

Global Report

인도 기후환경에 따른 지속가능한 건축물의 시공비 효과분석

1. 개요
2. 소개
3. GRIHA 등급 시스템
4. DEA
5. 연구방법론
6. 데이터 수집 및 분석
7. 연구결과 검토
8. 결론

1. 개요

비용효과성(cost effectiveness)이 있는 지속가능한 건축설계를 위한 종합적 접근방식의 중요성이 커지고 있다. 본 연구를 통해 제한된 투자범위 내에서 건축물의 지속가능한 성능을 높이는 지속가능한 건축 요소들을 살펴보고자 한다. 특히 이 보고서에서는 인도의 덥고 습한 기후대에서 인증된 GRIHA(거주지에 대한 종합적인 친환경 등급 평가 - Green Rating for Integrated Habitat Assessment) 건물들이 검토될 것이다. 보다 효율적으로 지속가능한 건축 요소들의 평가를 위해, 건설에 소비된 돈을 지속가능한 포인트로 전환함에 있어서 보다 효과적인 방법인 DEA(자료포락분석 - Data Envelopment Analysis)에 대해서도 다루고자한다.

2. 소개

인도에서 건축 부문은 전체 이산화탄소 배출의 15~18%를 차지한다. 건축 부문의 에너지 사용은 2002년에 7.85Gt의 이산화탄소 배출량을 발생시켰으며 이는 전 세계 에너지 관련 배출량의 33%에 해당한다. 인도의 경제는 빠르게 성장하고 있으며 미래 에너지 수요를 충족시키기 위해서는 현재 소비되는 총 에너지 보다 3~4배 더 많은 공급을 필요로 할 것이다.

환경보호국(The Environmental Protection Agency - EPA)은 지속가능한 건축을 “부지결정부터 설계, 시공, 운영, 유지보수, 개보수 및 철거에 이르는 건축물의 생애주기 전반에 걸쳐 환경적으로 책임이 있고 자원효율적인 프로세스를 거쳐 건축물을 만드는 절차”라고 정의하고 있다. 또한 공급이 부족하거나 지역에서 구할 수 없는 자원에 대해 건축단계에서 그 필요성을 확인하고 최소화해야 하며 태양, 빗물과 바람과 같은 쉽게 이용가능한 자원의 사용을 권장해야 함을 강조하고 있다. 프로젝트가 위치한 곳의 미기후(microclimate)에 대한 확실한 이해가 중요하다. 그 이유는 한 프로젝트의 처분 과정에서 쉽게 이용가능한 것과 이용 가능하지 못한 것에 대한 이해를 반영하기 때문이다. 예를 들어 난방 및 조명과 관련한 태양, 환기와 관련한 바람 그리고 관개(irrigation)와 관련한 우수 및 기타 필요한 물 등이 서로 연관관계가 있기 때문이다.

지속가능한 건축물의 일반적인 모습은 다른 기존의 일반적인 건물형태와 유사할 수 있다; 개념적 설계 방식은 근본적으로 다른데 그 이유는 지속가능한 건축물이 환경에 관한 건축물의 잠재적 영향에 대한 우려를 중심으로 하기 때문이다. 또한 지속가능한 건축물은 천연자원의 수명을 연장하도록 기여하고 인간의 안락함과 복지뿐만 아니라 보안, 생산성 및 에너지 효율성을 개선할 수 있도록 추구하기 때문이다. 지속가능하게 설계된 건축물은 에너지, 물을 포함한 운영비를 크게 감소시킬 것이며 기타 무형의 혜택들이 이제는 전 세계적으로 인식되고 있다.

본 연구의 주요 목적은 건설관리자가 지속가능요인을 통제하고 비용 효과적이고 지속 가능한 방식으로 건축물을 건설할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 또한 저비용으로 좀 더 지속가능한 지점에 보다 더 기여할 수 있는 요소들을 식별하는 것이다. 위에 언급한 목표를 달성하기 위하여 인도의 덥고 습한 기후대에 위치한 건물들에 대해서도 검토할 것이다.

3. GRIHA 등급 시스템

인도의 농업 기후 조건 특히 공기조화설비를 갖추지 않은 다수의 건물 분포를 고려하여 인도의 다양한 기후대에 다양한 종류의 건물에 적용 가능한 국가등급시스템인 GRIHA를 설정(set up)하기로 결정하였

다. 산업단지를 제외하고 사무실, 기관건물, 호텔, 병원건물, 의료시설, 주택단지를 포함한 모든 건물은 GRIHA 인증을 받을 수 있다. GRIHA에 부여되는 등급에는 별 1(25~40점), 별 2(41~55점), 별 3(56~70점), 별 4(71~85점) 및 별 5(86점 이상)으로 각 포인트별로 등급이 부여된다. GRIHA 시스템의 가중치(weightage) 부여는 에너지 최적화(energy optimization)가 20%로 가장 높고 다음이 수처리(water management) 17% 및 지속가능한 건축 재료 14% 순으로 이어진다.

4. DEA(Data envelopment analysis - 자료포락분석법)

DEA는 생산이론과 선형 프로그래밍 원리에 기반한 하나의 수학적 방법이다. DEA는 기업, 조직, 기관 또는 어떤 단체가 데이터 세트(data set)에서 다른 조직과 대비하여 일련의 아웃풋을 생성하기 위해 이용 가능한 자원 인풋을 얼마나 효율적으로 사용하는지 평가할 수 있게 한다. DEA(자료 포락 분석 또는 자료 포괄 분석)는 운영연구, 관리제어시스템, 조직이론, 전략경영, 경제, 회계 및 재무, 인적자원관리 및 공공 행정과 같은 많은 분야에 사용되어왔다. DEA는 선형 프로그래밍 이론 및 응용 원리를 기반으로 하는 하나의 수학적 방법이다. DEA는 기업, 조직, 기관 또는 어떤 단체가 데이터 세트(data set)에서 다른 조직과 대비하여 일련의 아웃풋을 생성하기 위해 이용 가능한 자원 인풋을 얼마나 효율적으로 사용하는지 평가할 수 있게 한다. DEA 맥락에서 그러한 유닛(unit)을 의사결정 비교대상 유닛(decision-making units - DMUs)이라 부른다.

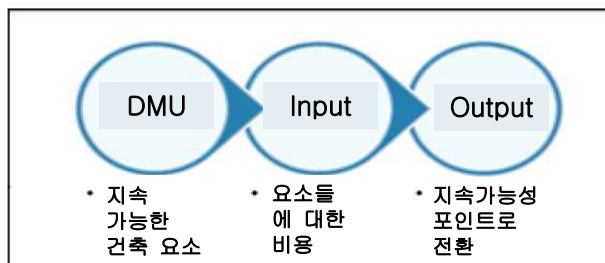
5. 연구방법론(research methodology)

본 연구의 목적을 달성하기 위해 적용된 연구방법에 대해서 논하고자 한다. 본 연구에서 고려된 다양한 단계들을 아래와 같이 개략적으로 설명한다.

1단계 : 지속가능한 건축 요소들에 대한 비용 데이터 수집 - 덩고 습한 기후대의 다양한 지속가능한 건축물의 비용 데이터를 얻기 위하여 정보에 대한 권리법(RTI Act 2005)이 활용되었다. 이 법에 따르면 지속가능한 건축물의 물량산출서와 내역서를 얻기 위해서는 관할 CPWD(Central Public Works Department - 관할 중앙공공사업부)에 서류를 신청하도록 되어있다.

2단계 : DMUs(의사결정비교대상 유닛)의 선정 - DMUs는 성능 효율성을 측정하는 도구이다. DMUs에 따른 성능은 총 아웃풋 대비 총 인풋의 비율인 효율성 또는 생산성의 개념을 사용하여 평가된다. DEA를 사용하여 산정된 효율성은 상대적인 것으로 가장 성능이 우수한 DMU에 대한 상대적인 수치이다.

3단계 : DEA의 인풋/ 아웃풋의 선택 - 가장 중요한 인풋과 아웃풋을 확인하기 위해 선별절차, 정량적(통계적) 또는 정성적(전문가의 조언, 간단한 판단)인 기준을 사용함으로써 실질적인 레벨의 수준으로 낮출 수 있다. 인풋, DMUs 및 아웃풋에 사용된 모델이 그림 3에 표시되어 있다. 표에 표시된 DMUs는 본 연구의 분석에 사용되는 지속가능한 건축 요소들이다. 인풋은 요소들의 비용관련된 것들이다.



<그림 3 - DMU의 인풋과 아웃풋>

4단계 : DEA 모델의 선택 - CRS(Constant returns to scale)-CCR(Charnes-Cooper-Rhodes) 공식이 본 연구에 적용되었다. CRS에서 아웃풋은 인풋의 증가에 비례하여 균등하게 증가한다. 지속가능한 건축 요소들을 확인하기 위해 DEA의 CCR모델이 사용된다. 이 모델은 성과 1의 범위 내에서 효율성 점수를 산출한다.

5단계 : DEA 모델 실행 및 효율성 점수 결정 - DEA 계산을 위해 컴퓨터 소프트웨어가 사용될 수 있다. 또한 컴퓨터 계산은 솔버(solver) 추가 기능을 사용하여 엑셀(Microsoft Excel)로 할 수 있다. EMS (효율성 측정 시스템 - Efficiency Measurement System)은 DEA 효율성 측정을 계산하는 소프트웨어이다. DEA 모델의 아웃풋은 효율성 점수와 벤치마크를 포함한다.

6단계 : 효율성 점수를 기반으로 한 요소 평가 - DEA 분석 후 모델은 각 요소의 효율성 점수를 표시한다. 이렇게 분석하면 각 요소가 다른 요소와 비교하여 어떻게 수행되었는지를 보여준다.

6. 데이터 수집 및 분석

6.1 비용 데이터 수집(Cost data collection)

RTI(Right to Information - 알권리) 조항이 연구목적으로 비용 데이터를 얻는데 활용되었다. 지속가능한 정부 건물에 대해 CPWD(Central Public Works Department - 인도 정부기관)로부터 실질적인 비용 데이터를 얻기 위하여 RTIs 조항에 따라 온라인으로 관련서류가 제출되었다. 총 31건의 신청서가 지속가능한 건축 현장에서 물량산출서 및 내역서의 형태로 된 비용데이터를 얻기 위하여 제출되었다. 이 비용 데이터는 6개 현장을 대상으로 한 것이었다. 6개의 현장 가운데 3개 현장의 데이터는 불충분하거나 지속가능한 건물 등급을 받지 못했다. 따라서 연구목적을 위해 본 연구에서는 3개 현장의 건물만을 고려하였다. 이 세 개 현장의 건물들은 GRIHA 등급을 인증 받았다.

분석 목적으로 사용된 3개의 건물은 각각 E1, E2 및 E3로 번호를 부여하였다. 3개 건물 모두 NBC(건축법 2005)에 기술된 덩고 습한 기후대에 위치하였다. E1은 교육용 건물, E2는 주거단지 그리고 E3는 호텔 건물이다.

이 3개 지속가능한 건물에 적용된 방안들에는 휘발성 유기화합물(VOC) 저감 페인트, 경량기포 콘크리트(AAC - Autoclaved Aerated Concrete) 블록, 에너지 절약 조명설비, BEE(Bureau of Energy Efficiency) 인증 기기, 플라이애시 혼합 보통 포틀랜드 시멘트, 그리고 수목의 이식 및 비옥한 토양층의 보존 등과 같은 방안들이 이었다. 또한 태양열 온수시스템, 계통연계형 태양광발전(grid interactive solar Photo Voltaic)설비, 생활폐수(gray water) 정수장, 빗물집수시설 및 오존파괴지수(ODP - Ozone Depleting Potential) 저감 시설 등이 채택되었다.

6.2 DMU 식별

6.1항에서는 비용데이터가 어떻게 수집되었는지에 대해 상세한 내용을 다루었다. GRIHA 등급 시스템에 따라 고려해야 할 요소는 총 31가지이다. 본 연구에서 8가지 요소가 분석을 위해 선택되었는데 그 이유는 수집된 비용데이터들이 비용측면에서 정량화될 수 있었기 때문이었다. 몇 가지 요소들은 해당 비용데이터를 이용할 수 없고, 이러한 요소들을 비용으로 정량화하는데 어려움 등으로 인해 분석에서 제외되었다.

6.3 DEA용 입력자료

DEA 모델용 입력 자료는 각 요소에 포함된 비용이었다. 정부의 지속가능한 건축공사의 물량산출서(BOQ)와 내역서가 지속가능한 건물 공사비의 산정에 사용되었다. 모든 비용 데이터는 각 요소별로 집계되었으며 “mean cost”가 참고로 사용되었다. 예를 들어 표2는 “공사 중 주변 경관의 유지 및 보호” 요소에 대한 투입원가가 어떻게 산정되었는지를 나타낸다. 이 요소에 대한 총 비용은 앞서 언급한 3가지 프로젝트에 대한 지속가능한 건물의 물량산출서와 내역서에서 나온 것이다. 이후 이 요소에 대한 평방미터당 비용은 총 건축면적으로 전체 요소비용을 나누어 간단히 산정하였다. DEA 모델의 입력 자료에 대한 요소비용으로 단위 면적(m²)당 평균비용(28.32루피)을 사용한다. 추가적인 분석을 위해 마찬가지로 방법으로 8가지 요소의 모든 비용이 산출되었다.

6.4 DEA용 아웃풋

선정된 지속가능한 건물 요소용 산출물은 그와 관련된 등급 포인트이다. 따라서 이들 요소에 대한 산출물은 GRIHA 등급 시스템에서 나온다. 예를 들어 “공사중 주변 경관의 유지 및 보호” 요소에 대해 부여된 등급 포인트는 4점이다. 마찬가지로 모든 요소들에 대한 등급 포인트가 매겨진다. 표3은 DMU와 관련된 비용과 지속가능한 포인트의 변화를 나타낸다.

No.	DMU	비용	지속가능한 포인트로 전환
1	공사 중 경관의 유지 및 보호	28.32	4
2	에너지 효율성	2329.47	13
3	오존파괴지수 저감 재료	39.12	0
4	우수 IAQ 유지관리	191.86	4
5	저 휘발성유기화합물(VOC) 페인트 및 기타 합성재의 사용	185.17	2
6	자원절약기구 및 설비의 사용 (Use of low-flow fixtures and systems)	257.57	4
7	조경용수 수요의 절감 (Reducing landscape water demand)	79.02	4
8	현장의 유기 폐기물 처리 (Treat organic waste on site)	101.71	2

<표 3 - DMU, 인풋 및 아웃풋의 변화>

표 3에서 첫 번째 DMU “공사 중 주변 경관의 유지 및 보호”에 대한 입력 자료는 비용(28.32루피)이다. 그 아웃풋은 지속가능한 포인트(4점)의 변화이다. 이것은 28.32루피/m²를 투자한 후 지속가능한 등급 포인트가 4점 증가하는 것으로 해석될 수 있다.

6.5 DEA 분석

EMS 소프트웨어로 얻은 지속가능한 건축 요소의 아웃풋 및 효율성 점수는 표4에 나와 있다.

No.	DMU	효율성 점수	벤치마크	순위
1	공사 중 주변 경관의 유지 및 보호	1.0000	6	1
2	에너지 효율성	0.0395	1(3.25)	7
3	오존파괴지수 저감 재료	0.0000	0	8
4	우수한 IAQ 유지관리	0.1476	1(1.00)	3
5	저 휘발성유기화합물(VOC) 페인트 및 기타 합성재의 사용	0.0765	1(0.50)	6
6	자원절약기구 및 설비의 사용 (Use of low-flow fixtures and systems)	0.1100	1(1.00)	5
7	조경용수 수요의 절감 (Reducing landscape water demand)	0.3584	1(1.00)	2
8	현장의 유기 폐기물 처리 (Treat organic waste on site)	0.1392	1(0.50)	4

<표 4 - DEA 모델의 결과>

벤치마크는 DEA 분석 결과이다. 비효율적인 (DMU)요소에 대한 벤치마크는 표4의 벤치마크 난의 괄호 안에 가중치와 함께 참조 요소(DMUs)를 나타낸다. 예를 들어 2번(에너지 효율성)의 요소는 비효율적인 요소이며 0.0395(3.95%)의 점수를 가지고 있다. 이 요소(DMU)는 가중치 3.25이며, 효율적인 요소 1번을 벤치마크 하고 있다. 이것이 표4의 벤치마크 난에 1(3.25)로 표시되었다. 효율적인 요소(DMU)의 경우 효율적인 요소를 벤치마크한 비효율적인 요소(DMUs)의 번호를 나타낸다. 예를 들어 1번(공사중 주변 공간의 유지 및 보호) 요소는 효율적인 요소로 점수는 1.0000 점이다. 2, 4, 5, 6, 7 및 8번 요소들(DMUs)은 이 요소(DMU)를 벤치마크로 선택했다.

7. 연구결과 검토

지속가능한 건물 비용 요소들을 벤치마크하기 위해 효율성 점수가 사용되었다. 효율성 점수가 최대인 요소들이 가장 중요하다. 분석에 포함된 요소들에 따라 효율성 점수는 달라진다. 이러한 요소들의 효율성 점수를 바탕으로 지속가능한 건축 요소들의 순위를 정할 수 있다. 따라서 표 4는 각각의 효율성 점수를 기반으로 지속가능한 건축 요소 순위를 나타낸다.

포락면(envelopment surface)은 DEA에서 가장 좋은 성능을 보이는 DMU에 의해 생성되고 이 포락면을 기반으로 각 DMU의 성능이 측정된다. 표 4의 결과는 다른 요소들과 비교하여 각 요소가 어떻게 수행되었는지를 나타낸다. 8가지 요소 중 7가지 요소들이 효율적인 것으로 밝혀진 반면에 한 요소는 비효율적인 것으로 확인되었다. 최대 효율성 점수는 1 즉 100%이고 반면에 최소 효율성 점수는 제로(0%)이다. 효율성 점수의 평균값은 23.29%이다. 부여된 지속가능한 점수의 변화가 제로이기 때문에 ODP(오존파괴지수) 저감 재료 요소에 대한 효율성 점수가 0%로 나왔다.

지속가능한 건물에 비용을 투자하기 위해 효율성 요소들이 선택되어야 하는데 최소 비용으로 프로젝트의 지속가능성을 증가시키기 때문이다.

8. 결론

본 연구에서는 건설관리자가 지속가능한 요인들을 통제하고 비용 효과적이며 지속가능한 방식으로 건물을 건설할 수 있는 방법은 제시한다. 나열한 요인들에 집중함으로써 개발자, 건축업자 또는 계약자가 보다 나은 지속가능한 개발을 이룩할 수 있다. 인도의 건설 산업은 현재 지속가능한 건물에 대한 투자 제안이 용이하지 않다. 건물의 지속가능성에 영향을 미치는 다양한 요인들이 있긴 하지만 자금의 제약으로 인해 사용자가 모든 요인들을 고려하지 못할 수 있다. 본 연구에서 개발된 프레임워크는 저비용으로 지속가능한 포인트에 더 기여할 수 있는 요소들을 식별한다. 그러한 분석을 수행함으로써 개발자는 지속가능한 건축 요소에 투자할지 여부를 정량적으로 결정할 수 있을 것이다. 한 건물이 GRIHA의 모든 전제조건 또는 필수요건을 만족한 후에 더 많은 지속가능한 포인트를 얻고 제한된 자금으로 지속가능한 등급의 건물을 갖출 수 있도록 이러한 요소들을 고려해야 한다.

<원문제목> Construction cost effectiveness of sustainable buildings in warm and humid climate zone of India

<원문출처> College of Engineering, Pune