
수자원		×	○	×

×: 평가범위에서 제외함

나) 각 단계별 분석방법 및 시스템 경계

① 생산단계

건축재료 및 구성요소의 생산단계에서 발생하는 환경영향의 경우, 기존에 만들어져 있는 건축자재 및 구성요소의 데이터베이스를 사용하는 것으로 설정하고 있다. ‘건축재료 및 구성요소 즉, 생산단계에서 사용할 데이터베이스로는 환경성적표지(Environment Product Declaration, EPD)가 대표적이다. 이 데이터베이스는 유럽표준화기구(European Committee for Standardization, CEN)를 중심으로 가장 선도적으로 개발되고 있으며, 국제표준화기구(ISO)에서 설정한 제품의 환경영향정보 Type 3 레벨(ISO 14024/25)을 바탕으로 하고 있다.

② 운영단계

건물의 운영단계에서 사용하는 에너지 및 수자원의 양은 환경영향평가결과에 막대한 영향을 미치게 되며, 사용량은 건물의 용도와 재실자의 사용특성과도 매우 관련이 깊다. 따라서 명확한 결과를 도출하는 것이 필요하며 이를 해석하는 전문 건물에너지해석 프로그램을 사용하여 사용량을 평가하는 것으로 한다.

건물에서 사용되는 에너지는 사용용도에 따라 난방, 냉방, 조명, 환기, 전기기기로 나눌 수 있다. 각 에너지사용량은 건물에너지해석 프로그램을 사용하여 예측할 수 있으며, 본 프로그램에서 사용하도록 권장하는 건물에너지해석 프로그램은 다음 표 5.3과 같다.

<표 5.3> 운영단계 에너지해석 계산을 위한 권장 프로그램

	eQuest	Energy-Plus	TRNSYS	ESP-r	Design-Builder
연간 에너지소비량 해석	○	○	○	○	○
새로운 시스템 및 열원의 해석	○	○	○	○	○
시간별, 동적 에너지 해석	○	○	○	○	○
지속적인 개발	○	○	○	○	○
자료 입출력의 용이성	△	△	△	△	△
컴퓨터 환경	WIN	WIN	WIN	WIN	WIN

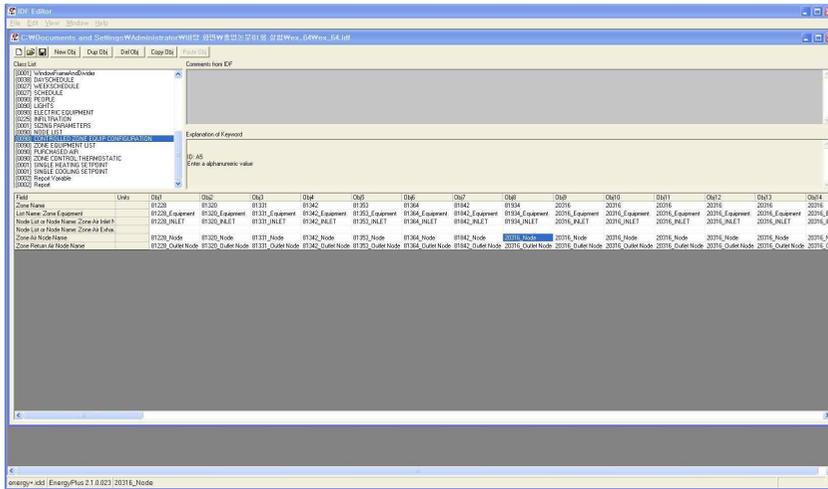
○: 가능, △: 보통, ×: 불가능

이들 건물에너지해석 프로그램 대부분은 상용화되어 있지 않아(Trnsys 제외), 프리웨어로 사용할 수 있도록 공개되어 있으며, 지속적인 개발을 통하

여 새로운 시스템 및 열원 해석의 범위 또한 넓어지고 있다. 또한 사용자를 위한 인터페이스 개발 또한 지속적으로 이루어지고 있다. 이들 프로그램 이외에도 성능이 검증된 다양한 프로그램의 활용도 가능하다.

일반적으로 건물에너지 해석 프로그램은 동적 시뮬레이션 방식을 기초로 하고 있는 것으로서 사용이 다소 복잡하다. 하지만 최근 건물의 구성요소 및 시스템이 복잡해짐에 따라 전문적인 건물에너지 해석 프로그램의 요구가 증가하고 있는 실정이다. 정적 시뮬레이션 방식의 경우, 계산하기에 간단하고, 시뮬레이션에 소요되는 시간이 다소 적을 수 있지만 냉난방에 크게 영향을 미치는 구조체의 축열성능과 일사의 영향 등에 대한 고려가 미흡하고, 설비 시스템에 대한 고려가 취약하여, 설비시스템의 표현을 최소화하고 있어, 실제 에너지소비량과의 차이가 크게 날 수 있으므로 권장하지 않는다.

아래 그림 5.5는 EnergyPlus 에너지해석 프로그램의 출력결과 예시이다.



(그림 5.5) 에너지플러스 에너지해석 프로그램의 해석결과(예시)

산출된 에너지소비량은 CO₂배출계수에 의해서 CO₂배출량으로 산정된다. CO₂배출계수는 각 에너지의 종류에 따라서 다르며 국가별, 지역별로 달라지므로 각 배출계수에 대한 정확한 데이터를 확보하는 것이 중요하다 그러나 우리나라의 경우에는 정확한 CO₂배출계수에 대한 정부의 공식적 발표는 없는 상태이며, 각 연구기관에서 설정하는 계수나 기후변화를 위한 정부간 패패널에서 발표하는 탄소배출계수를 사용하게 된다.

건물에서 사용하는 CO₂배출계수는 크게 화석연료와 전력사용으로 구분될 수 있으며, 화석연료의 종류는 크게 휘발유, 경유, LNG가 대표적이다. 다음은 주요 화석연료의 CO₂배출계수에 대한 표이다.(표 5.4)

<표 5.4> 각 에너지 종류별 탄소배출계수

구분	화석연료 에너지		
	휘발유	경유	LNG
석유환산계수	0.800(1kg/kg)	0.905(1kg/kg)	1.055(1kg/kg)
탄소배출계수	0.783(TC/TOE)	0.837(TC/TOE)	0.637(TC/TOE)

전력의 경우에는 각 나라의 전력생산과정에 따라 배출계수가 달라지는데, 우리나라의 경우 전력생산을 위하여 원자력 발전을 많이 사용하므로 이 요인이 감안된 CO₂배출계수를 사용하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 나라별 전력의 CO₂배출계수를 산출하고 있는 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 탄소배출계수를 사용하였다(2008년기준). 다음 표 5.5는 우리나라 전력에너지에 대한 CO₂배출계수이다.

<표 5.5> 전력사용에 의한 탄소배출계수 (단위: CO₂kg/kWh)

국가	2003	2004	2005	2006
한국	0.8452379	0.8655495	0.8483711	0.8689996

화석연료소비량을 CO₂(TCO₂)배출량으로 변환하기 위해서는 탄소배출계수를 적용하여 산출한 탄소배출량(TC)에 CO₂ 환산계수인 CO₂ 분자량/탄소 원자량(44/12)를 다시 적용해야 한다. 전력소비의 경우에는 전력소비량(kWh)에 따른 탄소배출계수를 적용하면 된다. 다음은 CO₂ 배출량 산정식이다.

$$TOE(\text{에너지소비량} * \text{순발열량}/10^7) * \text{탄소배출계수} * CO_2 \text{ 환산계수}(44/12) \cdot \text{(식 5.1)}$$

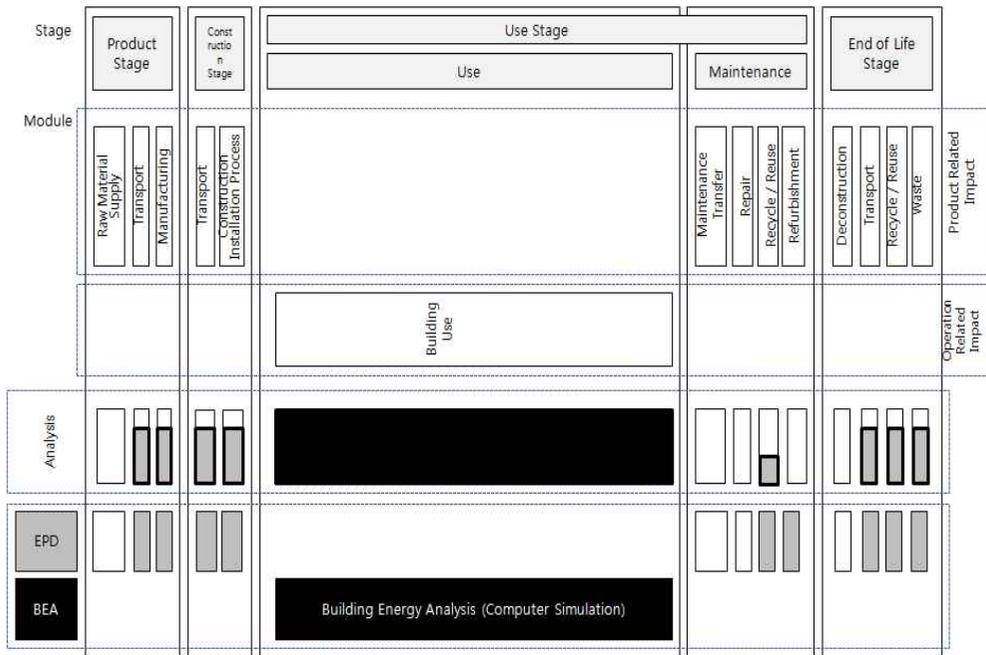
$$\text{전력소비량} * CO_2 \text{배출계수} \cdot \text{..... (식 5.2)}$$

수자원의 경우에는 건물에서의 수자원 사용량을 평가하는 프로그램이 따로 없으므로 평가모델에 수자원 사용량 계산기를 포함하되, 수자원 사용량의 경우, 수전의 공급방식, 수전의 수 및 사용자의 사용패턴 및 시간에 대한 데이터베이스를 내장하고 간단한 알고리즘을 통해 계산하는 것으로 한다.

③ 폐기단계

폐기단계의 경우에는 재활용률에 따라 달라지게 되는데, 재활용률은 사용자가 결정하게 되며, 재활용하지 않는 나머지 자재를 폐기하는데 발생하는 환경영향을 설정하게 된다. 폐기하는데 발생하는 환경영향 또한 데이터베이스로 구축되어 있으나 재활용되지 않는 자재를 구별해서 적절한 데이터베이스를 사용하는 것이 필요하다.

아래 그림 5.6은 앞서 설정한 분석단계 및 기간별 분석방법 및 시스템 경계의 전체 다이어그램이다. 분석기간은 생산단계, 운영단계, 폐기단계로 나뉘며, 데이터베이스를 사용하는 생산단계와 폐기단계, 건물에너지해석프로그램을 사용하는 운영단계로 크게 나눌 수 있다.



(그림 5.6) 각 단계별 분석방법 및 시스템 경계

(3) 영향분석

본 평가모델의 배출물질에 따른 주요환경영향으로 평가 가능한 영향지표는 대기오염의 경우(Emission to Air)에는 지구온난화(GWP, Global Warming Potential in CO₂ equivalent), 오존층고갈(ODP, Ozone Depletion Potential, in CFC-11 equivalent), 산성화 (AP, Acidification Potential, in SO₂equivalent), 스모그 등이며, 수질오염의 경우(Emission to Water) 부영양화(EUP, Eutrophication Potential, in PO₄ or P₂O₅ equivalent) 등이 있다.

건축생산단계에서 사용하는 데이터베이스는 건축재료 및 구성요소(BMCCs)의 대표적인 데이터베이스인 유럽표준화기구(Committee European de Normalization, CEN)를 중심으로 생성되는 환경성적표지(Environment Product Declaration, EPD)의 영향분석범위를 기준으로 설정하였다. 아래 표 5.6는 유럽 표준화 기구에서 기준화한 환경성적표지(EPD)의 영향지표 9개에 대한 것이다.

<표 5.6> 환경성적표지(Environment Product Declaration)의 영향지표

환경영향지표	단위
Greenhouse Effect	kg CO ₂
Depletion of the ozone layer	kg CFC-11
Human toxicity	kg 1,4-dichlorobenzene
Ecotoxicity, Aquatic	kg 1,4-dichlorobenzene
Ecotoxicity, Terrestrial	kg 1,4-dichlorobenzene
Smog	kg ethylene
Acidification	kg SO ₂
Eutrophication	kg PO ₄

영향분석과정에서 사용되는 영향분석에 필요한 계산식에 대한 설정은 본 연구에서는 제외하는 것으로 하고, 유럽연합집행기관(European Commission, EC)에 의해서 개발된 식⁶⁵⁾을 사용하는 것으로 설정한다.

(4) 해석

해석단계는 전체건물 평가를 실시할 경우에는 특별히 해당되지 않는다.

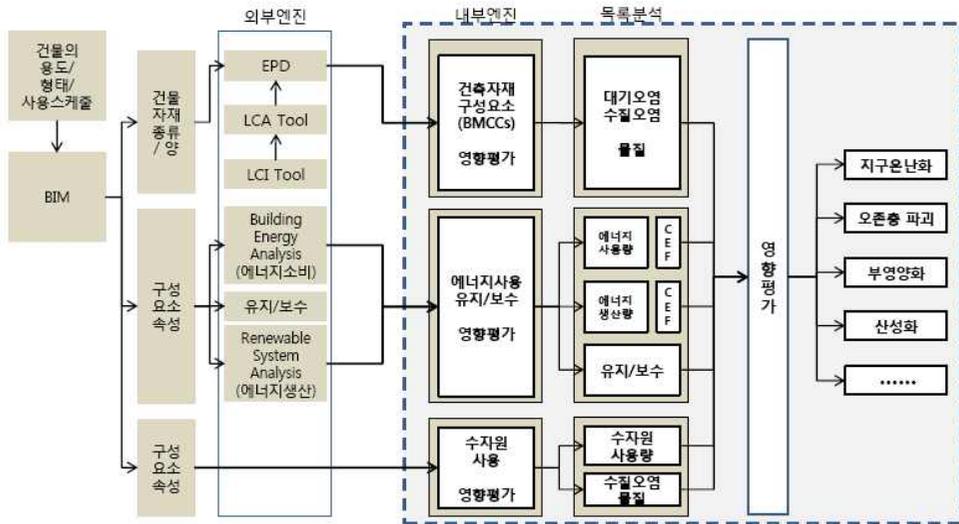
65) Van Holsteijn en Kemna BV. (2005). Methodology Study Eco-design of Energy-using Projects, Belgium : European Commission

(5) 전생애 환경영향 평가모델

전생애 환경영향 평가모델은 외부엔진을 포함한 세 개의 세부단계(외부엔진, 내부엔진, 목록분석)로 분리된다. 첫 번째 단계는 건물에 투입되는 자재, 에너지, 수자원에서 발생하는 배출물질의 계산을 실시한다. 이때 투입되는 자재의 경우에는 입력모듈에서 생성된 자재의 물량을 사용하게 되며, 운영단계의 에너지사용량은 건물에너지 해석프로그램의 수행을 통하여 얻게 된다. 이는 평가모델의 외의 평가엔진에 의해 실행된다.

두 번째 단계는 내부엔진에 의한 평가로서 배출량 분석이 이루어진다. 건축자재의 경우에는 자재별 환경영향정보를 사용하고, 운영단계에서 사용된 에너지의 경우에는 에너지종류별 배출계수를 적용하여 산정한다.

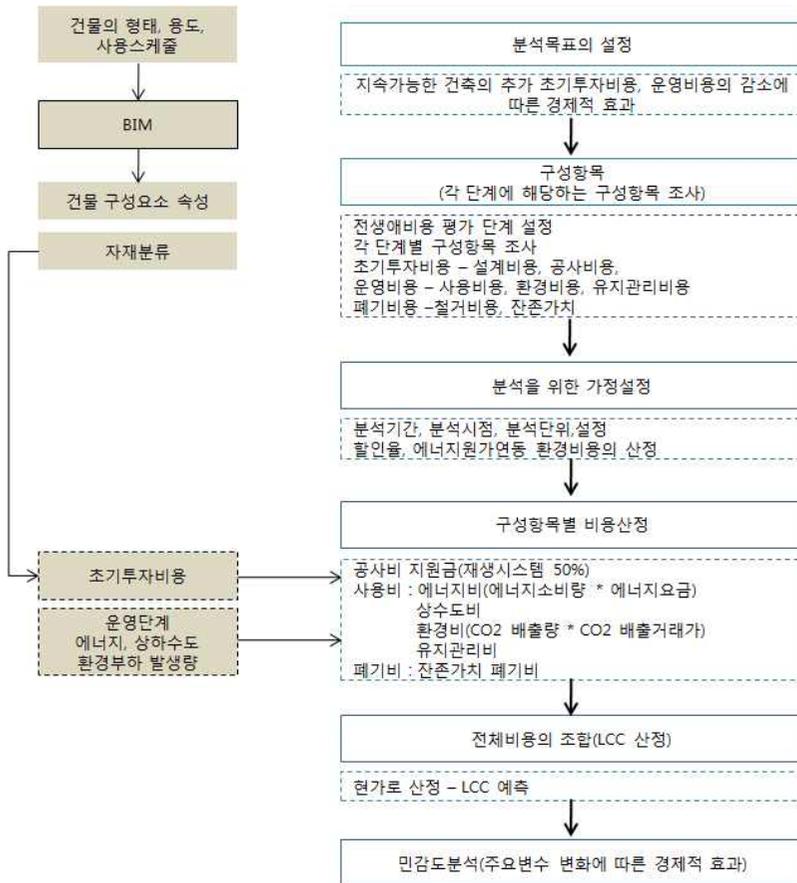
세 번째 단계는 목록분석 및 영향평가이며, 배출량에 의한 지구온난화, 오존층파괴, 부영양화 등의 영향분석이 실시된다. 다음 그림 5.7은 앞서 설명한 세 개의 세부단계에 대한 다이어그램이다. 평가내용은 건축자재, 운영단계의 에너지, 수자원으로 구분되어 있다.



(그림 5.7) 전생애 환경영향 평가 모델

2. 전생애비용평가(Life Cycle Cost Analysis, LCC)

전생애비용평가는 분석목표의 확인, 구성항목조사, 분석을 위한 기본가정 설정, 구성항목별 비용산정 전체비용조합 및 민감도분석으로 이루어진다. 분석의 흐름은 아래 그림 5.8과 같다.



(그림 5.8) 전생애비용평가의 흐름

(1) 분석목표의 설정

본 평가모델의 전생애비용평가의 주요 목적은 지속가능한 건축의 경제적 효과를 파악하는 것이다. 지속가능한 건축은 일반건축에 비하여 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 기술이 추가되기 때문에 이에 따르는 추가비용이 발생한다. 그러나 동시에 자원을 효율적으로 사용하고 환경부하 발생을 감소시킴으로써 운영비용 및 환경부하로 인한 환경비용을 감소시킬 수 있다. 따라서 추가되는 초기투자비용과 운영단계에서 감소하는 운영비용 및 환경비용에 따른 전생애비용의 증감을 중심으로 평가한다.

(2) 구성항목의 선정

표 5.7의 구성항목은 기존 전생애비용분석의 비용분류체계를 고려하여 선정된 결과이다. 지속가능성 증진과 관련 없는 비용항목에서의 공사비가 증가할 경우, 지속가능성 증진에 따른 경제성 평가가 정확히 이루어질 수 없으므로 지속가능성 증진과 관련이 적거나 전생애비용 분석결과에 영향이 미미한 항목은 제외하였다.

<표 5.7> 전생애비용평가를 위한 구성항목 선정

		분류		기준	
초기 투자 단계	설계비	C1	기본설계비	C1-1	기본설계비
			실시설계비	C1-2	실시설계비
	공사비	C2	공사비	C2-1	토목공사비
					건축공사비
					설비공사비
				전기공사비	
			지원금	C2-2	정부 보조금 등이 있는 경우
운영 단계	사용비용	C3	에너지비용	C3-1	에너지소비량(전력, 가스, 상 하수도요금)
			상하수도비용	C3-2	상하수도 비용
	환경비용	C4	환경부담금	C4-1	환경부하에 따른 환경비용
유지보수 비용	C5	점검비용	C5-1	일상운영에 필요한 수리 및 소모성 부품비	
		교체비용	C5-2	장비 배관 등의 주기적 교체비용	
폐기 단계	폐기비용	C6	철거비용	C6-1	특수한 해체공법 등에 의한 비용
			잔존가치	C6-2	재활용이나 판매등의 수익/ 감가상각 후의 장부가치

가) 초기투자단계

① 설계비 : C1

설계비는 전체건물의 기획 및 설계시 발생하는 비용이며, 설계비는 기본설계비와 실시설계비로 나눌 수 있다.

② 공사비 : C2

공사비는 건물공사에 들어가는 총 비용 중에 환경성 증진과 관련 있는 비용항목만을 포함하는 것이 필요하다. 따라서 환경성 증진과 관련없는 부위(공정) 즉, 마감, 조경공정 등의 항목은 공사비산출에서 제외하도록 한다.

나) 운영단계

① 사용비 : C3

사용비용은 에너지비용 및 상하수도비용으로 나뉜다. 이 비용은 건물에서 실제 사용되는 에너지의 양과 수자원의 양에 따라 달라지므로 먼저 사용 에너지 및 수자원의 양을 파악하고, 해당하는 요금을 적용하는 것이 필요하다.

② 환경비 : C4

환경비용은 건물의 전생애동안에 건물로 인해 발생하는 환경의 부정적 영향에 대한 책임비용으로서 환경부하 부담금이라고도 불린다. 최근 국제적으로 환경의 부정적 영향에 대한 관심이 높고, 이를 비용으로 환산하려는 노력이 증가하면서 환경비용 지출은 당연시 되는 분위기이다.

③ 유지보수비용 : C5

유지보수비용에는 수선, 부품교환비, 청소, 점검정비비 등이 있으나, 국내의 경우 이러한 자료에 대하여 아직 정리되어 발표된 것은 없으며, 그 특성상 각 건물에 따라 보전의 정도나 관리능력이 다르고 아울러 상당한 차이가 있을 것으로 예상된다.

다) 폐기단계

① 폐기비용 : C6

폐기비용은 철거비와 잔존가치로 나뉜다. 철거비용은 건축물의 수명이 끝나는 시점에서 발생하며, 잔존가치는 건물의 수명이 끝나는 동시에 설비의 수명도 끝나는 경우가 대부분이므로 잔존가치는 발생하지 않는 것이 대부분이다.(전생애기간 40년 기준)

(3) 분석을 위한 기본가정 설정

① 분석기간

내구연한은 설정기준에 따라, 각 나라의 상황에 따라 달라질 수 있다. 건물의 내구연한을 결정하는데 있어서는 특정 방법론은 없는 상태이지만 물리적, 경제적, 법적, 사회적, 환경적 기준에 따라 설정한 내구연한은 다음 표 5.8과 같다. 이 중 환경적 내구연한은 에너지 절감과 CO₂ 배출량 감축이 주요 설정 근거가 될 수 있으며, 에너지 절감과 CO₂ 배출감축의 목표 달성을 바탕으로 40년을 설정할 수 있다. 본 연구에서는 환경적 내구연한을 적용하여 40년을 분석기간의 기본기간으로 설정하였다.

<표 5.8> 내구연한의 설정 기준

종류	근거	내구연한
물리적 내구연한	콘크리트 중성화 이론 근거	철근 콘크리트조 : 50-60 년 추정
경제적 내구연한	한국감정원의 자산 감정평가 기준	철근 콘크리트조 : 평균 50년
법적 내구연한	법인세법 시행규칙 제 15조의 감가상각 차원	철근 콘크리트조 / 철골조: 평균 40년(30-50년)
사회적 내구연한	재건축 허용 기준 근거	-
환경적 내구연한	에너지절감 및 CO ₂ 감축 목표 달성 근거	40년

② 설비의 내구연한

건물을 구성하는 모든 구성요소에 대한 내구연한을 고려하여 평가에 반영하기에는 매우 방대한 양이나 제공되는 자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 건축물의 주요 설비시스템에 대한 내구연한만을 고려하는 것으로 하였으며, 자료는 국가별로 법정 내구연한, 다양한 설비협회에서 제시하는 설비 종류별 내구연한을 사용하는 것으로 하였다. 다음은 각 국가별 내구연한에 관한 표 5.9(66)이다. 일반적인 설비시스템의 경우 교체주기를 15~20년으로 보고 있으나 유지 상태에 따라 10~30년 정도로 다양하다고 할 수 있다

66) , 사무소 건물 설비시스템의 종합적 성능개선 방법에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 박사 학위논문, 2000. 12

<표 5.9> 설비 내구연한 기준 비교

구분	법정 내구년수 (일본)	건설업 협회 (일본)	ASHRAE handbook 1995 (median)	ASHRAE journal 1978 (median)	VDI 2067 ¹⁾	한국 (제조업체 조사)
보일러 (수관식)	15	18.9(6.2)	24 (30)	26(증기) 23(온수)	20	12
(연관식)	-	21.1(5.6)	25(25)	25(증기) 24(온수)	20	10
(주철제)	-	-	25(30)	30(증기) 30(온수)	25	15
(전기)	-	-	15	15	25	-
(관류형)	-	-	-	-	-	10
(중온수)	-	-	-	-	-	12
(진공온수)	-	-	-	-	-	15
(관류형온수)	-	-	-	-	-	10
버너	-	-	21	20	20	10
냉동기 (왕복동)	13-15	15(6.5)	20	20	20	15
(원심식)	-	21.1(5.7)	23	23	23	15
(흡수식)	-	17.5(5.4)	23	23	23	17
(냉온수기)	-	-	-	-	-	15
히트펌프						
주택용 (공기-공기)	-	-	10	10	-	-
상업용 (공기-공기)	-	-	15	15	15	-
상업용 (물-공기)	-	-	19	13(상업용, 공업용)	15	-
패키지에어콘	13-15	-	15	15	15	15
룸에어콘 (창문형)	13(22kw)	13.4(5.6)	10	10	10	-
(분리형)	13(22kw)	-	15	15	-	-
공기조화기	-	17.5(5.8)	-	-	15	20
에어와셔	-	-	17	17	15	-
팬코일유닛	15	15.8(6.4)	20	20	15-20	16
라지에타 (강판제)	-	20.8(6.7)	-	25	20-25	-
(주철제)	15	-	-	-	30-40	45
(동,AL)	15	-	-	20	-	9
(STS)	-	-	-	-	-	20
(온수,증기)	-	-	25	-	-	-
(전기식)	-	-	10	-	-	-
열교환기 (헬튜브)	-	-	-	-	20	10
(판형)	-	-	-	24	15-20	7
냉각탑	15	14.4(5.3)	20(철판) 34(세라믹) 20(목재)	20(철판) 34(세라믹)	10-15	17(향류, 직교류)
송풍기	15	18.6(6.2) 다이형	25(원심) 20(축류) 15(프로펠라)	25(원심) 20(축류) 15(프로펠라)	20(저압) 15(고압) 20(일반)	10(시로코, 터보,투프형, 축류형)
펌프	15(급수,오 수)	17(냉온수) 17(배수) 12.9(배수) 12.9(수증)	20(양수) 10(온수) 10(양수) 15(응축수)	20(양수) 10(온수) 10(양수) 15(응축수)	10(라인) 10 (응축수)	9(냉온수) 9(급수) 7(오배수) 9(라인형)
밸브류	15	-	15(수력식) 20(공기식) 10(자력식)	15(수력식) 20(공기식) 10(자력식) 14(전기식)	15-20	6(일반 밸브류) 7(감압밸브, 트랩)
제어기기	15	-	20(공기식) 16(전기식) 15(전자식)	20(공기식) 16(전기식) 15(전자식)	10-12	-
전동기	15	-	18	18	15	10

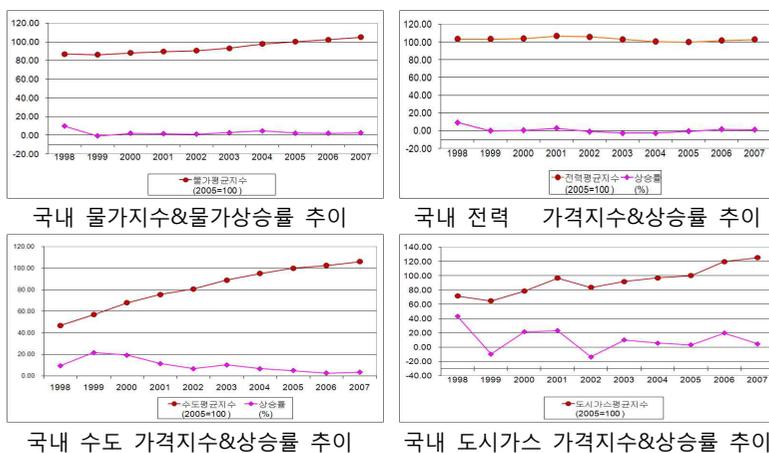
③ 기준시점 및 분석단위

본 평가의 목표에 따라 초기투자비용 및 운영단계를 중심으로 분석하고자 한다. 운영단계를 중심으로 하는 평가를 설계단계에서 적용하기 위해서는 준공 후 건물을 사용하는 시작 시점을 기준시점으로 하는 것이 적합한 것으로 사료된다.

따라서 초기투자비에 해당하는 설계비와 공사비의 발생을 현재로 가정한다. 운영관리비에서 유지보수비용과 환경비용은 1년차 말부터 발생하는 것으로 가정하며 교체비용은 설비시스템의 내구연한을 기준으로 적용한다. 폐기비용의 철거비용과 잔존가치는 분석기간의 마지막 연도 연말로 발생 시점을 가정한다. 기본적인 분석단위는 건물면적의 기본단위인 m^2 를 기준으로 하여 모든 발생비용을 m^2 당 발생비용으로 산출하였다.

④ 할인율

할인율은 미래에 발생될 비용을 현재가치로 환산할 때 사용되는 것으로 현시점의 이자율, 물가상승률, 에너지가격 상승률 등을 고려한다. 현재 국내경제상황이 고도성장기를 지나 안정성장기에 접어들었으므로 최근 10년간의 평균상승률을 적용하는 것으로 설정하였다. 따라서 할인율 산출은 2010년을 기준으로 과거 10년간의 평균상승률을 적용하였다. 1998년-2007년의 자료로 할인율을 산출하면 공칭할인율은 3.64%, 전력원가연동은 5.72%, 수도원가연동은 -2.74%, 도시가스원가연동은 -3.68%이다.



(그림 5.9) 국내 물가지수 및 에너지, 수도가격 지수

⑤ 이자율

물가상승율을 고려한 이자율로 국고채 5년의 이자율을 선택하여 평균이자율을 산출하였다. 1998년-2007년의 국고채 5년의 이자율은 다소 불규칙하지만 전체적으로 하강세를 보이며 2004년을 기점으로 다소 오름세이다. 10년간의 평균이자율을 6.68%이다.

⑥ 물가상승률

물가지수를 산정하는데 있어서 에너지가격의 심한 변동폭은 물가변화를 반영하기에 어려움이 있는 것으로 판단되어 제외해왔다. 그러나 최근 에너지가격은 일시적인 변동이 아닌 지속적인 상승을 보이고 있어서 이를 반영하려는 움직임이 크다. 따라서 본 평가모델에서는 에너지가격을 반영하는 종합물가지수를 사용하였으며, 이때의 평균물가지수는 2.93%이다.

⑦ 현가계수

각 비용은 여러 시점에서 발생하므로 이 비용을 현재가치로 환산하여 계산하여야 하며, 이것을 현가계수라 한다. 비용 발생의 기준 시점을 준공 후로 설정하였으므로 초기투자비는 현재 발생한다고 가정하고 현가계수는 1을 적용한다. 운영단계에서 발생하는 비용은 사용시점부터 매년 일정액이 소용되는 비용과 주기적으로 발생하는 비용을 분리하여 산출한다. 매년 발생하지는 않지만 일정주기를 갖고 반복하여 발생하는 교체비용은 교체주기마다 비용일 발생하므로 그때마다 발생비용을 현가로 합산하되 남은 기간이 교체주기의 50%이내일 때 교체를 중단한다.

• 회성 비용의 현가계수 $\frac{1}{1+i}$ (식 5.1)

i = 할인율(실질할인율, 에너지원가연동), = 발생시기

• 매년 발생하는 비용의 현가계수 $\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N}$ (식 5.2)

i = 할인율(실질할인율, 에너지원가연동), N = 발생시기

• 주기적으로 발생하는 비용의 현가계수 $\frac{(1+e)^N}{(1+i)^N} + \frac{(1+e)^{2N}}{(1+i)^{2N}} + \dots$ (식 5.3)

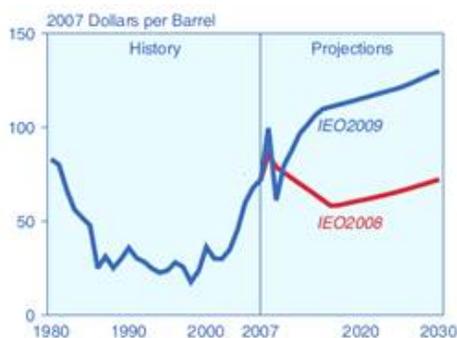
i = 할인율(실질할인율, 에너지원가연동), N = 발생시기

⑧ 주요변수의 전망

i) 에너지가격

에너지가격은 여러 가지 변수에 의하여 지배를 받는다. 특히 원유가격은 지속적으로 상승되었는데, 많은 전문가들은 석유수요의 지속적인 증가에 반해 공급이 이를 감당하지 못하고 있는 현재 상황과 석유의 유한성에 의한 장기적인 수급불안이 예상되는 미래의 상황이 국제유가의 상승에 가장 강력한 영향력을 행사하는 것으로 분석하고 있다. 따라서 유가의 변동을 예측하는 것은 매우 어려운 일이며, 같은 기관에서도 서로 다른 대안가를 제시하는 여러 가지 시나리오를 만들고 있다.

최근 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)에서는 유가상승에 따른 3가지 시나리오를 발표하였다.(2009) 이러한 유가예측의 상한가(\$200), 하한가(\$70)에 현저한 차이가 있지만 2030년까지 전세계 유가 사용량으로 판단했을 때, 2030년 배럴당 \$150에 대해서는 크게 달라지지 않을 것으로 예상되고 있는 추세이다.⁶⁷⁾(그림 5.10)(그림 5.11)



(그림 5.10) 유가변동 예측



(그림 5.11) 유가변동 예측 시나리오

만약 다음 시나리오의 평균가격을 변동가로서 적용할 경우, 현재 유가의 약 두 배 이상이 되는 배럴당 \$150의 유가상승가를 적용할 수 있으며, 이러한 적용은 전생애비용에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

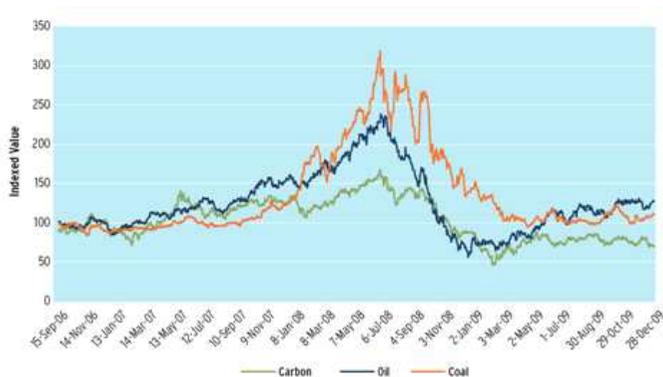
67) International Energy Agency. (2009). World Energy Outlook 2009. Washington, D.C. : International Energy Agency

ii) 환경비용

현재 세계적으로 적용이 예상되는 환경비용은 CO₂ 배출 거래권과 탄소세를 들 수 있다. 그 중에서도 CO₂ 배출 거래권은 유럽시장에서 다국적 기업을 대상으로 이미 거래되고 있는 비용으로서 포스트 교토협약과 함께 가까운 미래에 실제 발생할 가능성이 가장 높다.

유럽탄소배출거래제(EU-Emission Trading Scheme, ETS)에 기초한 탄소배출시장은 2005년 2월 교토의정서 발효를 계기로 시작되었으며, 현재는 25개국 1만 2천여개 에너지 다소비 기업을 대상으로 이산화탄소 배출 허용량을 설정한 후 잉여 탄소배출량을 거래하도록 하고 있다. 현재 탄소배출시장은 2009년 약 18% 성장했으며, 거래총액은 1200억 달러에 육박하고 있어 예상 탄소배출비용을 선정할 때는 유럽탄소배출시장에서 거래되고 있는 거래가를 중심으로 이야기하는 것이 일반적이다.

현재 탄소배출거래권의 가격은 전년대비(32달러, 22.1유로) 42% 떨어진 18.7달러(14.0유로)이다. 세계경제의 침체로 가격하락이 있었지만 전체 시장 거래량의 성장세는 매우 큰 편이다. 앞으로의 탄소배출거래가에 대해서도 여러 금융기관에서 예측치를 발표하고 있는데, 탄소배출거래가격은 에너지가격과 밀접한 관계가 있는 것으로 관찰됨에 따라 에너지가격이 상승함에 따라 탄소배출거래가격의 상승 또한 예상된다.⁶⁸⁾(그림 5.12)

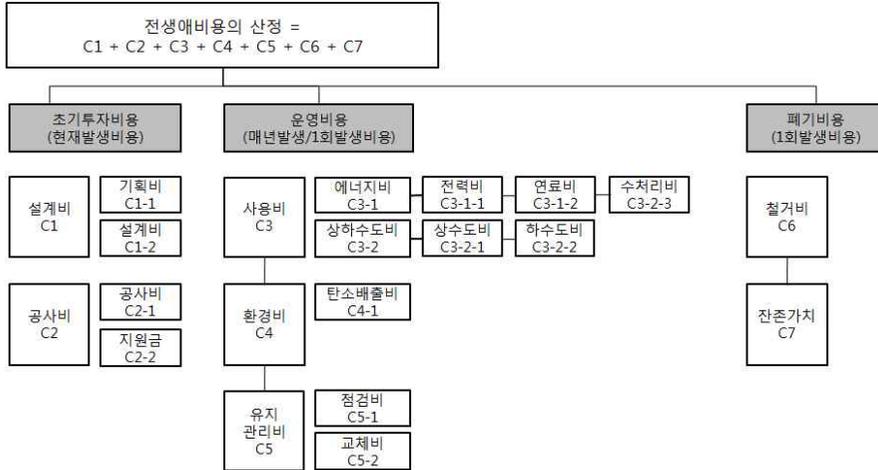


(그림 5.12) 에너지비용과 CO₂ 배출거래비용의 상관관계

68) Kossoy, A. & Ambrosi, P. (2010) State and Trends of the Carbon Market 2010. Washington D.C. : World Bank.

(4) 구성항목의 비용산정방법

설정된 구성항목의 비용을 산정하기 위하여 산정방법을 설정하였다. 각 구성항목에 따른 세부 구성은 다음 그림 5.13과 같다.



EBF : 일반전력 기본요금(원) EUF : 일반전력 사용요금(원) EET : 연간 에너지 소비량 합계(KW)
 PWA : 연금현가계수 'EBCU' : 심야전력 기본요금(원) FUA : 연료사용량(경유 : litter, 도시가스 : m³.hr)
 FUC : 연료단가(원/litter, 원/m³) CTC : 냉각탑 용량(RT) CPFLEOH : 냉각수 펌프 전부하 상당 운전시간(hr)
 SWCU : 상수도 요금 단가(원) C5SW : 연간가습량(litter/년) HVAC-A : 공조 면적(m²) PWA' :에스컬레이션이 있는 경우 연금현가계수 SWA : 보급수량(m³/원)

(그림 5.13) 구성항목의 비용산정방법

가) 초기투자비용

① 기획 및 설계비 : C1

현재로서는 일반건물과 지속가능한 건축의 기획 및 설계비를 비교할 수 있는 기준이 명확하지 않다. 또한 이 비용은 전생애 비용 분석결과에 영향을 미치기에는 설계비의 비용규모가 작은 편이다. 따라서 본 연구에서는 기획 및 설계비에 해당하는 C1은 포함하지 않는 것으로 설정하였다.

② 공사비 : C2

i) 공사비 : C2-1

일반적으로 공사비용은 공종별 견적비용으로 산출한다. 본 평가모델의 입력모듈은 건물정보모델링(BIM)의 일부인 새로운 공종별 분류체계를 따라 분

류된 결과를 산출하고, 그 결과에 비용정보를 코딩하는 방식을 선택했으며, 이에 따라 비용이 산정되는 것으로 가정하였다.

ii) 지원금 : C2-2

지원금(식 5.5)은 일부 재생에너지시스템을 설치하는 경우에 지급받을 수 있다. 지원금은 설치시 필요한 비용의 일부를 보조금의 형태로 지원받는다. 공사비의 총합은 공사비용과 지원금의 합으로 다음 식 5.6과 같다.

$$C2-1 = \text{공사비용} \dots\dots\dots (\text{식 } 5.4)$$

$$C2-2 = \text{지원금} = \text{재생에너지시스템 설치비용} * 0.5 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.5)$$

$$C2 = C2-1 + C2-2 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.6)$$

나) 운영비용

① 사용비용 : C3

건물사용에 필요한 비용은 에너지비와 상하수도비로 분류할 수 있으며 산정방식은 아래와 같다.

i) 에너지비 : C3-1

에너지비는 전력비와 연료비로 분류된다. 전력요금은 일반전력요금과 심야 전력요금으로 분류되고, 각기 기본요금과 사용요금으로 나누어진다. 일반전력 요금은 식 5.7, 심야전력요금은 식 5.10, 연료비용 사용요금은 식 5.13이다. 연료비는 다음과 같다. 에너지비 총합은 전력비와 연료비의 합으로 다음 식 5.13과 같다.

$$C3-1-1 = \text{전력요금(주간)} = EBF + EUF \dots\dots\dots (\text{식 } 5.7)$$

$$EBF = EET * EBCU * 12 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.8)$$

$$EUF = EET * EUCU \dots\dots\dots (\text{식 } 5.9)$$

$$C3-1-2 = \text{전력요금(심야)} = EBF + EUF \dots\dots\dots (\text{식 } 5.10)$$

$$EBF = EET * EBCU' + 0.254 * 4 + EET * 464 * 8 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.11)$$

$$EUF' = EET * EUCU' \dots\dots\dots (\text{식 } 5.12)$$

$$C3-1-3 = \text{연료비용} = FUA * FUC \dots\dots\dots (\text{식 } 5.13)$$

$$C3-1 = C3-1-1 + C3-1-2 + C3-1-3 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.14)$$

ii) 상하수도비 : C3-2

상하수도 비는 상수도비, 하수도비, 수처리비로 분류된다. 상수도비는 식 5.15, 하수도비는 식 5.16 수처리비 식 5.17과 같다.

$$C3-2-1 = (0.026 * CTC * CPFLEOH * SWCU + C5SW * HVAC - A) \dots\dots\dots (\text{식 } 5.15)$$

$$C3-2-2 = (0.026 * CTC * CPFLEOH * EWCU + C5SW * HVAC - A) \dots\dots\dots (\text{식 } 5.16)$$

$$C3-2-3 = SWA * WCP \dots\dots\dots (\text{식 } 5.17)$$

$$C3-2 = C3-2-1 + C3-2-2 + C3-2-3 \dots\dots\dots (\text{식 } 5.18)$$

② 환경비용 : C4

환경비용으로 발생가능한 비용은 현재, CO₂ 배출비용이며, 단가는 현재 유럽 EAU에서 거래되고 있는 CO₂ 배출권거래가격을 적용하는 것으로 한다.

$$C4 = C4-1 = CO_2 \text{ 배출량} * CO_2 \text{ 배출비용} \dots\dots\dots (\text{식 } 5.19)$$

③ 유지관리비 : C5

보전비는 수선, 부품교환비, 청소, 점검정비비 등이 있으나, 국내의 경우 이러한 자료에 대하여 아직 정리되어 발표된 것은 없으며, 그 특성상 각 건물에 따라 보전의 정도나 관리능력이 다르고 아울러 상당한 차이가 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 보전비를 설비공사비의 2% 정도로 가정하였으며, 보전비는 다음 식 5.20과 같다.

$$C5 = \{(설비공사비) * 0.02\} \dots\dots\dots (\text{식 } 5.20)$$

다) 폐기비용

폐기비용의 경우에는 철거비(C6)와 잔존가치(C7)로 나뉜다.

① 철거비 : C6

철거비용의 경우 일반적으로 건축물의 수명이 끝나는 시점에서 발생한다.

② 잔존가치 : C7

잔존가치 또한 건물의 전생애기간을 40년으로 설정하였으므로 건물의 수명이 끝나는 동시에 설비의 수명도 끝나는 것으로 가정하여 잔존가치 역시 발생하지 않는 것으로 설정하였다.

(5) 전생애비용 계산방법

본 연구에서는 현가법을 사용하여 전생애비용을 평가한다. 현가법을 사용하여 평가하려면 현재발생비용, 몇 년 후 1회만 발생하는 비용, 매년 반복적으로 발생하는 비용으로 분리하여 계산한 후 합산한다.

가) 현재발생비용

현재발생비용으로 계산되는 비용항목은 초기투자비용으로서, 공사비(토목, 건축, 전기, 설비공사)가 해당된다.

나) 1회발생비용

몇 년 후에 1년만 발생하는 비용에는 유지보수비용 및 관리비용 등이 있다. 비반복 비용은 다음 식 5.21을 사용하여 계산한다.

$$F \times PWF \dots\dots\dots (식 5.21)$$

재가치

$F = n$ 년 후의기말지불액

$PWF =$ 현가계수

다) 매년발생비용

매년발생비용은 매년 똑같이 반복적으로 발생하는 비용이며, 에너지비용, 환경비용 등이 여기에 포함된다. 식 5.22을 사용하여 현가로 환산한다.

$$P = F \times PWF \dots\dots\dots (식 5.22)$$

$P =$ 현재가치

$F = n$ 년 후의기말지불액

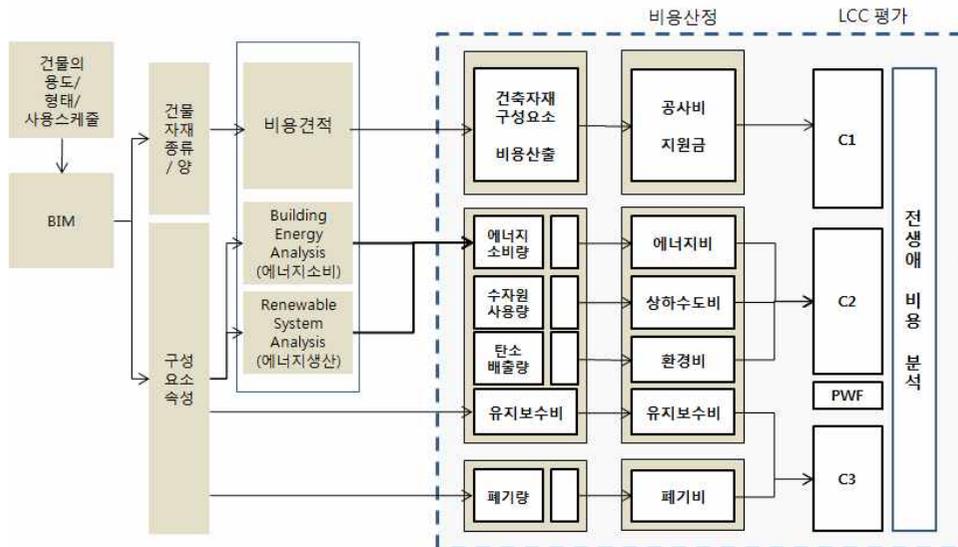
$PWF =$ 현가계수

(6) 전생애비용 평가모델

전생애비용 평가를 위한 평가모델은 세 개의 세부단계로 분리된다. 첫 번째 단계는 전생애비용 분석을 위한 전생애 각 단계의 비용을 산출하는 단례 소러 입력모듈에서 생성된 초기투자비용과 전생애 환경영향평가모듈에서 생성된 에너지사용량, 배출량 등이 입력되어 비용항목 산정방식을 통하여 계산된다.

두 번째 단계에서는 산정방식을 통하여 분리된 비용이 다시 현재발생비용, 매년발생비용, 1회발생비용으로 분류되는 단계이다. 이때는 비용계산에 필요한 주요변수 즉, 분석기간, 내구연한, 현가계수 등이 결정된다.

세 번째 단계는 전생애비용으로 계산되는 단계이다. 다음 그림 5.14는 전생애비용평가의 세 개의 세부단계를 나타낸 다이어그램이다.



(그림 5.14) 전생애 비용 평가모델

3. 개별기준평가모델

개별기준평가모델을 사용하여 평가를 실시하게 될 경우에는 해당되는 평가항목을 도출하고, 각 평가항목이 전체 성능에 미치는 영향을 파악하여 가중치를 설정하는 것이 중요하다. 평가항목은 앞서 설정한 바와 같이 실내환경의 질, 실외환경의 질에 영향을 미치는 요소이며, 구체적으로 열환경, 빛환경, 음환경, 공기환경, 건물주변의 녹지 등이 포함될 수 있다.

재실자의 쾌적 및 건강에 영향을 미치는 평가항목은 다속성 의사결정요소로 분류할 수 있으므로 설문조사를 통한 가중치의 설정이 가능하다. 이때의 설문은 일반인 및 전문가를 대상으로 설문조사를 하게 된다. 그러나 거주 후 평가(Post Occupancy Evaluation, POE)와 같이 거주 후 만족도에 대한 조사를 실시하고, 만족도에 영향을 미치는 요소의 영향도를 파악하여 가중치를 설정할 수도 있다.

그러나 앞서 제시한 분석방법 또한 재실자의 건강 및 쾌적성에 대한 공신력 있는 통합평가방법론이 아니며, 정량적인 결과를 도출하는 데에는 여러 가지 문제가 있으므로 본 연구에서는 구체적인 방법을 설정하지 않는 것으로 한다.

제 4 절 출력모듈

1. 결과의 종합방법

결과를 종합하기 위하여 다속성 의사결정방법인 가중치 합산모델 (weighted sum model)을 사용하는 것으로 설정하였으며 종합결과는 지속 가능한 건축의 성능지수(Sustainable Architecture Index)로 나타내는 것으로 하였다. 위의 방법을 사용하면 어떤 대안 i 에 대하여 지속가능한 건축지수 Sustainable Architecture Index(SAI_i)는 다음 식 5.23, 식 5.24를 사용하여 계산할 수 있다.

$$AI = \sum_{j=1}^M d_{ij} W_j \text{ (for } j=1,2,3...M) \dots\dots\dots \text{ (식 5.23)}$$

$$SAI_i = \sum SAI_i \dots\dots\dots \text{ (식 5.24)}$$

여기에서 SAI_i (for $i=1,2,3...M$)은 지속가능한 건축지수를 나타내며, i 는 의사결정문제를 의미한다. d_{ij} 는 d_i 에서 j 항목에 대한 성능을 의미한다. w_j 는 전체 항목에서 j 항목의 가중치를 나타내며 가중치는 의사결정자가 의사결정범위 내에서 의사결정자가 설정할 수 있다.

이러한 가정은 다기준 의사결정모델로 변환되어 아래와 같은 행렬표 5.10으로서 나타낼 수 있다. 일반적인 데이터의 정렬과 의사결정방법을 나타낸다. 이러한 행렬표를 사용하면 최고의 디자인 대안을 찾아내거나 디자인 대안의 순위를 설정할 수 있다.

<표 5.10> 다기준 의사결정모델의 행렬표

Design Alternative (Options)	Sustainable Criteria				
	Sc1 W1	Sc2 W2	Sc3 W3	Sc4 W4	ScN WN
D1	d1,1	d1,2	d1,3	d1,4	d1,N
D2	d2,1	d2,2	d2,3	d2,4	d2,N
D3	d3,1	d3,2	d3,3	d3,4	d3,N
DM	dM,1	dM,2	dM,3	dM,4	dM,N

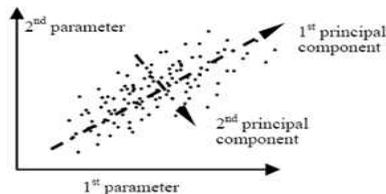
2. 정량적 속성의 정규화

성능평가결과 정규화를 위하여 선형척도변환법을 사용하였다. 이 방법은 서로 다른 속성이 혼재되어 있을 뿐 아니라 의사결정문제를 구성하는 속성들이 서로 다른 단위로 되어 있고, 비용과 같은 최소화 기준을 적용해야 하는 경우와 이익과 같은 최대화 기준을 적용하여야 하는 경우가 혼재되어 있을 때 사용하기 적절하다.

특히 선형척도변환법 중에서도 복잡한 선형 척도 변환법은 최대값과 각 속성의 최소값을 기준으로 변환하는 방법으로서 각 속성이 0과 1사이의 값으로 정확하게 변하는 장점이 있다. 따라서 복잡한 선형척도변환법을 사용하는 것으로 설정한다. 예를 들어 환경을 환경성이라고 할때, E 의 최대값은 환경부하가 가장 감소하는 경우를 의미한다. E 는 대안 j 에 대하여 E 에 대한 성능 측정값이며, E_{min} 는 표준모델에서의 E 의 성능 측정치, E_{max} 는 최대성능 모델의 성능치를 나타낸다. 환경성능에 대하여 복잡한 선형척도변환법을 이용하여 정규화하면 다음 식 5.25와 같이 표현할 수 있다.

$$E v = \frac{Env_j - Env_{min}}{Env_{max} - Env_{min}} \dots\dots\dots (식 5.25)$$

정규화를 통하여 각 성능의 결과값이 스케일이 없는 점수(Dimensionless Score)로 변환되면 0-1사이의 값으로 도출되는데, 이때 0점은 기준이 되는 표준모델을 의미하며 1의 경우에는 목표로 하는 최대성능의 건물을 나타낸다. 각 성능에 대한 정규화된 점수가 도출되면 각 성능을 하나의 차원(축)으로 가지는 다차원 공간(Multi-dimensional space)에서 어느 한 점으로 표현할 수 있다. 공간그래프의 예시는 다음 그림 5.15와 같다.



(그림 5.15) 다차원 공간에서의 성능의 위치

(1) 최소성능의 설정

최소성능은 제시된 모델에서 구현될 수 있는 최저성능을 의미한다. 따라서 환경부하가 가장 크고, 전생애비용이 가장 큰 모델이며, 일반적으로 최소한의 법적기준만을 만족시키는 보편적인 표준모델을 최저성능 모델로 사용한다.

(2) 최적성능의 설정

최적성능은 제시된 모델의 조건에서 가장 최고의 성능을 의미한다. 따라서 주어진 조건에서 가장 환경부하가 작고, 전생애비용 또한 작은 건물이다. 그러나 환경성, 경제성, 사회성은 독립적 성능이 아니므로 세 가지의 성능이 동시에 이루어지려면 최적디자인이 필요하다.

따라서 최적화 디자인 방법(Optimization Design Method)을 사용하여 이때의 최고의 해(Solution)에서 도출되는 환경성능, 경제성능을 최적성능으로 설정한다. 최적화 디자인은 다양한 결정변수(decision variable)에 대한 목적함수(objective function)의 설정으로 결정한다.

가) 최적화 수리모델을 위한 함수식

다음 식 5.26은 에너지비용과 CO₂ 배출에 대한 비용이 발생한다고 가정했을 경우에 CO₂ 배출량과 경제성 사이의 최적해를 찾아내는 목적함수이다. 최적해는 가 최소일 때의 값이다.

$$F_1 \times Y(F_2 + F_3) \dots\dots\dots \text{(식 5.26)}$$

F 물의 시공비용 함수식(초기투자비용)

F_2 = 건물의 에너지비용 함수식

F_3 = 건물의 탄소배출비용 함수식

$Y = \gamma N_0$ 는 건물의 이용기간

γ = 이자율과 인플레이션

$$F_1 = mh_k \sum_{i=1}^n l_i(1-r_i)C_{wall} + \sum_{i=1}^n l_i(r_i)C_{wall} + \sum_{i=1}^n l_i(r_i)C_{win} + A(C_{roof} + C_{floor}) \dots\dots\dots \text{(식 5.27)}$$

$$mh_k \left(\sum_{i=1}^n l_i (1-r_i) + \sum_{i=1}^n l_i (r_i) U_{win} \right) 24HDD - \sum_{i=1}^n l_i (r_i) P_i \theta_i (\alpha) \dots \dots \dots (\text{식 } 5.28)$$

$$+ A \left(\frac{\psi_{roof}}{R_{roof}} + \frac{\psi_{floor}}{R_{floor}} \right) 24HDD + Q_{ventil} + Q$$

$$F_3 = C_{co} \times CEF \times F_2 \dots \dots \dots (\text{식 } 5.29)$$

$m =$ 수, $h_k =$ 층고, $l =$ 벽길이, $A =$ 바닥면적

$C_{wall}, C_{win}, C_{roof}, C_{floor} :$ m^2 당 벽, 창, 지붕, 바닥의 시공비용

$U_{wall}, U_{win} =$ 벽체, 창의 열관류율, $R_{roof}, R_{floor} =$ 지붕, 바닥의 열저항

$\theta =$ 일사량, $\rho =$ 창의 투과율, $Q_{ventil} =$ 환기에 의한 열손실, $Q_f =$ 내부열획득

$$\psi_{roof} = \frac{t_{rs} - t_{ri}}{t_{ws} - t_{wi}}, \quad \psi_{floor} = \frac{t_{fs} - t_{fi}}{t_{ws} - t_{wi}}$$

$t_{rs}, t_{ws}, t_{fs} :$ 지붕, 벽, 바닥의 외표면 평균온도

$t_{ri}, t_{wi}, t_{fi} :$ 지붕, 벽, 바닥의 내표면 평균온도

$C_{co} =$ 탄소원단위 가격 $CEF =$ 탄소배출계수

나) 결정변수(Decision Variables)

문제가 되는 결정변수(Decision Variables)는 다음과 같다.

벽길이 l_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 층수 $= m$, 남북방향의 벽의 각도 $= \alpha$, 창면적비 $= r_i$

벽체, 창문의 열관류율 $= U_{wall}, U_{win}$ 지붕, 바닥의 열저항 $= R_{roof}, R_{floor}$

다) 제약조건(Constraint)

결정변수(Decision Variables)는 다음의 제약조건을 만족해야만 한다. ‘

건물의 체적상수 $V = mhA$,

건물의 평면형태는 사각형 모양

열저항(열관류율)값과 관련된 제약조건

$$R_{wall-min} \leq R_{wall-i} \leq R_{wall-max}$$

$$R_{win-min} \leq R_{win-i} \leq R_{win-max}$$

$$R_{roof-min} \leq R_{roof-i} \leq R_{roof-max}$$

$$R_{floor-min} \leq R_{floor-i} \leq R_{floor-max}$$

제 5 절 소결

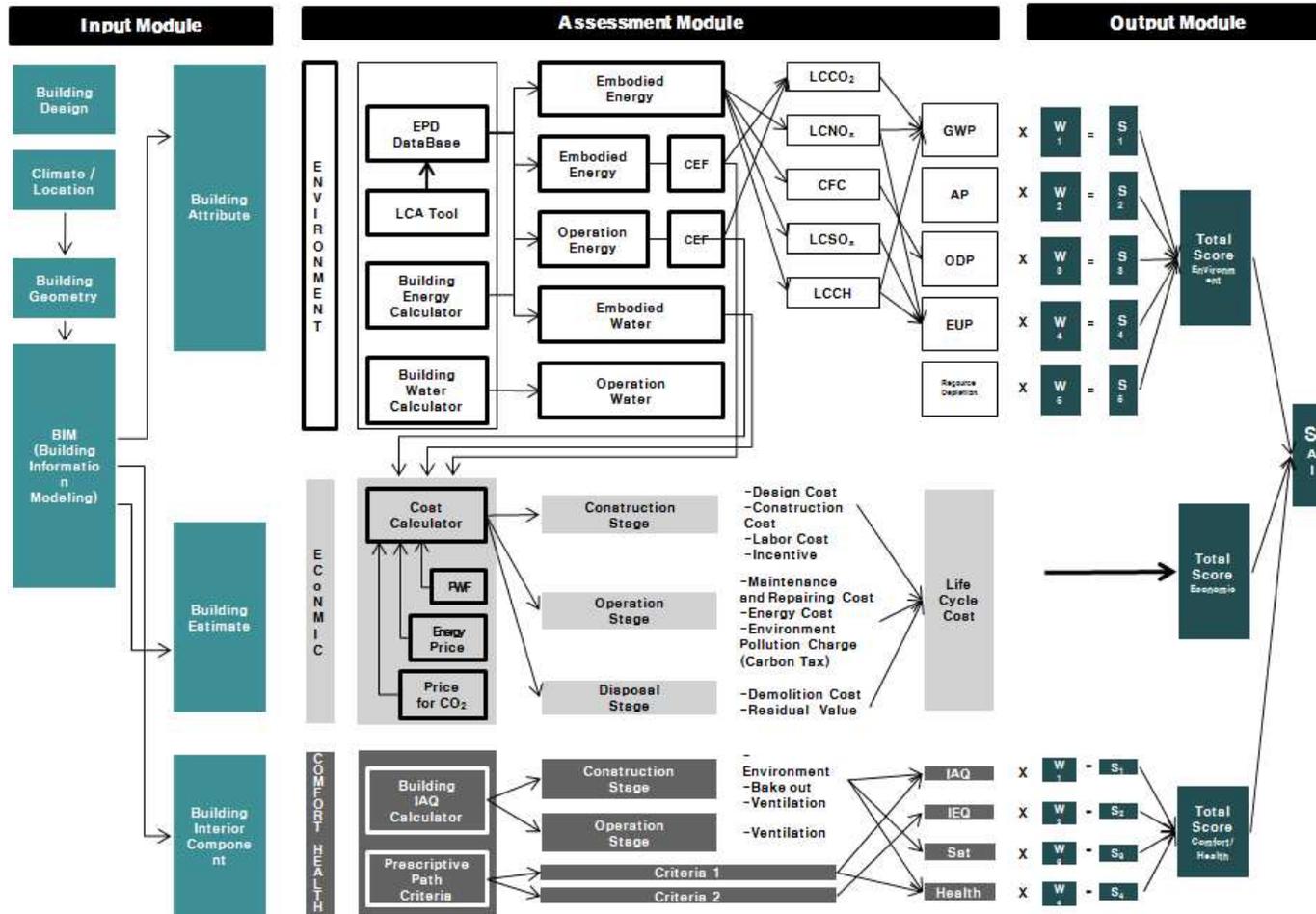
본 연구에서는 정립된 지속가능한 건축의 성능평가 체계를 바탕으로 성능평가모형을 구축하였다. 구축된 모델에는 각 모듈에서 생성되는 정보, 투입되는 정보의 형식 및 범위가 설정되어 있으며, 각 데이터들의 흐름이 설정되어 있다. 또한 외부 프로그램과 모듈에서의 데이터의 흐름 또한 구축하였다.

1) 입력모듈의 경우에는 해당하는 성능을 평가하기 위한 기본 데이터를 제공하는 역할을 한다. 그러나 각 성능에서 필요로 하는 데이터의 양은 매우 방대하므로 이를 처리하기 위해서는 부가적인 건물정보모델링(BIM)과 같은 데이터 처리모델이 필요하다. 본 연구에서는 건물의 구성요소에 대한 새로운 분류체계에 따른 분류방식을 사용하고, 분류된 구성요소에 환경영향에 대한 데이터와 비용을 코딩(Coding)하여 데이터를 생성하는 건물정보모델링 방식을 연동하는 것으로 설정하였다.

2) 평가모듈에서는 입력모듈에서 코딩된 데이터를 재구성하고 평가를 실시한다. 입력모듈에서 생성된 데이터는 바로 평가에 투입될 수 없는 데이터이므로 이를 재구성할 필요가 있다. 이때 건축재료의 환경영향정보는 내재에너지와 자재에 의한 영향을 평가하기 위하여 분류되며, 운영에너지는 외부 시뮬레이션의 결과값이 투입된다. 전생애비용의 경우, 구성항목 산정방식에 따라 평가가 가능한 비용으로 재구성되며 이때 운영비용 및 CO₂ 배출비용은 환경영향평가에 입력된 에너지사용량을 바탕으로 계산된다.

3) 출력모듈에서는 각 평가모듈에서 도출된 평가결과를 종합하게 된다. 평가결과는 정성적 데이터, 정량적 데이터가 혼재되어 있으며, 환경영향의 최소화, 경제적 효과의 최대화와 같이 속성 간 특성이 다르므로 이를 정규화과정을 거쳐 무차원 점수(Dimensionless Scores)로 변환하여 종합한다. 종합된 결과는 같은 조건에서의 최대성능, 최소성능과의 비교를 통하여 등급화된다.

다음은 모듈 내에서의 데이터 생성 방법과 모듈 간 데이터의 흐름에 대하여 종합적으로 수립된 지속가능한 건축의 성능평가 모델 알고리즘이다. 이와 같은 성능평가모델의 체계를 이용하여 성능평가프로그램을 개발하기 위해서는 프로그램의 평가범위와 특성을 규정한 후, 구체적인 데이터베이스와 상세 알고리즘을 대입하고 소프트웨어 프레임워크를 결정하여야 한다.



제 6 장 결 론

최근 지속가능한 건축의 개발을 촉진하고 보급을 활성화하기 위한 수단으로 통합성능 평가도구가 활발하게 개발되고 있음에도 불구하고, 많은 성능평가도구들은 평가방법이나 평가체계에 있어서 여러가지 문제점을 내포하고 있다. 이와 같은 문제점은 성능평가의 신뢰성 및 활용성을 저하시키는 것으로서, 이러한 문제점이 반복될 경우 지속가능한 건축의 평가도구는 의사결정 지원을 위한 Tool로서의 역할을 수행하지 못하게 된다. 따라서, 본 연구는 지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 합리적인 체계를 정립하고, 이와 같은 체계를 이용하여 지속가능한 건축의 성능평가도구에 대한 모델을 구축함으로써 성능평가 프로그램의 개발을 위한 기초자료를 제공하고 건축설계단계에서 지속가능한 건축을 위한 합리적인 의사결정이 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 지속가능한 건축의 이론과 정의와 실천원리를 고찰하고, 현재 통용되고 있는 지속가능한 건축의 성능평가도구들을 분석하였다. 이와 같은 분석을 통하여 성능평가의 체계를 정립하였으며, 평가모델을 구축하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 지속가능한 건축은 환경성 향상을 통한 전지구적 환경부하의 감소와 경제적효과 및 재실자의 건강 및 쾌적성 향상을 통해 달성할 수 있다. 그러나 실제적으로는 경제성에 대한 부담이 지속가능한 건축의 실현을 지연시키고 있다. 이를 해결하기 위해서는 지속가능한 건축의 라이프사이클을 통한 경제적 효과에 대한 인식제고를 위한 정책개발과, 이를 뒷받침할 수 있는 성능자료를 제공할 수 있는 신뢰성 있는 성능평가도구의 개발 및 보급이 필요하다.

2) 지속가능한 건축의 성능평가도구를 분석한 결과, 대부분 종합성능평가도구로 개발되는 경향을 보인다. 그러나 이 과정에서 지속가능한 건축과 긴밀하게 연관이 없는 성능이 포함되거나, 성능의 특성에 부합하는 적절한 평가방법이 설정되지 못하는 등의 문제가 나타나 평가의 신뢰성 및 활용성이 크게 저하되고 있다. 또한 이러한 문제점들은 여러 성능평가도구에서 반복적으로 나타나는 것을 고려할 때, 이와 같은 오류를 방지할 수 있는 합리적인 성능평가 체계의 정립이 필요하다.

3) 지속가능한 건축의 성능평가 체계는 환경성능평가의 기본체계를 바탕으로 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈의 세 모듈로 구성할 수 있다. 입력모듈은 목표-성능-항목의 위계정립을 통하여 지속가능한 건축의 목표과 상대적으로 연관성이 떨어지는 평가항목이 포함되는 것을 방지할 수 있다. 평가모듈에서는 각 성능에 따른 평가방법 및 범위를 설정하게 되고, 출력모듈에서는 성능을 종합하는 방법의 타당성을 확보함으로써 결과의 신뢰성을 향상시키고, 평가결과의 활용성을 증진시킬 수 있다.

4) 성능평가 체계를 바탕으로 성능평가 모델을 입력, 평가 및 출력모듈로 분리하고, 각 모듈에서 실제적인 데이터의 생성과 이동방식 및 흐름을 설정하였다. 입력모듈은 건물의 기본정보를 모델링하는 역할을 하게 되며, 평가모듈은 입력모듈에서 생성된 데이터를 평가에 맞게 재구성하여 평가하게 된다. 출력모듈은 평가모듈에서 산출된 결과를 종합하고, 등급화한다. 각 성능의 평가방법은 성능의 특성에 따라 각각 환경영향평가방법, 전생애비용평가방법, 개별기준평가모델등을 사용한다. 환경영향평가에 필요한 데이터의 경우, 건물환경영향정보 및 시뮬레이션에 의해서 생성된 데이터를 사용하고, 전생애비용평가는 구성항목산정방식에 따라 산출된 비용으로 계산한다.

5) 성능평가모델의 각 모듈 내에서의 데이터 생성 방법과 모듈 간 데이터의 흐름에 종합하여 지속가능한 건축의 성능평가 모델의 알고리즘을 개발하였다. 이와 같은 성능평가모델의 체계를 이용하여 성능평가프로그램을 개발하기 위해서는 프로그램의 평가범위와 특성을 규정한 후, 구체적인 데이터베이스와 상세알고리즘을 대입하고 소프트웨어 프레임워크를 결정하여야 한다.

본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

지속가능한 건축의 성능평가도구를 개발하는데 있어서 성능평가의 합리적인 체계를 정립하고, 이에 따라 성능평가모델의 알고리즘을 구축하여 이를 기반으로 성능평가프로그램을 개발할 때 평가도구의 신뢰성을 확보하고 활용성을 향상시킬 수 있다. 이는 설계단계에 지속가능한 건축의 확실한 성능정보를 제공함으로써 의사결정 지원기능을 강화하고, 궁극적으로 지속가능한 건축의 실현에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 평가모델을 실제로 프로그램으로 개발하기 위해서는 다음과 같은 후속연구가 필요하다.

첫째는 입력모듈에서 데이터를 처리하기 위해 사용한 건물정보모델링(BIM)의 코딩(Coding)방법 완성과 평가도구의 입력모듈과의 연결이다. 둘째, 건축재료 환경영향 데이터베이스는 현재 구축단계이지만 현재 데이터베이스의 양이 매우 부족한 형편이므로 보완이 필요하다. 또한 데이터베이스가 평가도구에서 사용되기 위해서는 표준화되는 것이 필요하다. 셋째, 출력모듈에서 각 성능의 평가결과를 정규화하는 과정에서 표준모델(Base model)과 최적모델(Optimization Model)을 동적해석방식을 사용하는 도출하는 후속연구가 필요하다.

부 록

다음은 프로그램 개발에 대한 내용이다. 본 연구의 프로그램 개발은 앞서 수립한 체계 및 평가모델의 프로그램 개발 가능성을 확인하는데 의의가 있다.

• 프로그램의 개발범위

프로그램의 기본구성은 앞서 수립한 모델(입력모듈, 평가모듈, 출력모듈)을 바탕으로 하되 평가범위의 경우에는 프로그램의 목표에 따라 유연성을 갖는 것으로 하였다. 본 프로그램의 개발범위로 설정된 평가내용은 경제성과 환경성의 CO₂ 배출량이다. 평가를 위한 구체적인 항목은 경제성의 경우, 공사비용, 에너지비용, 환경비용(CO₂ 배출비용)이며, 환경성의 경우 내재 CO₂ 배출량, 운영단계의 CO₂배출량으로 나뉜다.

목표	성능	항목		전생애				정규화	지표의 설정 등급화
				생산 (자재)	공사	운영 (건물)	폐기		
지속 가능 한 건축	환경성	에너지	내재 에너지	√√	√		√	$\frac{Env - Env_{min}}{v_{max} - Env_{min}}$	AI
			운영 에너지			√√√			
		재료							
		수자원							
	경제성	초기 투자 비용	기획 및 설계비용					$\frac{E_k - E_{min}}{E_{max} - E_{min}}$	
			공사비용		√√√				
		운영 비용	에너지비용			√√√			
			CO ₂ 비용			√√√			
	폐기비용								
	건강 및 쾌적	실내 환경							
	실외 환경								

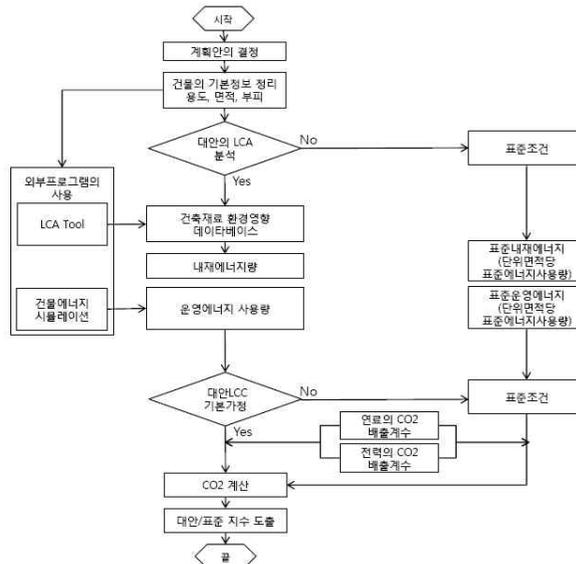
• 프로그램의 데이터베이스 구축

‘건축재료 및 구성요소’의 환경정보 데이터베이스는 직접법과 산업연관 분석방법을 혼합한 혼합법을 활용하여 구축하였다. 이를 위하여 건설산업연관표(rij, 생산유발계수)를 작성하였다. 에너지 소비량은 건축자재와 재료의 최종수요와 산업연관표를 곱하여 계산하였다. 투입물량에 따른 단위당 에너지원 별 발열량 및 단위열량당 이산화탄소 배출계수를 적용하고 에너지원 별로 합산하여 총 에너지소비량 및 CO₂배출량을 산출하였다. 최종적으로 자재와 재료 중량(kg-CO₂/톤, kg) 및 부피(kg-CO₂/m³) 측면에서 원단위로 작성하였다.

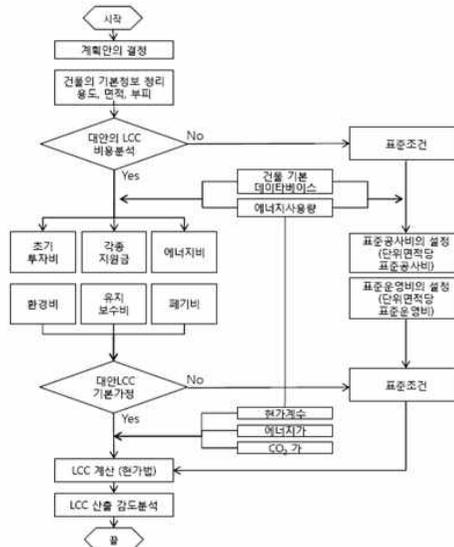
코드 번호	기초 작업	내용	단위	에너지소비량(MJ/단위)		CO ₂ 배출량(kg-CO ₂ /단위)	
				직접+간접		직접+간접	
0039	****	모래및자갈					
0039	0100	모래	m ³	72.73954378		8.920198428	
0039	0200	자갈	m ³	70.34691635		8.626785652	
0121	****	건축용목제품					
0121	0100	문,창문및틀	kg	56.1140204		7.883586115	
0121	0200	건물부착물	kg	21.74239751		3.054638786	
0121	8800	기타	kg	45.95440955		6.456239322	
0185	****	시멘트					
0185	0101	보통시멘트	kg	6.86857361		0.980225854	
0185	0102	백색시멘트	kg	9.620479793		1.372955078	
0185	0201	알루미나시멘트	kg	72.73578191		10.38024748	
0185	0202	고로슬래그시멘트	kg	6.31066579		0.900605877	
0185	0288	기타	kg	28.7422467		4.101855044	
0185	0300	시멘트크링커	kg	2.889174636		0.41231904	
0187	****	콘크리트제품					
0187	0101	블록	kg	21.71286163		2.887339246	
0187	0102	벽돌	개	2.657472495		0.353386152	
0187	0103	타일	kg	15.45196871		2.0547764	
0187	0288	기타	kg	31.81479591		4.230677208	
0187	0301	흙관	본	3882.223983		516.2515128	
0187	0304	파일	본	9188.429418		1221.861647	
0187	0388	기타	kg	1657.402863		220.3986012	
0187	0400	비내화물탈탈(레미타르)					
0187	8800	기타	kg	28.52571901		3.793301381	
0197	****	철근및봉강					
0197	0101	일반철근	kg	34.54115229		4.416591687	
0197	0102	고강력철근					
0197	0201	봉강-보봉강	kg	38.2191349		4.886875576	
0197	0202	봉강-특수강	kg	65.61795353		8.390215407	
0197	0203	봉강-스테인리스강	kg	223.3618515		28.56008069	
0197	0288	기타	kg	81.1695271		10.37871162	
0198	****	형강					
0198	0100	형강-보봉강	kg	39.8716891		5.186435237	

• 프로그램의 알고리즘

다음은 프로그램 개발을 위한 평가 알고리즘이다. 알고리즘은 CO₂배출량 평가와 경제성 평가로 구분되어 있으며, 결정된 계획안에 대한 기본정보를 입력하면 환경성 분석과 경제성 분석이 각각 이루어진다. 이때 기본정보를 바탕으로 한 표준모델 또한 계산되며, 결과는 출력모듈에서 사용된다.



CO₂ 방출량 평가모델 알고리즘



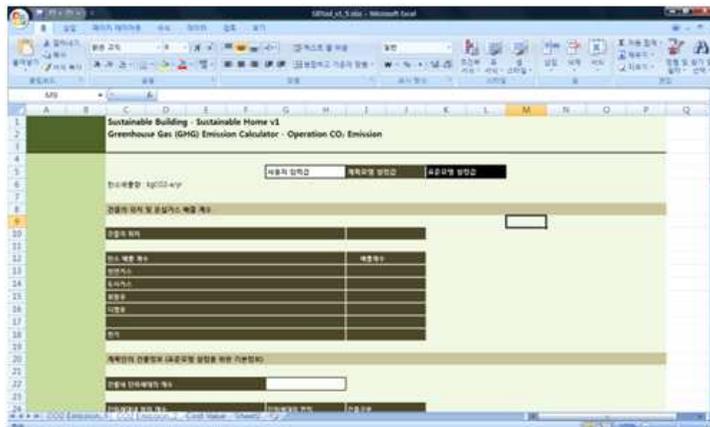
전생애 비용 평가모델 알고리즘

- 프로그램의 소프트웨어 프레임워크 설정

평가모델은 엑셀베이스의 프로그램으로 개발되었다. 따라서 매우 간단한 과정을 통해 프로그램을 실행할 수 있다. 각 모듈은 엑셀시트(Excel Sheet)로 분리되었으며, 입력모듈의 건물의 기본정보시트, 평가모듈의 내재 CO₂ 평가시트, 운영단계 CO₂ 평가시트, 경제성 평가시트, 출력모듈의 종합결과시트로 구성되어 있다. 프로그램을 열고 입력모듈에서 계획건물의 기본정보를 입력하면 이 정보가 평가모듈로 전달되며, 평가결과는 출력모듈에서 종합되어 출력된다.

입력모듈 : 건물기본정보 입력시트

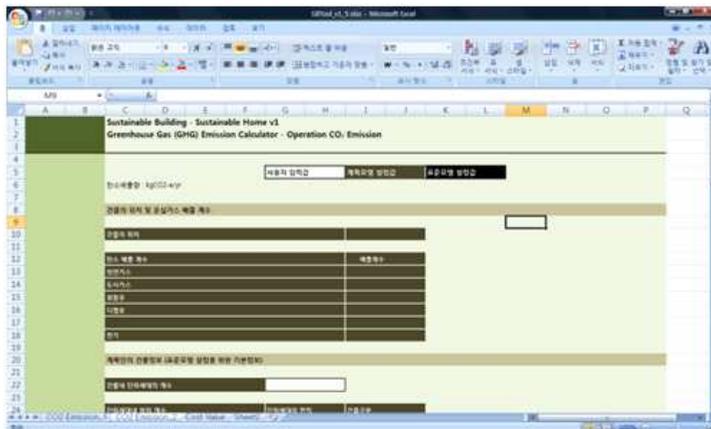
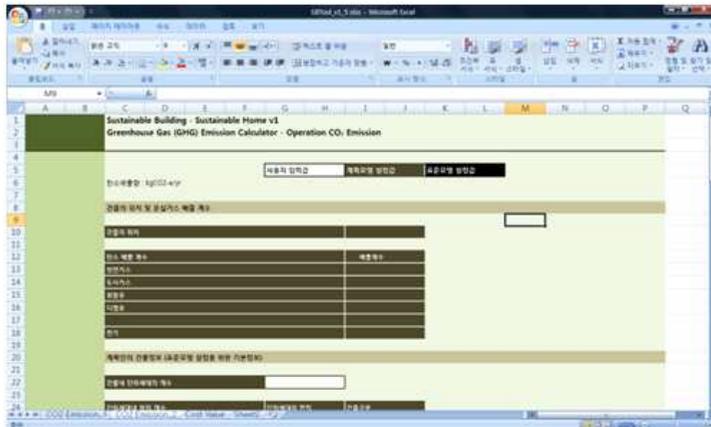
입력모듈에서는 평가를 위한 기본 데이터가 생성되어야 하지만 건물정보모델링이 입력모듈과 연동될 때 가능하며, 현재는 추후 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 프로그램의 입력모듈에서는 건물기본정보를 사용자가 직접 입력하는 것으로 설정하였다. 따라서 입력창을 열고, 평가에 필요한 기본데이팅인 주요건축자재의 종류, 투입물량, 비용견적을 입력한다. 이때의 데이터는 실시설계를 바탕으로 산출되는 다른 주요건축자재의 투입물량, 견적비용을 사용할 수 있다. 다음그림은 프로그램의 건물기본정보 입력시트 장면이다.



평가모듈 : CO₂ 배출량 및 경제성 평가시트

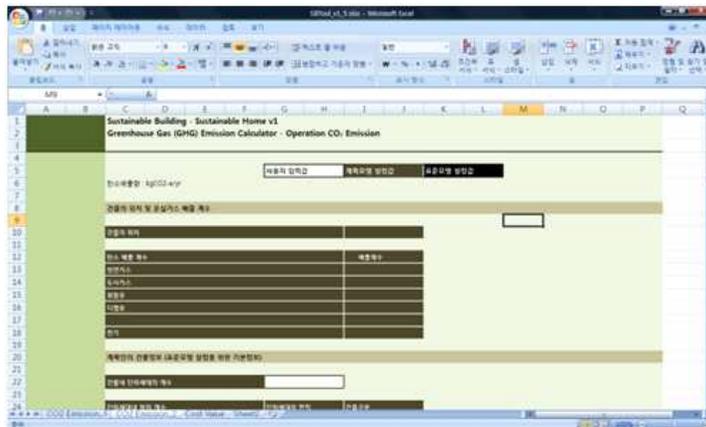
평가모듈은 내재 CO₂ 배출량평가, 운영단계의 CO₂ 배출량평가, 경제성 평가시트로 나누어진다. 내재 CO₂ 배출량은 기본정보시트에서 입력된 정보를 받아서 자동으로 계산된다. 운영단계의 CO₂ 배출량은 건물에너지해석 프로그램을 통해 산정된 에너지소비량을 입력하게 되는데, 입력창은 난방, 냉방, 조명, 전기기기, 급탕으로 분리되어 있으므로 각 에너지소비량 및 사용에너지원을 입력하여야 한다.

경제성 평가는 건물기본정보에서 입력된 공사비와 CO₂ 배출량시트에서 계산된 에너지소비량, CO₂ 배출량이 경제성 평가시트로 이동되어 수행된다. 전생애비용에 필요한 주요변수는 사용자가 입력할 수 있으나 입력하지 않을 경우, 기본값(Default)이 사용된다.



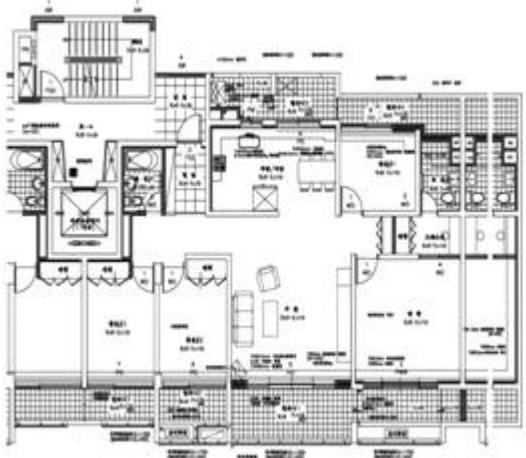
출력모듈 : 결과종합시트

결과종합시트는 평가시트에서 평가된 결과에 따라 자동으로 계산된다. 종합결과는 2단계로 출력되는데, 첫 번째는 각 성능의 정규화된 결과이다. 정규화된 결과는 숫자와 다차원 그래프에 함께 표시되어 표준모델과 최대성능모델사이에서의 위치를 나타낸다. 결과의 종합단계에서는 각 성능을 종합하여 하나의 지표로 출력하며, 이를 바탕으로 점수화하여 출력한다.



• 프로그램의 적용성 평가

개발된 지속가능한 건축의 성능평가 프로그램의 적용성을 검토하기 위하여 실제 사례를 바탕으로 평가를 실시하였다. 평가를 위하여 설정한 사례모델은 43평형 공동주택의 단위세대이다. 대상 공동주택은 서울에 위치해 있으며, 건물의 기본개요는 아래와 같다. 본 연구에서는 CO₂저감배출을 위하여 본 사례건물의 외벽에 외단열 200mm를 설치하는 것으로 설정하였으며, 이에 따른 CO₂배출량 및 경제성 평가를 실시하고자 한다.

구분	건물개요
평면	
위치	서울
규모	44평형(±1), 면적(공조면적) 120m ²
층고	2.7m
발코니	전면발코니 확장(도면에 표시되어 있지 않음)
기타 구성	계단/승강기 공간(Core 부)

건물기본정보의 입력

본 건물을 평가하기 위하여 입력한 건물의 기본정보는 건물의 면적, 주요 자재 및 물량, 조경공사 및 마감공사를 제외한 공사비이다.

환경성/경제성 평가의 수행

내재에너지 CO₂ 배출량은 단열재의 증가로 표준보다 증가하여 359.3kg-CO₂/m²가 배출되는 것으로 평가되었으나, 운영단계에서의 에너지사용은 표준모델에의 사용량보다 매년 18%(난방 16.2m³/m², 급탕 0.7m³/m², 전기 65.6kWh/m²)씩 감소하여 136,960kg-CO₂/m²이 발생하는 것으로 평가되었다. 전생애비용 평가의 경우, 외단열 200mm에 의한 추가공사비는 약 64,000원/m²가 발생하며, 운영비용은 약 328,754원/m²이 감소하는 것으로 나타났다.

사용자 입력값
계획모델 설정값
표준모델 설정값

탄소배출량 : TCO₂-t/yr

건물의 위치 및 온실가스 배출 계수

건물의 위치	
탄소 배출 계수	배출계수
가스배출량 (CO ₂ /kWh)	0.00223
전기 (CO ₂ /kWh)	0.002607
난방 (CO ₂ /kWh)	0.000424
차량용	0.002553

1차 기준 표준 탄소배출량

계획안의 에너지소비량 및 생산량

건물의 난방용 저온에너지
냉난방 사용에너지 계상 방법 : 각주공산에 대한 동적 시뮬레이션 방법

계획안의 난방용 에너지소비량		계획안의 온수 에너지소비량	계획안의 탄소배출량	표준모델의 탄소배출량
난방에너지 소비량	단위(kWh)	2430	5.4	122.1
냉방에너지 소비량	단위(kWh)		0.0	16.2
온수에너지 소비량	단위(kWh)	8168	1.8	

Sustainable Building - Sustainable Home v1
Cost Calculator

사용자 입력값
계획모델 설정값
표준모델 설정값

가격 : 원/m²

주요변수의 설정

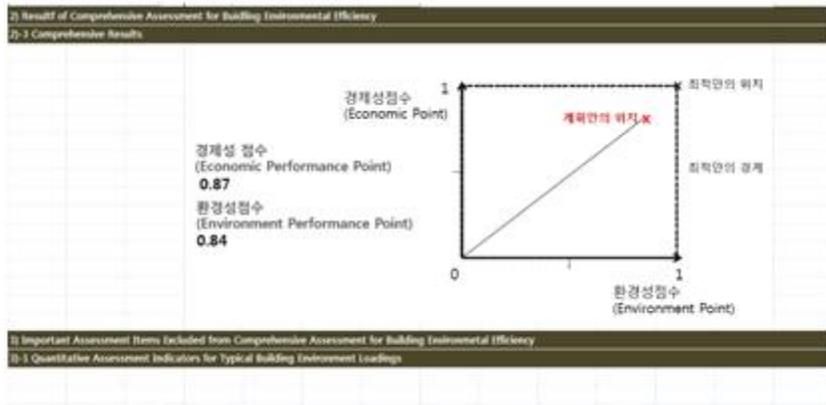
주요변수	설정값(여성형사기준값 사용)
문체기간	40 년
물단율	2.29 %
탄력회귀계수	5.23 %
도시가스회귀계수	-5.44 %
탄력탄소배출비용	18.38 원/ton
도시가스탄소배출비용	86.05 원/ton

가격 및 자원량의 설정

원격	설정값(여성형사기준값 사용)
자유구배비용	원/ton
탄소배출비용	원/ton
냉방에너지회귀	기준

결과의 출력

각 성능의 점수를 낸 결과를 살펴보면 표준모델을 0, 최적해의 값을 1이라고 했을 때 경제성 0.87, 환경성(CO₂배출량) 0.84 정도의 수준에 있는 것으로 파악되었다. 1에 해당하는 최적해는 단열재 약 350mm일 때 도출되었다. 최적해의 350mm와 계획안의 200mm의 단열재의 두께가 큰 차이를 보임에도 불구하고 단열재의 두께가 두꺼워질수록 단열성능이 감소하는 특성과 약 300mm 이상에서 단열성능의 임계점이 발생하기 때문에 계획안의 성능이 최적해 1에 가깝게 나타나는 것으로 판단된다.



평가결과의 종합지수(Sustainable Architecture Index, SAI)의 값은 표준 모델로 부터의 점거리 계산을 통하여 점수화된다. 이때는 가중치가 적용되는데, 가중치는 프로그램 내부에 설정되어 있는 기본값(각 성능의 동일한 가중치)을 사용하거나, 사용자가 직접 설정할 수 있다. 본 적용사례에서 기본값을 사용했을 때, 종합지수 SAI는 73점이며, 표준모델과 최적모델의 점수는 0-100사이이다.

참 고 문 헌

1. Angelil, M. and Siress, C. (2006). Five easy pieces, In First cycle of the Holcim Awards, Retrieved from <http://www.holcimfoundation.org/>
2. ASTM. (2005). Committee E06 on Performance of Building and Subcommittee E06.71 on Sustainability Standard Guide for General Principles of Sustainability Relative to Buildings
3. Baccini, P. A. (1997). City's metabolism: towards the sustainable development of urban systems. *Journal of Urban Technology*, 4(2), 27-39.
4. Ball, J. (2000). Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green? *Building and Environment*, 37, 421-428.
5. Barret, P. S., Sexton, M. G. & Green, L. (1999). Integrated delivery systems for sustainable construction. *Building Research and Information*, 27(6), 397-324
6. Bentivegna, V., Curwell, S., Deakin, M., Lombardi, P., Mitchell, G. & Nijkamp, P.(2002). A vision and methodology for integrated sustainable urban development: BEQUEST. *Building Research and Information*, 30(2), 83-94.
7. Berge, B. (1995). Building materials for a sustainable development, NKB working paper 07. Helsinki : Nordic Committee for Building Standards.
8. Blake, P. (1964). *God's Own Junkyard: The Planned Deterioration of America's Landscape*, NewYork : Rinehart & Winston
9. Boughey, J. (2000). *Proceedings from Cutting Edge 2000 : Environmental valuation, real property and sustainability*. London : RICS Research Foundation.
10. Clough, R. (1994). *Proceedings from of First International Conference: Building and Environment : Environmental impacts of building construction*. BRE.
11. Cole, R. J. (1999a). *Proceedings from CIB Congress : Emerging trends in building environmental assessment methods*. Warford.
12. Curwell, S. & Cooper, I. (1998). *The implications of urban*

- sustainability. *Building Research and Information*, 26(1), 17–28.
13. Datta, M. & Mirman, L. J. (1999). Externalities, market power, and resource extraction. *Journal of Environmental Economics and Management*, 37, 233–255.
 14. Deru, M. & Torcellini, P. (2005). Performance Metrics Research Project - Final Report. CO : National Renewable Energy Laboratory
 15. Elkington, J. (1984). *Cannibals with Forks : the Triple Bottom Line of 21st Centuries Business*, Gabriola Island, B.C.: New Society Publishers
 16. Ender, C. (2008). Wind Energy Use in Germany - Status 31.12.2007, *DEWI Magazine*, Vol. 32
 17. Forsberg, A. & Malmborg, V. F. (2004). Tools for environmental assessment of the built environment. *Building and Environment* 39, 223–228.
 18. Glasson, J., Therivel, R., & Chadwi, A. (1994). *Introduction to Environmental Impact Assessment*, London : Routledge
 19. Greg, K. & Capital, E. (2003). *The Cost and Financial Benefits of Green Buildings*, California : Sustainable Building Task Force.
 20. Guattari, F. (2000). *The Three Ecologies*, NewYork : Athlone Press
 21. Håkkinen, T. (1994). VTT research notes: Environmental impact of building materials. Espoo, Tampere, and Oulu : VTT Building Technical Research Center.
 22. Harding, R. (1998), *Environmental decision-making: the roles of scientists, engineers and the public*, Sydney : The Federation Press
 23. Harvey, D. (1998). What' s Green and Makes the Environment Go Round? In F. Jameson and M. Miyoshi(Eds.) *The Cultures of Globalization*. Durham: Duke University Press.
 24. Hedriks, C. (2000). *Durable and sustainable construction materials*. The Netherlands: Aeneas Technical Publishers.
 25. Hill, R. C. & Bowen, P. A. (1997). *Sustainable construction: principles and a framework for attainment*. Construction

- Management and Economics, 15, 223–239
26. Holmes, J. & Hudson, G. (2000). Proceedings from Cutting Edge 2000 : An evaluation of the objectives of the BREEAM scheme for offices: a local case study, RICS Research Foundation.
 27. International Energy Agency. (1999). IEA–BCS Annex 31. Energy related environmental impact of buildings. Paris: International Energy Agency.
 28. International Energy Agency. (2009). World Energy Outlook 2009. Washington, D.C. : International Energy Agency
 29. Jösson, A. (2000). Tools and methods for environmental assessment of building products–methodological analysis of six selected approaches. Building and Environment, 35, 223–38
 30. Kortman, J., Ejwik, H., Mak, J., Anink, D. & Knapen, M. (1998). Proceedings from Green Building Challenge 1998 : Presentation of test by architects of the LCA–based computer tool Eco–Quantum domestic. Canada : Vancouver
 31. Kossoy, A. & Ambrosi, P. (2010) State and Trends of the Carbon Market 2010. Washington D.C. : World Bank.
 32. Krogh, H., Tillman, A. M., Hakkinen, T. & Fossdal, S. (1995). Environmental data for building materials in the Nordic countries. Copenhagen : Norwegin Building Research Institute
 33. Langston, C. A. & Ding, G. K. C.(Eds.). (2001), Sustainable practices in the built environment, Oxford : Butterworth–Heinemann.
 34. Lloyd, S., Landfield, A. & Glazebrook, B. (2005). Integrating LCA into Green Building Design, building design & construction.
 35. Lowe, F., Kortman, J. & Howad, N. (2000) Proceedings from Sustainable Building 2000 : Implementing environmental performance assessment methods: three international case studies. Maastricht.
 36. Mathis, W. (2001). Advancing Sustainable Resource Management(Using Ecological Footprint Analysis for Problem Formulation). Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/enveco/waste/pdf/wackernagel.pdf>
 37. Meadows, D. H. (1972). The Limits to Growth: A Report for the

- Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, Washington, D.C. : Potomac Associates
38. Meakin, S. (1992). The Rio Earth Summit : Summary of the United Nations Conference on Environment and Development. Retrieved from <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/BP/bp317-e.htm>
 39. Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. & Meyer, L.(Eds.) (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Cambridge : Cambridge University Press.
 40. Olson, D. L., Flidner, G. & Gurrie, K. (1995), Comparison of the REMBRANDT System with Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 82, 522–539.
 41. Organization for Economic Co-operation and Development. (1995). The economic appraisal of environmental projects and policies: a practical guide. OECD Publishing.
 42. Peterson, F. & Fischer, M. (2009). Case Study : Scope-Cost-Time Integrated Model with Work Breakdown Structure, Retrieved from <http://www-leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP115.pdf>
 43. Reijnders, L. & van Roekel, A. (1999) Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. Journal of Cleaner Production, 7(221), 5.
 44. Scheuer, C., Keoleian, G. A. & Reppe, P. (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. Energy and Buildings, 35, 1049–1064.
 45. SETAC-Europe Working Group on Conceptually Related Programmes. (1997). Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes. Brussels : SETAC Press
 46. Shpresa, K., Schuurmans, A. & Suzy, E.(Eds.) (2003) Life-Cycle assessment in building and construction : a state of the Art Report, North Carolina : SETAC Press
 47. Sjoström, C. & Bakens, W. (1999). CIB Agenda 21 for sustainable construction: why how and what. Building Research and Information, 27(6), 347–353.

48. Teo, M. M. M. & Loosemore, M. (2001). A theory of waste behaviour in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 19, 741–751.
49. The World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press
50. World Bank. (2000). *Fuel for thought: an environmental strategy for the energy sector*. Washington, D.C. : The World Bank.
51. World Watch Institute. (2003). *Sustainable facilities: building material selection*. West Michigan sustainable Business Forum.

국 문 초 록

지속가능한 건축의 성능평가를 위한 체계적 모델 구축에 관한 연구

강 혜 진

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 이 언 구

최근 지속가능한 건축의 개발을 촉진하고 보급을 활성화하기 위한 수단으로 통합성능 평가도구가 활발하게 개발되고 있음에도 불구하고, 많은 성능평가도구들은 평가방법이나 평가체계에 있어서 여러가지 문제점을 내포하고 있다. 이와 같은 문제점은 성능평가의 신뢰성 및 활용성을 저하시키는 것으로서, 이러한 문제점이 반복될 경우 지속가능한 건축의 평가도구는 의사결정 지원을 위한 Tool로서의 역할을 수행하지 못하게 된다.

따라서, 본 연구는 지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 합리적인 체계를 정립하고, 이와 같은 체계를 이용하여 지속가능한 건축의 성능평가도구에 대한 모델을 구축함으로써 성능평가 프로그램의 개발을 위한 기초자료를 제공하고 건축설계단계에서 지속가능한 건축을 위한 합리적인 의사결정이 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 지속가능한 건축의 이론과 정의와 실천원리를 고찰하고, 현재 통용되고 있는 지속가능한 건축의 성능평가도구들을 분석하였다. 이와 같은 분석을 통하여 성능평가의 체계를 정립하였으며, 평가모델을 구축하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 지속가능한 건축의 성능평가도구를 분석한 결과, 대부분 종합성능평가 도구로 개발되는 경향을 보인다. 그러나 이 과정에서 지속가능한 건축과 긴밀하게 연관이 없는 성능이 포함되거나, 성능의 특성에 부합하는 적절한 평가방법이 설정되지 못하는 등의 문제가 나타나 평가의 신뢰성 및 활용성이 크게 저하되고 있다. 또한 이러한 문제점들은 여러 성능평가도구에서 반복

적으로 나타나는 것을 고려할 때, 이와 같은 오류를 방지할 수 있는 합리적인 성능평가 체계의 정립이 필요하다.

2) 지속가능한 건축의 성능평가 체계는 환경성능평가의 기본체계를 바탕으로 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈의 세 모듈로 구성할 수 있다. 입력모듈은 목표-성능-항목의 위계정립을 통하여 지속가능한 건축의 목표를 분명히 규정함으로써 상대적으로 연관성이 떨어지는 평가항목이 포함되는 것을 방지할 수 있다. 평가모듈에서는 각 성능에 따른 평가방법 및 범위를 설정하게 되고, 출력모듈에서는 성능을 종합하는 방법의 타당성을 확보함으로써 결과의 신뢰성을 향상시키고, 평가결과의 활용성을 증진시킬 수 있다.

3) 성능평가 체계를 바탕으로 성능평가 모델을 입력, 평가 및 출력모듈로 분리하고, 각 모듈에서 실제적인 데이터의 생성과 이동방식 및 흐름을 설정하였다. 입력모듈은 건물의 기본정보를 모델링하는 역할을 하게 되며, 평가모듈은 입력모듈에서 생성된 데이터를 평가에 맞게 재구성하여 평가하게 된다. 출력모듈은 평가모듈에서 산출된 결과를 종합하고, 등급화한다. 각 성능의 평가방법은 성능의 특성에 따라 각각 환경영향평가방법, 전생애비용평가방법, 개별기준평가모델등을 사용한다. 환경영향평가에 필요한 데이터의 경우, 건물환경영향정보 및 시뮬레이션에 의해서 생성된 데이터를 사용하고, 전생애비용평가는 구성항목산정방식에 따라 산출된 비용으로 계산한다.

4) 성능평가모델의 각 모듈 내에서의 데이터 생성 방법과 모듈 간 데이터의 흐름에 종합하여 지속가능한 건축의 성능평가 모델의 알고리즘을 개발하였다. 이와 같은 성능평가모델의 체계를 이용하여 성능평가프로그램을 개발하기 위해서는 프로그램의 평가범위와 특성을 규정한 후, 구체적인 데이터베이스와 상세알고리즘을 대입하고 소프트웨어 프레임워크를 결정하여야 한다.

지속가능한 건축의 성능평가도구를 개발하는데 있어서는 성능평가의 합리적인 체계를 정립하고, 이에 따라 성능평가모델의 알고리즘을 구축하여, 이를 기반으로 프로그램을 개발하여야만 평가도구의 신뢰성을 확보하고 활용성을 제고시킬 수 있다. 본 논문에서 제시된 성능평가모델은 설계단계에서 지속가능한 건축의 확실한 성능정보를 제공함으로써 의사결정 지원기능을 강화하고, 궁극적으로 지속가능한 건축의 실현에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

A Study on the Development of Systematic Model for Sustainable Building Assessment Tools

Kang, Hae Jin

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D.

Recently, the development of sustainable building assessment tools as means to invigorate the dissemination of sustainable buildings has been actively progressed. However, many assessment tools involve various problems in terms of assessment method and system framework, which greatly impede their credibility and applicability. If these problems persist over time, the role of sustainable building assessment tools as decision making measures during the design stage will be greatly limited.

The objective of the study is to develop a systematic model for sustainable building assessment tools by establishing a logical system of performance assessment framework. The proposed model is expected to provide basic references in developing computer programs for sustainable building assessment. The model will also facilitate a rational decision making for the realization of sustainable building during design stage. For this purpose, the study examined the definitions and theories of sustainable architecture, and investigated the present practices of sustainable buildings. The study also analyzed the characteristics of currently available sustainable building assessment tools.

The result of the study can be summarized as follows.

1) It was found that most of the assessment tools have been developed as comprehensive performance assessment tools which consist of various aspects of sustainability. However, the many of them include the categories of performances which are not closely associated with sustainable building. Furthermore, some of them utilize assessment methods which are not suitable for measuring building performance in terms of sustainability. These problems will significantly impede credibility and applicability of the tools. As these problems have appeared in many assessment tools repetitively over time, the development of a logical system of performance assessment framework is needed in order to avoid continuing trial and error.

2) Based on the general system of environmental assessment, the framework of sustainable building assessment system was established comprising three modules; input module, assessment module, and output module. In input module, the hierarchy of goal-performance-category is to be clearly defined, and less-relevant criteria should be excluded. In assessment module, the method and the scope of assessment are to be determined. And, in output module, various aspects of performances are aggregated and the integrated performance of sustainable building is finalized. The process of aggregation should secure methodological validity, thus enhance the credibility of the assessment result and promote the applicability of the tools.

3) After establishing the framework of assessment system, the creation, migration and flow of actual data for each model was determined. Input module plays the role of modelling basic building information, while assessment module performs assessment with the data transformed from input model into proper format. Output module aggregates the assessment result and attempts to assign performance rating. The assessment methods of performance include, depending on the characteristics of sustainability,

environmental impact assessment, life-cycle cost analysis, procedure assessment, etc.

4) The algorithm of systematic model for sustainable building assessment tool was established by synthesizing the data generating methods within each module and the flow of data between modules. In order to develop actual assessment tool using the proposed systematic model, the scope and the nature of performance should be defined first. Then, the specific database and detailed algorithms should be assigned, and the framework of software be determined.

A development of assessment tool for sustainable buildings should be based upon a systematic model derived from logical framework of performance assessment. A computer program based on this systematic model will be able to provide credibility and applicability of the assessment. The application of the systematic model proposed in this study in developing sustainable building assessment tools will enhance the decision making capability of the tool and eventually will contribute to the realization of sustainable buildings.