[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 30, No. 2, 2010
ISSN 1598-6411

ZEB(Zero Emission Building) 디자인 프로세스에 관한 연구

강혜진*, 강수연**, 박진철***, 이언구****

*중앙대학교 대학원 건축학과(haejinkang@wm.cau.ac.kr),
**에이앤유건축사사무소(주)(algedi13@naver.com),
***중앙대학교 건축공학과(jincpark@cau.ac.kr), ****중앙대학교 건축학과(ekrhee@cau.ac.kr)

A Study on the Design Process of Zero Emission Buildings

Kang, Hae-Jin* Kang, Soo-Yeon** Park, Jin-Chul*** Rhee, Eon-Ku****

*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(haejinkang@wm.cau.ac.kr),
**Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(algedi13@naver.com),
***Dept. of Architecture, Chung-Ang University(jincpark@cau.ac.kr),
****Dept. of Architecture, Chung-Ang University(ekrhee@cau.ac.kr)

Abstract

Zero Emission Building is a building which emits virtually '0(zero)' carbon dioxide. Although simple in concept, ZEB requires totally different approach from conventional building in terms of design, engineering, construction and operation. There are few research on ZEB design process as ZEB design requires understanding and knowledge regarding energy and technology.

The study aims to propose a design process of Zero Emission Building for architects. The study examined the concept of Zero Emission Building through intensive literature search. The examples of Zero Emission Buildings were investigated, and strategies and technologies applied to the buildings were analyzed. Various conventional design processes were identified and analyzed to examine the applicability to ZEB design, Finally, a new design process which effectively accommodate the requirement of Zero Emission Building was proposed.

Keywords : 디자인 프로세스(Design Process), Zero Emission Building(Zero Emission Building), CO_2 배출량 감소(CO_2 Emission Reduction), 에너지 절약 시스템(Energy-saving system), 재생에너지 시스템(Renewable energy System

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근, 기후변화에 의한 전 세계적인 피해가 심각해지면서 주요원인인 CO_2 배출규제가 확대되고 있다. 개발도상국으로 구분되어 배출규제에서 제외되었던 우리나라 또한, 포스트교토(Post-Kyoto)체제에서는 CO_2 배출량

투고일자 : 2010년 2월 18일, 심사일자 : 2010년 2월 25일, 게재확정일자 : 2010년 3월 31일
교신저자 : 강혜진(haejinkang@wm.cau.ac.kr)

의무감축국으로 포함될 것이 예측되면서 CO_2 배출규제 대응마련이 시급한 실정이다. 전체 CO_2 배출량의 약 25%를 차지하는 건물분야도 예외는 아니며, CO_2 배출감소를 위한 여러 대응방안이 제시되고 있다. 그 중 하나가 Zero Emission Building의 개발이다.

Zero Emission Building은 CO_2 배출량이 '0(Zero)'인 건물로서 기본적이고 간단한 개념임에도 불구하고 ZEB의 현실화는 디자인, 설비, 시공 및 운영단계의 기존 건물의 것과는 그 접근이 다르다. 따라서 특정 건축가들이 ZEB 디자인을 효과적으로 시도하기 위해서는 적절한 디자인 프로세스의 필요성 및 적용이 강조된다. 그러나 ZEB 디자인에 있어서 기본적으로 필요한 에너지 및 기술에 관한 이해를 도울 수 있는 ZEB 디자인 프로세스에 대한 연구는 거의 없는 것으로 나타났다.

본 연구의 목적은 건축가들을 위한 Zero Emission Building의 디자인 프로세스를 제안하는 것이다. 제안된 프로세스는 기존의 디자인 프로세스와는 차이가 있을 수 있으나, 지속가능한 미래에 저탄소 방출의 실현을 위해서는 Zero Emission Building Design을 위한 프로세스의 정립, 적용을 위한 프로세스의 연습 및 실현이 반드시 필요하다.

1.2 연구의 방법 및 절차

Zero Emission Building은 건물의 전생애즉, 자원 획득, 제품생산, 시공, 운영, 폐기단계에 이르기까지 CO_2 배출의 '0(Zero)'를 목표로 하고 있다. 하지만 이 연구에서는 건물의 사용단계에서 CO_2 배출량만을 다루고 있다. 이것은 현재 우리나라에는 충분한 연구 데이터를 확보하는 데에 어려움이 있기 때문이다.

본 연구는 문헌조사를 통해 Zero Emission Building(ZEB)의 배경을 알아보고 ZEB의 개념정립, ZEB 사례조사를 실시하여 ZEB의 디자인 전략 및 사용 기술을 분석하였다. 기존의 다양한 디자인 프로세스를 조사하여 종합하고, ZEB 디자인 적용이 가능한 프로세스로 발전시켰다. 최종적으로는 ZEB의 필요를 효과적으로 구현할 수 있는 새로운 디자인 프로세스를 제안하였다.

2. Zero Emission Building의 개념

'Zero Emission'의 개념은 권터 파울리(United nation University)에 의해서 1994년 제안되었다. 이는 폐기물 배출을 최소화하고 궁극적으로 폐기물을 '0(Zero)'로 만드는 프로세스를 의미한다. 건축에서의 Zero Emission Building은 건물의 전생애 동안 CO_2 배출량을 '0(Zero)'로 만드는 것을 목적으로 한 건물을 의미하며, 이는 '건물의 운영단계에서 필요한 에너지의 사용을 줄이고, 건물 자체에서 발생하는 에너지로 연중 건물에 필요한 에너지수요를 감당하는 'Zero Energy Building'과는 다른 개념이다. 'Zero Emission Building'의 목표는 외부로부터 화석에너지를 공급받지 않고 건물에서 사용하는 에너지 수요와 건물의 재생에너지 생산량이 균형을 이루어 궁극적으로 실질적인 CO_2 배출량을 최소화하는 것이다. 표 1은 Zero Emission Building의 특징을 다른 개념과 비교한 표이다.

표 1. Zero Energy Building과 Zero Emission Building

	Zero Energy Building	Zero Emission Building
기본 개념	건물의 에너지 소비 '0(Zero)'	건물의 CO_2 배출량 '0(Zero)'
계획 요소	에너지절약설계 자체에너지공급시스템	에너지절약설계 재생에너지활용기술
에너지원	재생에너지	재생에너지

따라서 Zero Emission Building의 기본적인 접근방법은 건물의 부하특성에 적합한 에너지 절약 및 재생에너지 요소기술을 선별하고, 단계별 기술적용을 통하여 건물에서 필요한 에너지를 공급하고 CO_2 배출량을 최소화하는 것이다.

3. Zero Emission Building의 사례조사

영국, 미국, 캐나다 및 각 유럽연합(Europe Union)등에서는 'Zero Emission Building' 개발이 활발하다. 특히, 각국은 ZEB 개발을 위한 파일럿프로젝트(Pilot Project) 구축을 촉진하여 ZEB 구현과 동시에 보급정책을 펴고 있다. 각 건물은 Zero Emission Building의 개념을 따라 CO_2 방출량 감축을 위하여 기술을 적용하고 있다. 에너지 절약 시스템으로는 고성능 단열, 자연통풍, 자연형 태양열 난방 등이 기본적으로 사용되고 있으며, 재생에너지시스템으로는 태양광, 태양열시스템, 풍력시스템 등이 사용된다. 대표적인 프로젝트 및 적용된 기술을 다음 표 2에 나타나 있다.

표 2. Zero Emission Building의 개발현황

국가	건물명	개요
EU	SARA PROJECT	고효율 단열재 및 유리 사용, pre-fabricated facade, 자연채광, 자연통풍 인공조명 자동센서, 고효율 조명기구, 고효율 보일러, 저온 바닥 난방, BMS 시스템 지열 히트펌프, PV 시스템
	DEMO HOUSE	외벽 단열, Low-E 이중 창호 사용, 기밀성 강화, 고효율 램프 사용, 자동 블라인드 사용, 바닥 난방 시스템, BEMS 시스템, PV 시스템, 태양열 급탕 시스템, 열회수 환기 시스템, 우수 이용 시스템
UK	Bed ZED	중량벽체 사용, 3중창 및 고단열, 기밀화 시공, 옥상녹화, 옥상 환기시설을 이용한 자연환기 및 열 교환 시스템, 병합 발전 시스템, 바이오매스 발전 시스템, BIPV 시스템, 태양열 급탕 시스템
	Z^2 (Z-squared)	고단열 창호사용, 차양사용, 저에너지 설정과 적용, 지역냉난방시스템, 모니터링 시스템(교육적 효과), 계간 축열 시스템, 바이오매스 열병합 발전 시스템, CHP, 풍력발전 시스템, 혐기성 분해시스템
USA	ZEH (Zero Energy Home)	지붕 및 벽의 단열수준 강화, 자연채광 및 고효율 조명기기, 고단열 창호 사용, 차양사용, 환기 및 친환경 자재 사용, PV 시스템, 태양열시스템, 지역냉난방시스템, 모니터링 시스템
AU	Council House2	PCM, 천장복사냉방, 샤워타워, 벽면녹화, 수직차양, 자동조명제어, 풍력, 태양열, 태양광
CA	NZEH	자연형 태양열 시스템(차양, 건물의 향), 단열, 창호, PV 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 히트펌프 시스템

4. Zero Emission Building 적용 요소기술 분석

4.1 에너지 절약 요소기술

ZEB를 디자인할 때에는 적절한 에너지절약 요소기술이 초기단계에서 선정되어야 건물의 에너지절약을 최대화할 수 있다. 에너지절감전략은 자연형 시스템과 설비형 시스템으로 분류할 수 있다. 자연형 시스템은 사이트, 형태, 외피, 재료와 같은 건축디자인요소를 포함하며, 주변환경에 대한 조절을 통하여 이뤄진다. 설비형 시스템은 건축계획단계에서 자연형 시스템을 통한 에너지절약이 충분히 이루어진 후에 선택하게 된다. 표 3은 계획초기단계에서 고려해야 하는 디자인요소를 나타낸다.

표 3. 건축계획 단계별 에너지 절약 요소기술

계획단계			계획목표	계획기법
건물부하절감	부지계획		미기후 조절	- 부지 내 미기후 분석 - 식재 및 녹지 조성 - 방풍계획
	배치계획		열손실 및 열획득 조절	- 남향· 남동향 배치 - 주풍향을 고려한 배치
	건물계획	형태	외피 면적비 최소화	- 건물의 장단변비 고려 - 건물의 층고 고려
		평면계획	부하특성에 따른 조닝	- 실의 기능, 운영스케줄에 고려
			완충공간	- 발코니, 온실
		건물외피및재료계획	자연형 태양열시스템	- 부착온실, 축열벽
			자연채광	- 천창, 광선반, 모니터창, - 내·외부 차양
			자연통풍	- 개구부의 위치 및 형태, 크기 계획
			단열 및 기밀성 향상	- 벽체 및 지붕 단열 계획 - 고기밀, 고성능 개구부
			통합외피 계획	- 아트리움 - 이중외피
			건물 녹화	- 입면 및 지붕녹화
설비부하절감	설비계획		통합 조명	- 조광장치
			설비 효율 개선	- 고효율 설비기기 이용 - 배관 및 덕트 단열
			폐열회수	- 전열교환기
	유지관리		자동제어 시스템	- 거주자센서 - 자동소등장치 - 조광제어 시스템
			커미셔닝	- TAB (Testing Adjusting and Balancing) - 지속적인 점검 - 운전관리교육

4.2 재생에너지 활용기술

Zero Emission Building 디자인에 있어서 재생에너지 시스템의 적용은 필수적인 요소이다. 왜냐하면 에너지 절약 전략만으로는 Zero Carbon Emission을 달성할 수 없기 때문이다. 따라서 재생에너지 시스템은 반드시 에너지 절약요소기술로도 절약하지 못하여 발생하는 부하를 감당할 수 있도록 에너지 수요에 따른 공급패턴 매칭이 디자인되어야 한다. 그 외에도 재생에너지시스템을 건물에 적용할 때는 건축통합방안, 경제성 및 효율, 정부의 지원정책 등을 반드시 고려해야 한다. 표 4는 적용 가능한 재생에너지시스템의 특징을 나타내는 표이다. 대부분의 재생에너지시스템은 약 50%이상의 정부지원이 이루어지고 있으며, 특히, 태양광, 태양열, 풍력의 경우에는 시스템 적용을 촉진하기 위하여 그 이상의 정부지원이 이루어지고 있다. 초기투자비용 회수기간은 5-20년으로서 대부분의 시스템이 경제성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 풍력의 경우에는 위치에 따라 에너지밀도가 불균형하여 도시에서의 적용률은 매우 낮은 편이다. 따라서 건물에 적용할 때에는 태양광, 태양열, 지열시스템이 적정할 것으로 판단된다.

5. Zero Emission Building의 디자인 프로세스

5.1 일반 건축디자인 프로세스

기존의 디자인 프로세스는 Zero Emission Building을 디자인하는 데에는 여러 가지 이유에서 적합하지 않은 것으로 판단된다.

기존의 디자인방법은 건축공사 비용이 의사결정이 대부분을 차지해 왔으며, 에너지의 효율 및 CO_2 배출량 절감은 디자인 결정을 위한 항목에서 보류되어 온 것이 사실이다. 또한 건축가 및 엔지니어가 건물의 에너지효율 및 CO_2 배출량 절감에 대한 필요성을 인식하고 있다 하더라도 객관적인 데이터와 고려사항을 바탕으로 하기보다는 경험 및 직관으로 에너지절약요소기술 및 재생에너지시스템을 선택하는 경향이 있으므로 새로운 기술이나 건물 디자인에 적절한 기술요소를 선택하기에 어려움이 있다. 또한, 기존 디자인 프로세스는 에너지효율 및 CO_2 배출을 고려하기 위한 평가항목이나 단계를 포함하지 않고 있기 때문에, 건축가 및 엔지니어들은 ZEB 디자인을 진행시킬 때, 그 방법을 모르거나, 어떤 결과물이 도출되어야 하는지 파악하지 못하는 경우가 많다.

표 4. 신재생에너지 시스템 선정을 위한 분석결과

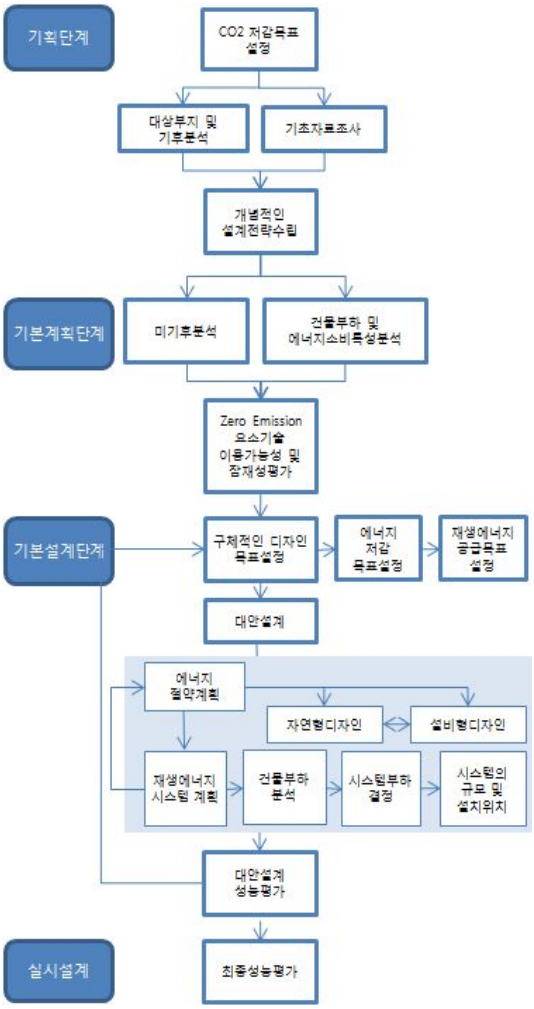
구분	태양광	태양열	풍력	지열	바이오에너지
에너지원	태양광	태양열	바람	지표열	바이오매스
산출에너지	전기 에너지	열 에너지	전기 에너지	열 에너지	열・전기 에너지
시스템용도	온수	발전	발전	냉난방급탕	열
사용시간	일광시	일광시	바람이 불 때	항상	
권장지역	일조량이 많은 지역	일조량이 많은 지역	바람이 많은 지역, 일정한 풍향	전국적으로 가능	매립지 주위
국내여건	태양에너지밀도 낮음	태양에너지 밀도 낮음	바람에너지 밀도 낮음	지중열 조건은 전국이 비슷함	
보급도	◎	◎	◎	○	×
정부지원	70~80%	50%	70%	50%	50%
투자비 회수기간	8~18	5~10	9	4~8	10
설비규모	중형	중형	초대형	대형	대형
적용성	상	중	하	중	하
비고	발전차액지원	급탕 설비 대체 (보조열원필요)	발전차액지원	비교적 짧은 투자비 회수기간	발전차액지원

◎ : 매우 높음, ○ : 높음, △ : 보통, × : 낮음

5.2 ZEB 디자인 프로세스

기존 건축 설계 프로세스와 달리 Zero Emission Building의 디자인 프로세스는 연속적인 선형의 형태를 띠지 않으며, 각 단계에서 CO_2 저감량 평가 및 피드백을 반복한다. 그림 1은 Zero Emission Building의 설계 프로세스를 도식화하여 보여준다.

그림 1. Zero Emission Building 디자인 프로세스



5.2.1 기획단계

기획단계에서는 건물의 CO_2 저감목표를 설정하는데, 건물용도에 따라 에너지 소비량이 다르므로 그 목표를 달리할 필요가 있다. 아래는 건물의 에너지 소비량 목표 설정에 필요한 식이다.

건물의 에너지 소비량 =
계획건물의 연면적(㎡) ×
건물 용도에 따른 바닥면적당 에너지 소비량

대지 및 기후분석을 통하여 부지의 잠재력을 평가하여 기초자료로 활용하여, 대상부지에 적용되는 건축법규 등을 함께 조사한다.

5.2.2 기본계획단계

이 단계에서는 건물부하 및 에너지 소비특성을 분석하고, 기법 및 시스템분석의 이용가능성 및 잠재성을 평가한다. 건축물은 기능에 따라 각각 에너지소비특성이 다르고 그에 따라 각각 다른 에너지 소비 최소화 전략이 적용되는 것을 주의하여야 한다. 따라서 구체적인 성능목표를 결정하기 위하여 대상건물과 같은 조건을 갖는 일반적인 건물들을 기본사례로 선정하고, 에너지사용과 비용에 관한 성능을 분석을 실시하여 예상되는 연간에너지부하를 산출한다. 건물부하 및 에너지 소비특성을 분석에 따라, 요소기술을 선택하며 재생에너지 시스템의 효과와 잠재력을 분석하기 위하여 간단하면서도 재생에너지 시스템 전문 컴퓨터 프로그램을 사용할 수 있는데, 국내에서는 일반적으로 RETscreen International과 Energy-10[1]을 사용하고 있다.

5.2.3 기본설계단계

이 단계에서는 전체 목표를 달성하기 위해 주요 기술을 건축 디자인에 통합시키는 작업

1) IEA(International Energy Agency) Sub Task 23에서 USDOE(US Department of Energy)의 지원을 받아 NREL(National Renewable Energy Laboratory), LBL(Lawrence Berkeley Laboratory)등의 공동연구로 개발된 건물에너지 해석도구이다. 건축물의 초기 설계과정부터 재생에너지 활용기술의 적용에 의한 에너지 절감량 평가 및 환경부하 저감 효과 등이 정량적으로 예측 가능하다.

으로 기본계획 단계에서 만들어진 자료를 기초로 사용한다. 초기 설계목표와 부지 및 건축 부하 특성 분석을 바탕으로 각 요소기술의 에너지 절감, 에너지 비용 절감, CO_2 저감량 등을 검토하며, 구체적인 설계목표를 설정한다. 건축계획 설비시스템을 계획한 후에는 건물의 에너지 소비량 및 CO_2 저감량을 예측한다. 이때 건축물의 전체적인 에너지 계획의 통합성능을 분석하기 위해서는 에너지 해석 프로그램이 필수적이다. 국내에서는 대표적으로 DOE, TRNSYS, ESP-r, HASP, Energy-Plus 등이 사용되고 있다. 주요 건축물 에너지해석 프로그램에 대한 알고리즘 및 특징, 입출력 데이터에 대한 프로그램의 특성은 다음 표 5[2]와 같으며 건물의 CO_2 배출량을 구하는 식은 아래와 같다.

표 5. 주요건물 에너지해석 프로그램의 특징

특징	e-Quest	Energy-Plus	TRN-SYS	ESP-r	HASP
연간 에너지 소비량 해석	○	○	○	○	○
새로운 건축구조 해석	△	○	○	○	△
새로운 시스템 및 열원의 해석	×	○	○	○	×
시간별, 동적 에너지 해석	○	○	○	○	○
지속적인 개발	×	○	○	○	△
자료 입·출력의 용이성	△	△	△	△	△
컴퓨터 환경	WIN	WIN	WIN	UNIX	WIN

○: 가능, △: 보통, ×: 불가능

화석연료 사용에 의한 건물의 CO_2 배출량
= 화석연료 소비량 × 석유환산계수[3] × 탄소배출계수 × CO_2 환산계수[4]

전기에너지 사용에 의한 CO_2 배출량
= 건물의 전기에너지 소비량 × 탄소배출계수 × CO_2 환산계수
= 건물의 전기에너지 소비량 × 0.4836(KgC/kwh)[5]

재생에너지 시스템의 경우, 재생에너지 시스템의 담당부하를 산정하기 위하여 재생에너지시스템의 가능공급량 및 공급패턴을 분석한다. 이때는 재생에너지시스템의 건물통합계획도 함께 고려되어야 만 생산할 수 있는 에너지량을 결정할 수 있다. 재생에너지 시스템에 따라 공급량 및 패턴에 특징이 있으므로 이를 에너지수요와 매칭하는 것이 중요하며, 이때 매칭분석을 함께 실시하여 재생에너지 시스템을 구체적으로 계획한다. 계획 후에는 에너지 절약계획 성능평가와 마찬가지로 에너지해석 프로그램을 사용하여 공급량을 파악하고, 다음 식을 사용하여 CO_2 저감량을 평가한다.

재생에너지 시스템의 연간 발전량(kWh)
= 재생에너지 시스템의 발전량(kW) × 8769h × 이용률(%)
연간 CO_2 저감량($kgCO_2$)
= 재생에너지 시스템의 연간 발전량(kWh) × CO_2 배출계수

5.2.4 대안평가

목표 및 성능을 만족하지 못하는 결과가 나올 경우, 기본계획 및 기본설계 과정으로 돌아가 피드백 및 대안을 제시하는 단계이다.

건물의 CO_2 배출량
= 건물의 CO_2 배출량 - 재생에너지 시스템의 CO_2 저감량

5.2.5 실시설계

각 대안의 평가를 통해 설계안이 최종 결정되면 실시설계가 이루어진다. 이 단계에서는 최종적인 설계도면과 시방서를 작성하고 초기 설계목표에 적합하지 않는 계획요소가 적용되지 않도록 신중하게 검토한다.

2) 정영선 외(2005), 성능베이스에 의한 건축물 에너지 절약 관리기법 개발 방안에 대한 기초연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집
3) 에너지원별 발열량 1kg - 10,000 kcal로 환산한 값
4) 44/12[CO_2분자량/탄소원자량]
5) 0.1319(C Kg/kwh) × (44/12)

6. 결 론

본 연구에서는 건축분야의 온실가스 저감을 목적으로 건물의 CO_2 배출량 최소의 개념으로서 Zero Emission Building의 개념을 정립하고 사례 및 관련자료 조사를 통해 요소기술 및 적용기법을 분석하였다. 이를 바탕으로 Zero Emission Building의 디자인 프로세스를 제안함으로써 건축설계분야의 실무에서 사용가능한 기초자료를 제공하고자 하였다.

Zero Emission Building은 건물 운영단계에서 CO_2 배출량'0(zero)'를 목표로 하는 건축물이라 정의할 수 있으며, 외부로부터 화석에너지를 공급받지 않고 건물에서 사용하는 에너지의 수요와 재생에너지 생산량이 균형을 이루어 궁극적으로 실질적인 CO_2 배출량을 최소로 만드는 것을 목표로 한다.

Zero Emission Building의 요소기술은 크게 에너지절약요소기술과 재생에너지 활용기술로 분류할 수 있다. Zero Emission Building의 계획방법은 건물의 부하특성에 적합한 에너지 절약 및 재생에너지 요소기술을 선별하고 건축단계별로 각 요소기술을 적용하기 위해 적합한 디자인 프로세스가 필요하다.

본 연구에서는 건물에 적용되는 각 요소기술의 분석내용 및 기존 건축 프로세스를 바탕으로 건물의 환경성능 및 에너지 성능에 가장 큰 영향을 미치는 설계단계에 초점을 맞추어 Zero Emission Building의 디자인 프로세스를 제안하였다. 기존 디자인 프로세스와 달리 각 단계별 CO_2 저감량 평가 및 피드백이 이루어지도록 구성하였으며, 대안설계를 통해 최적 설계안을 도출 할 수 있도록 구체화하였다.

후 기

이 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구산업임(No. 2009-0080040)

참 고 문 헌

1. 정영선 외(2005), 성능베이스에 의한 건축물 에너지 절약 관리기법 개발 방안에 대한 기초연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집
2. 원종서 외(2005), 3리터 하우스 설계를 위한 건축요소의 에너지성능평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 v.25 n.1
3. 박선효 외(2005), 초에너지 절약형 건물 3L House의 주요 적용 기술, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 통권9호
4. 한국건설기술연구원(2004), 건축물의 에너지효율화 강화방안 연구, 산업자원부
5. 건축물 에너지 절약 설계기준, 건설교통부
6. 한국건설기술연구원(2004), 한국에너지기술연구원, 총량베이스 건축물 에너지 절약 관리기법 개발 연구보고서(1차년도 중간), 건설교통부, 한국건설교통기술평가원
7. 에너지 경제 연구원 (2004), 기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구
8. 오진규 (2004), 지속가능발전을 위한 에너지부문 전략 연구, 에너지경제연구원
9. 에너지관리공단 (2003), 온실가스 저감량 산정방법에 대한 평가분석툴 연구
10. 김수현 (2002), 생태학적 접근방법을 이용한 건축디자인 프로세스에 관한 연구, 상명대학교 대학원 석사학위 논문
11. 강소연 (2002), 공동주택단지 내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문