

교육시설물의 LEED 인증유무에 따른 공사비 비교연구

Comparison Analysis of Construction Costs according to LEED and non-LEED Certified Educational Buildings

하 선 근* 손 기 영** 김 지 명*** 김 태 희****
Ha, Sun-Geun Son, Kiyong Kim, Ji-Myong Kim, Taihui

Abstract

The efforts for sustainable development in building construction is widely applied by global organizations, governments, etc. However, according to the researchers, if the green rating systems on the building, it is reported that construction costs and durations are increased compared to conventional buildings. In this respect, the objective of this study is to identify the construction costs between LEED and non-LEED buildings. The scope of this study is limited in 21 university buildings of Canada. The methodology is as follows: First, the data of LEED and non-LEED buildings are collected in every university building. Second, the average construction costs per square meter is collected and normality check is conducted. Third, to identify statistical significance, the difference of average construction costs is analyzed by using T-test. As a result, it is concluded that the construction costs of LEED buildings are increased by approximately 3.8% more than non-LEED buildings. In the future, the results of this study can be applied to analyzing the additional costs according to the LEED grade in educational buildings.

키워드 : LEED, 건축 공사비, 교육시설물, T-Test

Keywords : LEED, Construction Cost, Education Facilities, T-test

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

현재 국내외에서는 지구환경보전, 거주자의 쾌적성 및 건강 등을 증진하기 위해 설계, 시공, 유지관리, 해체 등 전 생애주기(life cycle)에 걸쳐 에너지, 원자재, 오염물질 배출과 같은 항목을 평가하여 건물의 지속가능성(Sustainability)

관점에서 건물효율을 개선하는 친환경 건축물 인증 제도를 시행하고 있다. 대표적으로 1991년부터 시작된 영국의 Building Research Establishment Environmental Assessment Method(BREEAM)과 1998년부터 진행된 미국의 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)가 있으며 국내에선 2002년부터 녹색건축물인증제도 Green Building Certification Criteria(GBCC)를 시행하고 있다. 이와 같은 인증제도는 친환경 건축물 확산이라는 직접적인 효과를 거둘 뿐만 아니라 국민들에게 환경보존에 대한 인식을 제고시키고, 친환경 기술개발 등을 발전시키는 부가적인 효과도 거두고 있다.

교육시설물의 경우, Shendell(2004)은 교실 내 CO₂량이 증가함에 따라 학생들의 결석률도 증가하는 것으로 나타났으며 United States Environmental Protection Agency (USEPA)는 2000년에 오염물질, 온도 및 습도와 같은 실내 공기 질은 학생들의 건강과 학업에 많은 영향을 미친다고 보고함으로써 교육시설의 친환경성은 중요시 되고 있다. 이

* M.S Student, School of Architectural Engineering, Univ. of Ulsan., Korea

** Assistant Professor, Ph.D., School of Architectural Engineering, Univ. of Ulsan., Korea

*** Ph.D., Dept. of Construction Science, Texas A&M Univ. College station, USA

Corresponding Author,

Tel: 82-10-3025-6180, E-mail: jimy6180@gmail.com

**** Associate Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National Univ., Korea

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2017R1C1B1003386).

와 같이, 여러 분야에 걸쳐 친환경 건축물에 대한 연구가 진행되고 있으며 특히, 기존건물 대비 공사비증감에 대한 연구도 다음과 같이 국내의 경우, 국내 업무시설의 LEED 인증에 따른 등급별 비용 증감에 관한 연구(김재문 외 2인, 2012), 신축건축물 LEED 인증을 위한 추가 공사비 연구(이원기, 2013)등 활발히 연구가 진행되고 있다. 해외의 경우, 오피스 건물의 LEED 비용 연구(GSA, 2004), 은행건물의 LEED 인증에 따른 건설비용 분석(Chad Mapp et al, 2011)와 같은 연구가 수행되고 있다. 하지만 이러한 공사비 증감에 대한 연구는 대부분 교육시설물이 아닌 상업용 및 주거용 빌딩에 한해서 연구가 진행되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 교육시설물을 대상으로 친환경 건축물 인증 여부(LEED)에 따른 기존대비 공사비 증감 비교분석을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 향후 교육시설물 LEED등급별 공사비 예측 모델연구에 활용될 것이다.

1.2 연구의 범위와 방법

Canada Green Building Council(CaGBC)은 2003년에 US Green Building Council(USGBC)에서 개발된 LEED-NC2.1의 내용을 캐나다 실정에 맞게 수정하여 LEED Canada라는 독자적인 친환경 건축물 인증제도를 시행해 왔지만 2017년 6월부터 중단하고 USGBC의 LEED를 도입하였다. 이에 본 연구는 캐나다 지역의 LEED Canada가 아닌 LEED인증을 받은 건축물을 대상으로 진행하였다.

본 연구의 목적인 교육시설물의 기존대비 공사비증감을 분석하기 위해 Figure 1과 같이, 첫째, 국내와 LEED인증 항목이 같은 캐나다 352개 대학 중 LEED 인증 건축물이 있는 21개의 대학을 표본으로 선정한다. 둘째, 선정된 대학별 LEED 인증 및 비인증 건물의 공사비에 대한 데이터를 수집한다. 셋째, 통계분석을 위해 우선, 수집된 데이터가 통계분석에 활용될 수 있는지 정규성 검정을 실시하고 정규성이 확보된 데이터를 T-test를 통하여 1m²당 공사비 차이가 통계적으로 유의한지 분석한다. 넷째, 분석에 따라 LEED 인증 유무에 따른 공사비 비교결과를 도출한다.

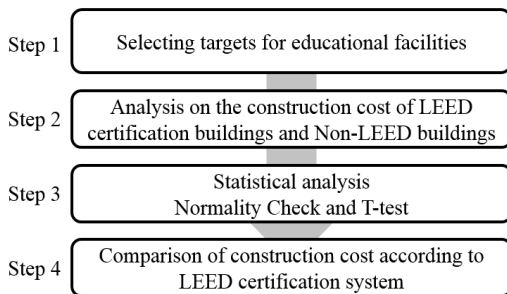


Figure 1. Methodology

2. 이론적 고찰

2.1 LEED for school 개요

미국은 US Green Building Council(USGBC)에서 1998년부터 LEED 친환경 건축물 인증평가를 시행하였으며 시간이 지남에 따라 개정을 진행하고 있다. 이러한 노력으로, 2000년 LEED 인증건물은 60개에 불과하였으나 2017년 현재는 5만개를 넘어서고 있다.

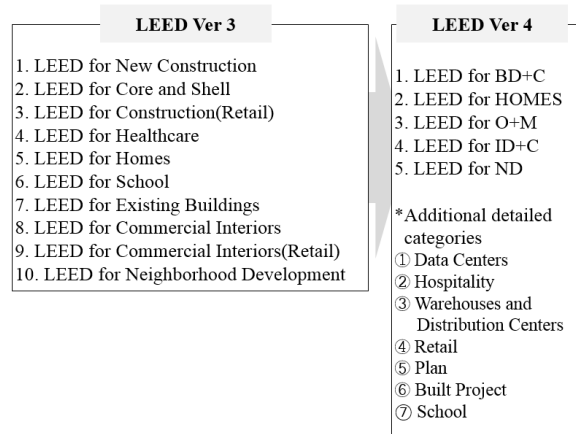


Figure 2. LEED guideline

Figure 2는 2009년 이후 LEED의 개정과정을 나타낸다. 2009년 LEED Ver 3는 10개의 독립적인 평가시스템에서 2013년 LEED Ver 4로 개정됨에 따라 5개의 평가시스템으로 통합되었다. 개정된 평가시스템의 종류는 LEED for BD+C(Building Design and Construction), LEED for ID+C(Interior Design and Construction), LEED for O+M(Building operations and Maintenance), LEED for ND(Neighborhood Development), LEED for Homes가 있으며 새로 추가된 소분류를 살펴보면, Healthcare, Data Centers, Hospitality, Warehouses and Distribution Centers, Retail, Schools, Plan, Built Project와 같다. 현재 LEED Ver 4 BD+C(School)의 등급시스템은 40-49점 Certified, 50-59점 Silver, 60-79 Gold, 80-110은 Platinum으로 분류된다.

Table 1은 LEED for BD+C(school) 시스템의 평가항목 배점 변천과정을 나타낸 것이며 개정된 안을 살펴보면 다음과 같다. Ver 2에서 Ver 3로 개정되면서 총점 79점에서 110점으로 바뀌었으며 지역 환경특성을 살려 추가점수를 받을 수 있는 Regional 항목이 새로 추가됨에 따라 지역 환경특성을 배려한 것을 볼 수 있다. Sustainable site 항목에 대중교통 접근성, 자전거 보관소와 같이 개인교통수단으로 인한

Table 1. Changes in School Points and Section

Section	Application and Credits					
	Ver 2		Ver 3		Ver 4	
	Total	%	Total	%	Total	%
Integrative Process	-	-	-	-	1	1
Location and Transportation	-	-	-	-	15	13.6
Sustainable Sites	16	20.3	24	21.8	12	10.9
Water Efficiency	7	8.9	11	10.0	12	10.9
Energy & Atmosphere	17	21.5	33	30.0	31	28.2
Materials & Resources	13	16.5	13	11.8	13	11.8
Indoor Environmental Quality	20	25.3	19	17.3	16	14.5
Innovation	6	7.6	6	5.5	6	5.5
Regional Priority	-	-	4	3.6	4	3.6
Total	79	100	110	100	110	100

오염물질 배출을 감소시키기 위해 대체교통수단 관련 항목을 추가하였다. Energy & Atmosphere 부문의 점수가 가장 많이 증가한 대신에 Indoor Environmental Quality 부문이 가장 많이 감소한 것으로 나타났다. 나머지 항목의 점수는 1-3점의 증감을 보이고 있으며 이는 시대의 흐름에 따라 중요하게 판단된 항목에 가중치를 두었다고 판단된다.

Ver 3에서 Ver 4로 개정되면서 Integrative Process 항목이 추가되었으며 Sustainable Site이 Sustainable Site와 Location and Transportation으로 추가 및 분류되었다. Transportation의 점수 7점으로 Ver 3의 4점과 비슷하기 때문에 가중치로 인한 분류가 아닌 항목에 의한 분류로 생각되며 새로 추가된 Location에 가중치를 두었다고 판단된다.

나머지 항목의 점수는 1-3점의 증감을 보이고 있기 때문에 이 또한 시대의 흐름에 부분적으로 변경사항이 있었던 것을 알 수 있다.

2.2 선행연구 고찰

Zhonghua Goul et al(2010)은 친환경 건축물에 대한 시장 준비성과 방침에 대해 이익, 동기, 방해물, 정책 등 7개의 항목으로 질문을 구성하였으며 현지 친환경 연구자 11명과의 인터뷰를 실시하였다. 그 결과, 대부분의 연구자들은 친환경 건축물의 초기 비용이 일반 건물보다 높다는 것에 동의 하였으며 그 원인으로서는 설계비용의 증가, 친환경 자재 구입, 에너지 절감 시스템 도입 등으로 나타났다.

주거부문의 경우, 공동주택의 친환경 건축물 인증에 따른 사업 타당성 분석연구(김영만, 2010)는 서울시의 공동주택 중 2008년에 국내 친환경 건축물 인증제도에서 우수

등급(예비인증)을 획득한 5개의 공동주택을 대상으로 수행하였다. 부문별 추가비용 중 에너지 부문의 경우 25-30%의 에너지 절감을 시행하였는데 이는 KICT 보고서에서 에너지 부문의 비용은 에너지 사용량의 25-30% 절감을 기준으로 한 것을 차용하였다. 이에 KICT 보고서에 차용된 에너지 부문의 추가비용에 대해 연면적으로 나눈 금액을 대상 프로젝트의 연면적에 곱하여 산정하였다.

분석결과, 평균적으로 5.32% 추가비용이 발생하였으며 항목 별 Indoor Environmental 2.8, Water 1.18%, Energy 0.56%, Materials 0.32%, Ecological Environment 0.12%, Traffic 0.08% 순으로 증가하였다. Indoor Environmental 항목과 Water 항목의 추가비용이 높게 분포된 이유는 창호설치, 상수절감설비, 친환경자재 사용과 같은 자재의 수량이 많이 투입되며 우수이용 시스템 설치와 같은 단가가 높은 항목이 다수 포함되어 있기 때문으로 조사되었다. 또한, 연면적이 높을수록 단위면적 당 추가 공사비가 낮게 발생하였는데 이는 대량의 자재 발주로 인한 자재 단가의 가격이 상대적으로 낮아졌으며 특수 시설물, 우수 시스템 설비, 고효율 보일러 설치와 같이 일정규모 단위로 시설 설치비가 책정되고, 규모가 커질수록 추가되는 비용이 기본 규모의 비용보다 작게 상승하기 때문으로 분석되었다.

업무용건축물의 경우, 국내 업무용건물의 LEED 등급에 따른 추가공사비 추정에 관한 연구(김재문, 2010)는 2011년 6월에 준공된 총 공사비 369.77억원의 업무시설 분당 M사 사옥을 대상으로 선정하였다. LEED 등급 Certified 43점, Silver 53점, Gold 64점, Platinum은 82점으로 시나리오를 설정하고 대상건물은 LEED Ver 2 시스템을 적용한 건물이기에 6가지 항목, 54가지의 Prerequisite 및 Credit 항목에 대한 추가 공사비를 도출하였다. LEED 각 등급별 인증을 위해 추가되는 비용은 각 항목 별 추가비용이 낮은 순으로 적용하였으며, 또한 LEED 인증을 위한 설계 변경 안을 적용시키기도 하였다.

그 결과, Certified -0.08%, Silver 0.40%, Gold 2.57%, Platinum 5.79% 증감을 보였으며 각 등급 별 영향이 가장 큰 항목은 다음과 같다. Certified 등급 인증을 위한 추가 공사비는 기계장비의 용량을 적정수준으로 줄임으로써 -29,797만원, 0.08% 절감하였다. Silver 등급 인증을 위해, 비용적인 측면에서 가장 영향이 큰 항목은 EA(Energy & Atmosphere)가 43%를 차지함으로써, 에너지 절감을 위한 추가 비용이 가장 큰 영향을 미쳤다. 또한 Gold 인증을 위한 추가공사비에서 EA가 65%, Platinum 등급에서 EA가 77%를 차지함으로써 모든 LEED 등급에 대하여 EA항

목의 비용적인 측면에서 가장 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.

교육시설의 경우, US Green Building(2006)은 미국 10개주의 LEED 인증을 받은 30개소 학교를 대상으로 6년간(2001~2006년) 편익비용을 분석하였다. 분석 결과, 친환경 인증제도를 적용하게 되면 효율적인 설비 시스템 도입, 디자인, 모델링 등으로 공사비가 증가할 수 있으나, 에너지 및 물 절약, 생산성 향상, 실내공기 질의 향상을 통한 건강 증진 등으로 71(\$/ft²)의 비용 절감 효과를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 절감 비용은 친환경 건축물 인증을 위한 추가 공사비와 상쇄되거나 추가이익이 있을 수 있다고 보고하였다. 하지만 국내의 경우, 학교시설의 친환경건축물 인증 평가항목 및 사례 분석(김창성, 2013), 학교시설 친환경건축물 인증기준의 필수 반영항목 선정에 관한연구(김용석 외 3인, 2009), 학교시설의 친환경건축물인증 사례에 대한 평가결과 비교분석에 관한 연구(정지나 외 3인, 2009)와 같이 사례 분석이나 인증기준에 관한 연구가 주로 이루어지고 있으며 공사비에 관한 연구는 이뤄지지 않고 있는 실정이다.

2.3 T-Test

T-TEST란 두 모집단의 평균이 서로 유의미하게 차이가 있는지를 결정하기 위해 사용되는 모수적 검정기법이다. 본 연구에서 수행할 방법으로는 단일표본 T-TEST로써 관찰된 평균이 기존에 설정된 특정 값과 차이가 있는지를 검정할 때 사용된다. 이 방법은 독립변수에 따른 종속변수는 정규분포를 만족해야 하며 데이터가 대표본(일반적으로, 범주 별 30개 이상)이면 대표본 근사(중심극한 정리)에 의해 정규성을 만족한다는 기본 가정사항이 있다. “모수와 표본평균의 차이가 없다”라는 귀무가설 H_0 와 “모수와 표본평균 간에 차이가 있다”라는 대립가설 H_1 을 세운다.

$$H_0: \mu = mean$$

$$H_1: \mu \neq mean$$

Where,

μ = 표본평균

μ = 모수

그 다음으로는, 방향성의 부여 여부에 따라 양방 검증, 일반 검증을 시행하게 되는데 본 연구에선 양방검증을 수행하도록 한다. 이는 정규 분포의 양쪽 끝을 포함시켜 유

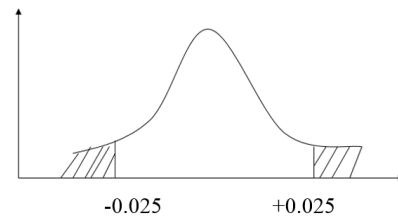


Figure 3. T distribution graph

의도 수준을 결정하는 것으로써 차이가 커도 검증이 되고 작아도 검증이 되기 때문이다. 유의확률을 95%로 하였을 시, T분포 그래프에서 빗금친 부분은 기각역이며 그 사이 부분은 채택역이다(Figure 3). 만약 검정통계량 $T(X)$ 값이 기각역에 속하게 되면 귀무가설 H_0 가 기각됨으로 대립가설 H_1 가 채택되는 검정방법이다.

3. 통계분석

3.1 대상선정

Canada Green Building Council(CaGBC)에 따르면, LEED인증 받은 건축물은 총 3,038개이며 그 중 교육시설물이 차지하는 수는 336개로써 11%를 차지하고 있다. 또한, Figure 4와 같이 캐나다에 있는 대학교에서 LEED 인증 받은 건축물의 수는 2005년 이후로 점점 증가하는 추세이다.

이는, 캐나다 정부가 2009년에 Green Energy and Green Economy정책을 시행하고 친환경 건축물이 교육환경에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 관심이 집중되기 때문이라고 판단된다.

이에 본 연구에서는 캐나다 Canadian Universities Reciprocal Insurance Exchange(CURIE) 보험회사의 데이터를 토대로 Figure 5와 같이 캐나다에 LEED 건축물이 있는 21개의 대학을 대상으로 선정하였다. CURIE란 보험관리 및 리스크 관리업무를 수행하며 캐나다 전역의 크고 작은

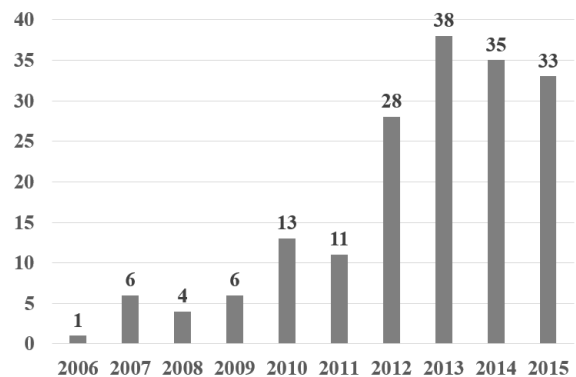


Figure 4. LEED certification numbers in universities of Canada

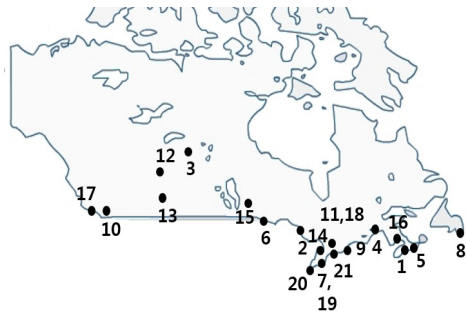


Figure 5. University Location

대학을 위해 특별히 설립된 비영리 회사를 말한다. 데이터는 CURIE에 직접 품의하여 수집하였다. 데이터는 2016년 말 기준 보험 가입 대학들의 건물대장으로 대학교이름, 소재지, 부속건물의 건축년도, 층수, 연면적, 공사비 등의 상세정보 및 LEED 인증여부가 포함되어 있다.

3.2 데이터 수집

1) 데이터 수집 절차

본 연구에서는 LEED 인증건물과 Non-LEED 건물의 공사비를 비교분석 하는 것이 목적이다. 하지만, 건물의 규모가 증가할수록 총공사비도 증가하는 문제점이 있기 때문에 단위면적 당 공사비(C\$/m²)를 이용하여 다음과 같은 수행

절차를 따른다. 첫째, 대학 별 LEED 인증건물의 단위면적 당 공사비를 실험군으로 선정하고 평균값을 B_{ij} 라고 정의한다. 둘째, LEED 건물 하나의 샘플개수에 대하여 Non-LEED 건물의 단위면적 당 공사비 세 개의 샘플을 수집하여 선정하여 평균값을 A_{ik} 라고 정의한다. 이때, 단위면적 당 공사비는 규모, 디자인, 구조, 마감재 등 다양한 변수들에 의해 결정되기 때문에 변수들의 영향을 최소화 할 필요성이 있다. 이에 비교군 (Non-LEED vs. LEED 건물) 선정시, 건물의 용도가 같고, 건축년도 ± 3 년, 연면적은 $\pm 20\%$ 의 조건을 모두 충족하는 건물들을 선정하였다. 이와 같은 조건들을 만족하는 데이터는 각 대학 별 3개소 또는 3개소 이상으로 나타났으며 데이터의 균질성을 위하여 3개소로 선정하여 A_{ik} 로 정의하였다. 셋째, 각 대학 별 B_{ij} 와 A_{ik} 값을 파악하여 LEED 인증여부에 따라 공사비 차이가 있는지 비교분석한다.

2) 데이터 수집 결과

두 집단 간의 공사비 차이가 있는지 분석하기 위해선 Building Value Index(BVI)를 정의할 필요가 있다. BVI는 B_{ij} 를 A_{ik} 로 나눈 값이며 이는 LEED 인증건물이 Non-LEED에 대한 상대적 가치를 의미한다. 다음 식에서 i 는 대

Table 2. Data Analysis

i	Content	N	Ave.	BVI_{ij}	i	Content	N	Ave.	BVI_{ij}
1	LEED	1	570.00	1.060	12	LEED	5	416.26	1.025
	Non-LEED	3	537.57			Non-LEED	15	406.09	
2	LEED	1	356.06	1.049	13	LEED	9	422.30	1.030
	Non-LEED	3	339.27			Non-LEED	27	410.09	
3	LEED	1	300.85	1.029	14	LEED	2	411.51	1.018
	Non-LEED	3	292.26			Non-LEED	6	404.17	
4	LEED	2	289.39	1.031	15	LEED	3	448.57	1.063
	Non-LEED	6	280.72			Non-LEED	9	421.82	
5	LEED	6	324.92	1.043	16	LEED	1	377.93	1.021
	Non-LEED	18	311.57			Non-LEED	3	370.25	
6	LEED	1	465.02	1.012	17	LEED	2	348.12	1.058
	Non-LEED	3	459.70			Non-LEED	6	328.98	
7	LEED	9	311.11	1.035	18	LEED	1	363.30	1.020
	Non-LEED	27	300.53			Non-LEED	3	356.25	
8	LEED	3	322.39	1.043	19	LEED	3	427.05	1.033
	Non-LEED	9	303.70			Non-LEED	9	413.29	
9	LEED	4	485.39	1.021	20	LEED	2	325.23	1.051
	Non-LEED	12	475.28			Non-LEED	6	309.51	
10	LEED	1	552.60	1.053	21	LEED	4	562.27	1.049
	Non-LEED	3	524.68			Non-LEED	12	536.06	
11	LEED	1	422.43	1.058					
	Non-LEED	3	399.23						

* i = university
 * N = the number of samples
 * Ave = average samples

학 ID, j 는 LEED 인증건물ID, k 는 Non-LEED 건물ID를 나타낸다. 식(1)에 따라 데이터를 분석한 결과는 Table 2와 같다.

$$BVI_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^j B_{ij} / j}{\sum_{k=1}^k A_{ik} / k} \quad \text{식 (1)}$$

Where,

i = university ID

j = LEED-certified building ID

k = Non-LEED building ID

B_{ij} = Average LEED certified Building Value

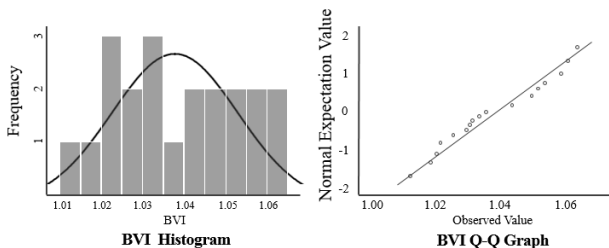
A_{ik} = Average Non-LEED Building Value

BVI = Average(B_{ij}) / Average(A_{ik})

3.3 정규성 검정

본 연구에서는 두 집단 간의 공사비가 차이의 유무를 확인하기 위해 T-Test를 이용하고자 한다. T-Test는 독립변수에 따른 종속변수는 정규분포를 만족해야한다는 가정사항을 만족해야 한다. 이에, 수집된 데이터에 대해 정규성 검정을 실시하여 정규분포를 따르는지 분석하였다. 그 결과, 데이터는 Figure 6과 같이 정규분포 특성을 가지고 있으며 통계적으로 정규분포를 따르는지 Kolmogorov-Smirnov 검정을 추가적으로 수행하였다. 신뢰구간을 95%로 가정하였을 때의 결과 값이며, 유의확률은 0.05 이상인 0.200으로 수집된 데이터가 정규분포를 따른다고 판단 할 수 있다.

다음으로 기술통계치를 활용하여 데이터의 정규분포성 여부를 파악하기 위해 Table 3과 같이 첨도 및 왜도를 분석하였다. 평균은 1.038이며 중위수는 평균보다 작은 1.035, 왜도 0.039, 첨도 -1.339로 분석되었다. 이는 Kline이 제시



Class	Kolmogorov-Smirnov			Sharpiro-Wilk		
	Statistics	DF	Sig.	statistics	DF	Sig.
BVI	0.135	21	0.200	0.942	21	0.240

Figure 6. Normal distribution & Normality Check

Table 3. Descriptive Statistics

Class	Collected Data
N	21
Mean	1.038
Std. Dev.	0.015
1st decile	1.012
median	1.035
21th decile	1.063
Skewness	0.039
Kurtosis	-1.339

한 첨도는 10미만, 왜도는 절대값 3미만을 초과하지 않는다면 큰 문제가 되지 않다는 기준에 의해 정규분포를 충족하는 것으로 나타났다.(Kline RX, 2005)

3.4 분석 결과

LEED인증건물과 Non-LEED 건물의 공사비 차이가 있다는 것에 대해 신뢰성이 있는지 판단하기 위해선 통계적인 접근이 요구된다. 이에 따라, 다음과 같이 LEED의 공사비와 Non-LEED공사비가 차이가 없다는 가설을 세우고 일표본 T 검정을 수행한다. 일표본 T 검정은 하나로 구성된 모집단의 평균값을 기준 값과 비교하고자 할 때 사용되는 분석법이다. 만약, 두 집단 간의 차이가 있을 경우에는 LEED의 인증여부에 따라 공사비가 차이가 난다는 논리적 근거가 될 수 있다.

$$H_0 : LCB = NLB$$

$$H_1 : LCB \neq NLB$$

Where,

LCB : LEED certified building 단위면적 당 공사비

NLB : Non-LEED building 단위면적 당 공사비

위와 같은 귀무가설하의 검정통계량 값은 $T(X)=11.103$ 으로 나타났다. 표본의 크기는 $n=21 < 30$ 으로써 검정통계량 $T(X)$ 는 자유도가 $n-1=20$ 인 T 분포를 따른다. 유의확률을 95%로 할 때, T분포 테이블에서 자유도가 20인 경우 $P_r(-2.086 \leq t \leq 2.086)$ 임을 알 수 있다. 이는 Figure 7과 같이 기각역은 빗금친 부분이며, 귀무가설 하에서 검정통계량 값 $T(X)=11.103$ 은 기각영역에 해당함으로 귀무가설이 기각되고 대립가설이 채택된다. 즉 T-Test의 결과는 유의미하다고 분석된다. 이로써, LEED인증 건축물의 단위면적 당 공사비는 Non-LEED 건물의 단위면적 당 공사비와 차이가 통계적으로 유의미하다는 것으로 나타났다. 결과적으로, BVI의 평균값은 1.038으로써, LEED certified 건

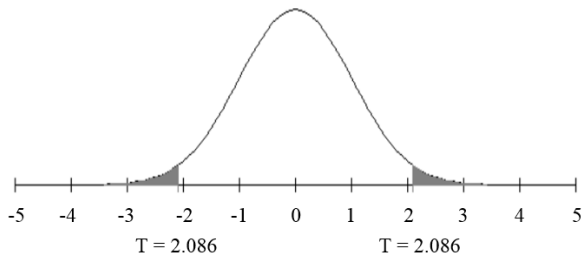


Figure 7. T distribution curve for a degree of freedom of 21

물이 Non LEED 건물에 비해 3.8% 공사비 증가가 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과 값은 공사비에 영향을 미치는 변수들을 최소화하였으나 향후 다양한 요인들(재료, 공법, 규모 등)을 보다 상세하게 데이터를 수집하여 상관관계를 분석하는 국내 친환경 인증건물의 공사비 관련 후속 연구가 필요하다.

본 연구의 결과에 따르면, 공사비가 3.8% 증가하는 것으로 나타났으며 이는 초기 설계 비용의 증가, 상대적으로 비싼 친환경 재료의 사용, 자재 공급 등으로 인한 것으로 분석된다. 하지만 US Green Building(2006)에 따르면, LEED 인증 학교 건물은 비인증 학교건물과 비교했을 경우, 1) 에너지 사용량, 2) 오염물질 배출, 3) 물 사용량, 4) 천식발병률 및 호흡기 질환자 감소와 같이 4가지 측면에서 장기적으로 추가공사비를 상쇄할 수 있는 편익이 발생할 것으로 보고하였다.

첫째, 에너지 사용량 측면의 경우, 친환경 설비에 따라 기존 건축물의 에너지효율이 높은 것으로 나타나며 아울러 에너지 수요량이 줄어들며 따라 에너지 가격이 하락하는 간접효과를 얻을 수 있다. 둘째, 오염물질 배출 측면의 경우, 에너지 수요량이 감소함에 따라 투입되는 화석연료는 줄어들 것으로 판단된다. 셋째, 친환경 건축물에서 빗물 및 중수를 활용하여 물 사용량은 기존에 비해 감소하는 것으로 나타난다. 이는 공해를 줄이기 위해 투입되는 직접적인 비용과 폐수를 운송, 처리하는 인프라구축의 간접비용까지 절감할 수 있다. 넷째, 친환경 설비로 인해 실내 공기질이 좋아짐에 따라 천식발병률, 호흡기 질환자는 기존에 비해 감소할 것으로 판단된다.

5. 결론

건축물의 지속가능한 개발을 달성하려는 노력은 국제기구, 정부, 친환경 건축물 인증기관들을 중심으로 광범위하게 진행되고 있다. 하지만 여러 연구자들에 따르면, 친

환경 건축물 인증제도를 적용하게 되면 공사비 및 공사기간이 증가되어 기존대비 경제적이지 않다고 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 교육시설물의 LEED 인증유무에 따른 공사비 비교하는 것이다. 이를 위해, 캐나다 21개 대학의 교육시설물을 대상으로 1개의 LEED 인증건물 당 Non-LEED 건물 3개의 샘플을 수집하였다. 수집된 데이터를 LEED 인증 유무에 따라 단위면적 당 공사비 평균을 도출하였으며 데이터가 통계적으로 신뢰할 수 있는지 정규성 검정을 실시하였으며 정규분포를 충족하는 것으로 나타났다. 또한 기술통계, T-Test를 실시한 결과, LEED 인증 건물의 공사비가 Non-LEED 건물의 공사비에 비해 3.8% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 교육시설물의 공사비 증가 원인으로 US Green Building(2006)의 연구결과에서 보여지는 바와 같이 효율적인 설비 시스템 도입, 디자인, 모델링 등에 의해 추가 비용 발생하는 것으로 판단된다. 즉, 상기 보고서의 분석방법에 따르면 친환경 건축물 인증을 위해 3.8%만큼의 추가 공사비를 투입할 시 에너지 및 물 절약, 생산성 향상, 실내공기 질의 향상을 통한 건강 증진 등으로 71(\$/ft²)의 비용 절감 및 추가 이익이 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과 값은 LEED 인증제도를 적용한 건물을 대상으로 수행했기 때문에 국내 친환경건축물 인증제도를 적용할 경우 다소 차이가 있을 수 있다. 그러므로 국내 인증건물의 공사비 관련 후속 연구 및 본 연구의 결과를 검증하는 추가적인 연구가 필요하다. 하지만, 각 인증제도는 친환경성이라는 궁극적인 목표를 추구하며 평가항목의 유사점이 있기에 국내 친환경건축물 인증제도를 적용하더라도 유사한 값을 가질 것이라고 판단된다.

따라서 본 연구는 교육시설물의 LEED 인증에 따른 등급별 추가 공사비 분석모델을 구축하기 위한 기초연구로 수행되었으며, 본 연구의 결과는 향후 교육시설물 LEED 등급별 공사비 예측 모델연구에 활용될 것이다.

References

1. US Green Building, Greening America's schools costs and benefits, 2006
2. USEPA(United States Environmental Protection Agency), Indoor air quality tools for schools, EPA, pp.1-3, 2000
3. Shendell, D. G., Prill, R., Fisk, W. J., Apte, M. G., Blake, D., Faulkner, D. Association between Co2 concentrations and student attendance in Washington Idaho. Indoor Air., 14(5), pp.333-341, 2004

4. Gou, Zhonghua, Stephen Siu-Yu Lau, Deo Prasad., Market readiness and policy implications for green buildings: case study from Hong Kong, *Journal of Green Building*, 8(2), pp.162-173, 2013
5. Kim Young-Man, Analysis on multi-residential housing project feasibility study based on eco-friendly building certification, master's Thesis, Kyunghee University, 2010
6. Rex B. Kline, Principles and practice of structural equation modeling, 2nd ed, New York: Guilford Press, 2005
7. Lee Won-Ki, A study on additional construction cost for LEED certification on new construction. master's thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2013
8. Kim Jae-Moon, Yang Won-Yung, Min Joon-Ki. A study on the variation of construction cost as graded LEED certification of office building, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 28(8), pp.161-168, 2012
9. Kim Jae-Moon, Yang Won-Young, Kang Ho-Suk, Min Joon-Ki, A study on estimate of additional construction cost as certifying LEED of office building in Korea, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 28(8), pp.161-168, 2012
10. Kim Chang-Sung, The analysis on the assessment categories of Korea green building certification criteria by the case studies of educational facilities, *The Journal of Korean Institute of Educational Facilities*, 20(2), pp.15-24, 2013
11. Kim Yong-Suk, Jung Ji-Na, Lee Sang-Ho, Park Sang-Dong. Study on selecting the prerequisite items in the green building certification criteria for schools, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 25(5), pp.59-66, 2009
12. Jung Ji-Na, Kim Yong-Seok, Suck Ho-Tae, Park Sang-Dong, Study on comparison and analysis of the obtained scores in the assessed green schools, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 25(4), pp.279-286, 2009
13. Gou Zhonghua, Stephen Siu-Yu Lau, Contextualizing green building rating systems: Case study of Hong Kong, *Habitat International*, 44, pp.282-289, 2014

접수 2017. 7. 24
1차심사완료 2017. 8. 21
2차심사완료 2017. 9. 22
게재확정 2017. 9. 22