

친환경 공동주택 구현을 위한 저에너지 설비시스템 통합설계 방안 및 파일럿 프로젝트 계획

조진균[†], 성재호, 신선준, 홍민호
(주)한일 엠이씨 부설 기술연구소

A Pilot Project on the Integrated System Design for Developing the Sustainable Housing Model

Jin-kyun Cho[†], Jae-Ho Sung, Seon-joon Shin, Min-ho Hong

R&D Institute, Hanil M.E.C., 15-1, Yangpyeong-dong 3-ga, Yeongdeungpo-gu, Seoul, Korea

ABSTRACT: Sustainable housing design can contribute to dramatically reduced energy usage and can be applied to all new building projects. This paper explores the potential in Korea of applying available energy efficient building technologies. The objective was to determine the degree of energy reduction that can easily be achieved in new building design. The pilot project is providing some prototypes with display units which incorporate principles of sustainable design and performance utilizing the eco-design objectives. This building challenges ingrained preconceptions about system designs for four energy saving levels(40%, 60%, 80% and zero energy) and exposes barriers to low energy buildings posed by new standards and guidelines.

Key words: 저에너지 친환경 공동주택(Sustainable Housing), 파일럿프로젝트(Pilot Project), 저에너지 시스템(Low-energy System), 시스템통합설계(Integrated System Design)

1. 서론

최근 지구환경의 위기에 대비하여 산업 활동의 각 단계에서 단순히 에너지 및 자원을 절약하는 차원을 넘어 환경보전 및 생태질서를 회복하려는 움직임이 활발하다. 세계 각국이 화석연료 사용을 지양하는 친환경 주택인 그린홈(Green Home) 개발에 초점을 맞추고 있는 것도 같은 맥락이다. 특히 유럽선진국과 일본 등을 중심으로 환경친화적인 에너지 및 자원의 단계적 재이용 등 순환이용을 위한 기술개발에 적극적이다. 이러한 기술개발은 건축물의 내구성 향상뿐만 아니라 친환경 건축재료, 에너지 절약기술, 재이용 시

스템의 적용 등 에너지·자원의 효과적인 활용과 오염물질의 발생을 최소화하기 위한 연구 및 지원을 포괄적으로 포함하고 있다. 에너지는 국가 산업이 발전함에 따라 필연적으로 소비가 증가하는 특징이 있으며 자원의 97%를 수입에 의존하는 우리나라도 예외는 아니어서 70년대 이후 지속적인 경제성장으로 에너지소비량도 계속 증가해왔다. 최근에는 정부가 주관이 되어 녹색성장을 이루기 위한 방안으로 그린홈 백만호 프로젝트를 내놓으며 친환경 공동주택에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 실용화단계의 테스트베드 전단계인 파일럿 프로젝트에 적용된 다양한 건축기술 및 시스템 통합설계방안을 고찰함으로써 지금까지 정립되지 않은 국내의 저에너지 친환경 공동주택의 기준모형을 제안하는 데 목적이 있다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-6340-3025; fax: +82-2-6340-3039

E-mail address: jinkyun.cho@himec.co.kr



Fig. 1 Pilot project building

2. 친환경 공동주택 파일럿 프로젝트 개요

건축분야 연구개발에서 가장 어려운 문제점은 개발된 기술을 실물 실험을 통해 검증해야 하는 것이라고 할 수 있다. 검증작업을 통하여 연구개발된 기술이 효과적으로 목표에 도달하는지, 실제 적용 시에 발생할 수 있는 문제점은 없는지 최종적으로 판단할 수 있기 때문이다. 기존의 친환경 요소기술 연구에서 mock-up 실험은 이루어졌지만 통합적으로 하나의 주택에 복합 적용하여 검증할 수 있는 기회는 지금까지 없었다. 이에 따라 관련 요소기술을 하나로 통합하여 검증하고, 향후 상용화할 수 있는 시스템을 완성할 수 있는 실험동이 필요하게 된다. 선진국에서는 이미 오래전부터 저에너지 주택의 건설이 지속적으로 이루어지고 있다. 독일의 경우 40% 수준의 에너지만을 이용하는 저에너지 건물이 일반화되었고, 또한 여기에 1/6의 에너지만을 사용하는 패시브 하우스 등의 건설도 늘어나고 있다. 본 파일럿 프로젝트는 40%의 에너지 저감을 넘어서서, 단계별 에너지 저감 수준 다양하게 적용하여 에너지 평가모델과, 비교측정을 위한 기본모델로 구성하였다. 궁극적인 목적은 요소기술과 통합설계기술을 접목하여 지속적인 모니터링을 가능케 하는데 있다. 파일럿 프로젝트의 외부공간과 건축적 요소기술은 단지 내 수순환, 구조체 단열강화, 지능형 외피시스템, 옥상 및 측면녹화, 가변형벽체, 친환경 마감재료 등이 적용되어 실질적으로 건물부하 및 환경부하를 감소시키도록 하였다. 외부공간과 건축적인 요소에서 1차적으로 부하를 저감시킨다면 이후 설비시스템에서 담당하는 부하도 비례적으로 감소되며 추가적으로 시스템

방식이나 효율향상을 통해 2차적인 에너지 저감이 가능하게 된다는 개념이다.

(1) 단지 및 외부공간 계획

건축물 옥상부에는 green roof system 녹화유닛을 경사형지붕 및 평지붕에 적용하며, 건축입면에는 와이어 등의 등반보조재와 덩굴식물을 이용한 벽면녹화기술을 적용하여 시각적인 녹시율도 높인다. 식재계획에는 교목류 식재를 통해 건축물 및 포장면의 반사열, 복사열을 감소시키는 한편 관목과 초화류를 혼합식재하는 다층식재기법을 적용하여 다양한 생물서식환경 조성, 미기후 조절, 소음경감 등의 효과를 볼 수 있도록 계획하였다. 외부공간 중 가장 중요한 요소인 수순환 관리체계는 단지 내에서 최대한의 빗물을 저류, 침투, 이용하여 외부유출을 감소시킬 수 있는 유출저감시설들을 도입한 분산식 빗물처리 기법을 적용할 계획이다. 또한 자연배수체계를 도입은 빗물을 지하로 침투시켜 지하수로 환원시키고 저류된 빗물은 표면 및 식물의 증발산 과정을 통하여 단지표면 온도상승저하와 대기정화에 도움을 준다.

(2) 건축계획

건물구성은 크게 실험을 위한 5세대와 기계·전기설비의 유틸리티 관련실 그리고 모니터링과 연구를 위한 공간으로 계획되었다. 저층부는 데크화하여 기단부를 형성하고 우수차집을 위한 중간경로로 이용이 가능하다. 단위세대부는 태양열 집열판을 설치한 발코니와 분리형 발코니를 계획하여 변화되는 입면형성을 반영하였으며 외단열 기법을 적용하고 우수한 성능을 갖는 단열재를 개발 적용하였다.

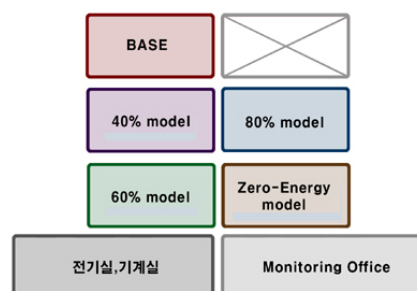


Fig. 2 Conceptual block diagram of a pilot project



Fig. 3 An unit plan of pilot project building

상층부는 평지붕과 경사지붕의 다양한 형태로 계획하고 옥상정원을 설치하였다. 마지막으로 각각의 유닛세대는 기동식 및 가변형 구조로 전면 4-bay로 구성하였다. 기본적으로 자연환기가 유리한 평면형태와 친환경 자재로 실내마감을 계획하였다.

3. 파일럿 프로젝트 설비시스템 요소기술

파일럿 프로젝트에 적용된 설비시스템 요소기술은 크게 열원공급, 냉·난방, 환기 및 전력시스템으로 기존의 상용시스템과 차별된 기술과 상호간 통합계획을 통한 에너지 효율을 극대화하는데 목적이 있다. 주요기술은 다음과 같다.

(1) 중수시스템

세대에서 발생하는 중수를 자체적으로 처리하여 재활용함으로써 하수처리장으로 집중되는 오염부하율을 줄임과 동시에 수자원 절약이 가능하다. 적용공법은 일반적인 활성 슬러지 공법이 아닌 UV-titanium ball-membrane-ozone을 이용하여 처리시설의 면적을 줄였으며 처리효율 또한 높였다.

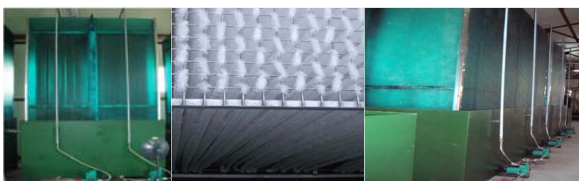


Fig. 4 Grey water system

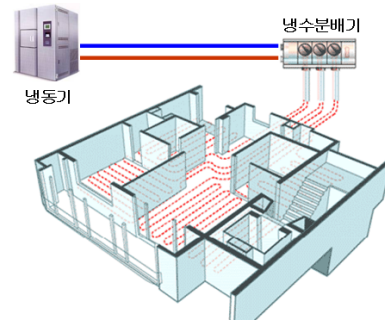


Fig. 5 Floor cooling and heating system diagram

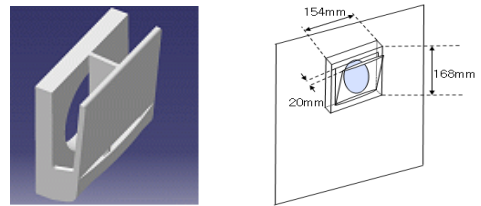


Fig. 6 Shapes of natural ventilation inlet

(2) 복사 냉·난방 시스템

바닥 복사패널과 제습형 보조냉방기는 동일한 열매체(냉수)를 사용한다. 그러나 복사패널과 제습형 보조냉방기에 요구되는 냉수 온도가 다르기 때문에 냉수공급 및 분배 방법에 따라, 복사패널과 제습형 보조냉방기용 냉수 배관을 분리하여 세대에 공급해 주는 방안(2 line system)과 복사패널과 제습형 보조냉방기용 냉수 배관을 통합하여 세대에 공급하고 세대 내에서 분리하는 방안(1 line system)으로 구분하여 적용할 수 있다.

(3) 하이브리드 환기 시스템

동일한 환기량으로 실내의 공기분배 성능을 높임으로써 에너지 절약을 꾀할 수 있다. 적정환분배를 통하여 환기효율을 높일 수 있는데 이를 위해서는 급·배기구의 위치와 형상이 중요하다. 환기유닛과 함께 자연급기구 및 정풍량 배기팬을 구성하여 하이브리드 환기가 가능하도록 하였다. 자연환기의 구동력만으로 설정풍량이 만족되지 못하는 조건에서는 부족한 만큼의 풍량을 보충해 주기 위하여 팬을 작동시킴으로써 상시 가동하는 일반 환기시스템에 대하여 상대적으로 팬의 가동 시간을 줄일 수 있다.

(4) 재생 에너지 시스템

재생에너지 시스템은 크게 지열시스템, 태양열

과 태양광 시스템을 중심으로 적용하였다. 기존의 냉방과 난방의 열용량 균형을 합리적으로 보정하기 위해 우수열을 추가적으로 활용하는 시스템을 구축하였다.

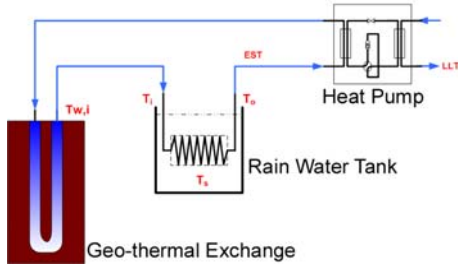


Fig. 7 Rain water + geothermal heat pump

태양에너지 시스템은 크게 태양열 급탕 시스템과 태양광 전지로 구분하여 적용하였다. 일반적으로 공동주택에는 공용부에 주로 적용되었지만 단위세대 내에 설치가 가능하도록 발코니부분에 개발 시스템을 제안하였다.

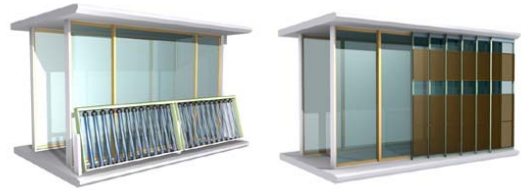


Fig. 8 Solar heating system and BIPV

Table 1 Unit models of the pilot project building

Energy Reduction Model	Base Model	40% Reduction	60% Reduction	80% Reduction	Zero Energy	
Heating	System	Radiative Floor Heating				Radiative Heating
	Pipe Type	PB	PB	PB	PB	Capillary
	Heat Transfer	Hot Water(60°C)	Hot Water(60°C)	Hot Water(55°C)	Hot Water(45°C)	Hot Water(40°C)
	Control	On/Off Control	On/Off Control	On/Off Control	Fuzzy Control	-
	Heating Plant	Boiler (Simulated District Heating)			Rain + Geothermal Heat Pump	
Cooling	System	EHP	Ceiling Cassette Type FCU	Radiative Floor Cooling + DX Dehumidifier		Radiative Cooling
	Pipe Type	-	-	PB	PB	Capillary
	Heat Transfer	Refrigerant	Chilled Water(10°C)	Chilled Water(16°C)	Chilled Water(18°C)	Chilled Water(20°C)
	Control	Individual / Master Control		Dehumidifier Link On/Off Control	Fuzzy Control	-
	Cooling Plant	-	Reciprocating Water Chiller (Simulated District Cooling)		Rain + Geothermal Heat Pump	
Pipe Pitch(mm)	250	200	200	150	-	
Outdoor Reset Control	X	○	○	○	○	
Domestic Hot Water	Solar System	X	○	○	○	○
	Back-up	Boiler (Simulated District Heating)			Rain + Geothermal Heat Pump	
Ventilation System	Air Change	0.7 ACH/h	0.6 ACH/h	0.5 ACH/h	0.4 ACH/h	0.4 ACH/h
	System	Active	Hybrid (Mechanical + Natural Ventilation)			
	Ventilation Unit	○	○	○	○	○
	Ventilation Inlet	X	○	○	○	○
	Exhaust Fan	X	○	○	○	○
	HX Efficiency	-	-	60%	60%	65%
	Dehumidifier	-	-	-	Integrated DX Dehumidifier	
Grey Water/Rain Water	X	○	○	○	○	
		Grey Water: 3ton/day / Water Tank: 20ton				
PV System	Public Area	X	○	○	○	○
		2.8kW		5.25kW		
	Unit	X	X	○	○	
Lighting System	X	Fluorescent Lamp			LED Lamp	
		2.8kW		2.8kW		

4. 파일럿 프로젝트 설비시스템 통합설계

건물의 에너지 성능은 설비시스템의 방식이나 효율보다는 건물부하의 감소에 큰 영향을 받는다. 따라서 본 건물은 건축적으로 부하를 최대한 감소시켰기 때문에 보다 효과적으로 설비시스템을 적용할 수 있었다. 파일럿 프로젝트에 복합적으로 적용된 시스템 구성은 Table 1과 같다.

(1) 열원 및 냉·난방 시스템 구현

각 대안별 기본적인 에너지공급은 지역열원이 공급된다는 전제로 중앙공급방식으로 구성하였다. 냉·난방 시스템은 EHP에서 천장형 FCU, 바닥복사 냉·난방과 capillary tube를 이용한 최첨단 복사 냉·난방까지 다양한 방식들이 실험적으로 적용되었다. 기본모델의 냉방을 제외한 2차측 시스템의 열매체공급을 위한 열원설비는 크게 2가지로 구성하였다. 지역열원(온수, 냉수)공급 방

식을 모사하기 위한 냉동기 및 전기보일러와 신·재생에너지인 지열히트펌프 시스템이 적용되었다. 본 시스템은 기존의 지열히트펌프에 우수열을 활용하는 시스템으로 발전시킨 것이 큰 특징이다. 각각의 세대가 요구되는 냉수와 온수의 조건이 모두 상이하기 때문에 정확한 제어를 구현하는 것이 쉽지 않다. 향후 시공단계 및 완공 후 테스트와 조정과정이 반드시 필요하다. 특히, 제로에너지 모델의 냉·난방 시스템은 열효율이 매우 우수한 capillary tube 시스템이기 때문에 별도의 열원에서 에너지를 공급받는 않고 지중내의 열매순환으로 에너지를 획득하는 low-tech 시스템을 구성하였다. 각 세대의 에너지소비평가를 위해서 열원공급은 각각의 모델조건에 부합하도록 일정한 온도와 유량의 냉·온수를 공급할 수 있도록 하였다. 또한 세대별로 열원을 분리할 수 없기 때문에 각각의 정밀한 온도, 유량조건을 만족시키기 위해 1,2차 존펌프 시스템을 구성하였

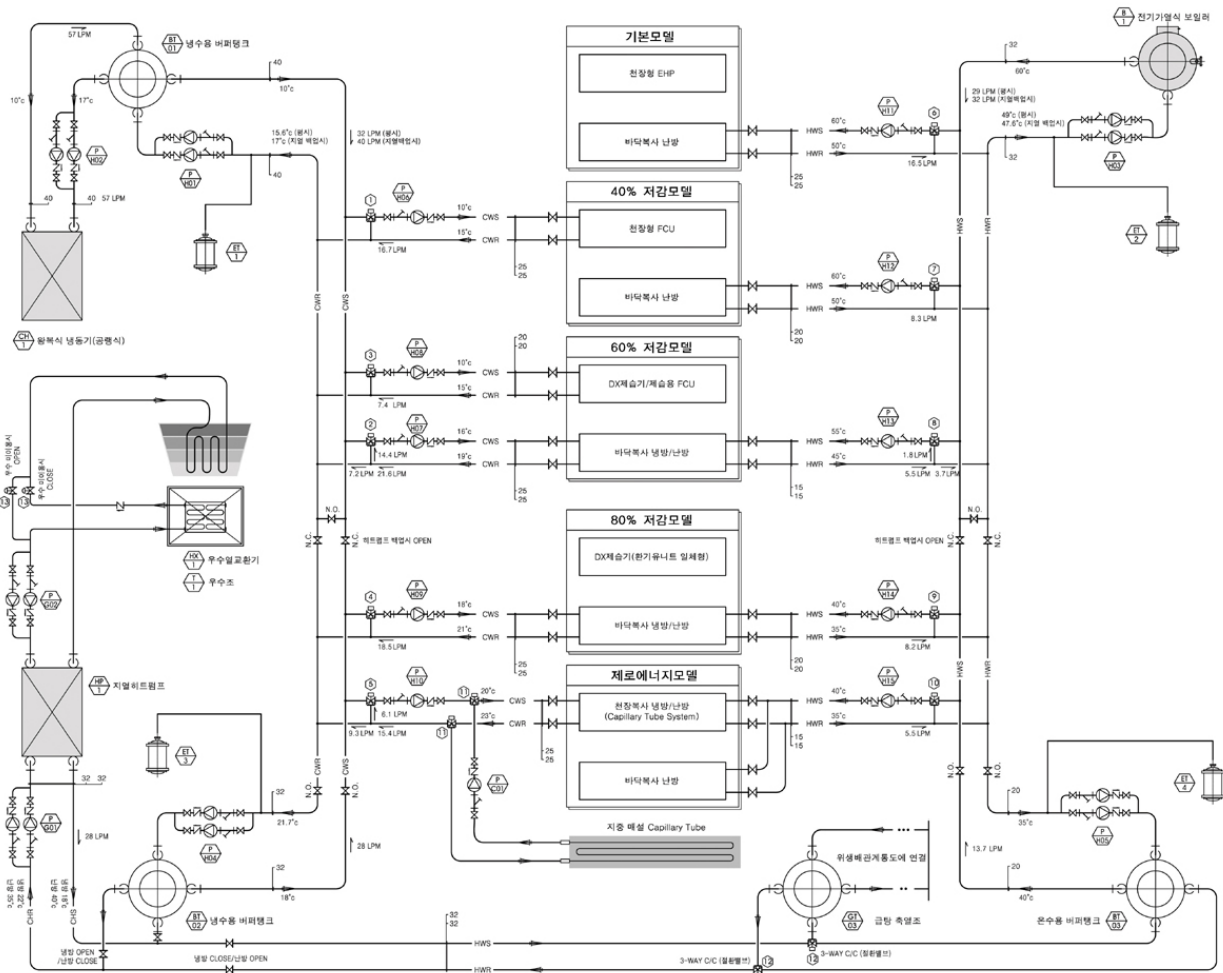


Fig. 9 Full diagram for hybrid HVAC and central plant systems

다. 세대로 공급되는 배관은 냉·온수의 유량편차가 커서 3-way 컨트롤밸브를 통한 신뢰성 확보에 중점을 두었다. 2차측 시스템 제어는 개별 제어에서 fuzzy제어까지 각 시스템에서 최적의 운전성능을 확보할 수 있도록 하였고 1차측에는 외기보상제어도 적용하였다. 실제로 건축요소로부터 부하가 저감되었으나 냉·난방의 부하비율 차이가 커지게 되어 공급열원의 유량차이도 동일하게 발생한다. 따라서 일부세대에 배관을 분리하여 4-파이프 방식이 적용되었는데 향후 실용화단계에서 이러한 유량 편차발생을 극복하는 것이 중요한 과제이다.

(2) 위생설비 구성계획

기본모델을 제외한 모든 모델에 태양열급탕시스템이 세대 내부에 설치된다. 원칙적으로는 에너지 저감이 높은 단계에서는 보다 집열효율이 높은 시스템이 적용되는 것이 당연하다. 그러나 현재의 기술수준을 고려하여 향후 기술개발을 통해 효율이 높은 시스템을 적용하는 것으로 가정하였다. 또한 기후조건에 따라 태양열급탕의 효율 저하시 대체가능한 백업시스템이 필요한데 이는 열원 시스템과 동일한 구성을 갖는다. 중수시스템은 중수의 원수가 되는 계통과 배수되어 외부로 배출되는 계통을 분리하였고 중수처리시스템을 거친 용수는 수조로 이동하여 다시 세대의 소요처로 재활용된다. 또한 건물에서 발생하는 우수를 채집하여 조경용수 또는 중수로 재활용할 수 있도록 우수조와 중수조를 통합하였다. 수자원 재활용 시스템도 향후 중수처리 뿐 아니라 오·배수를 모두 처리하여 단지외부로 배출하는 폐기물량을 최소화해야 한다.

(3) 전력 및 조명 시스템 구성

건물에서 사용하는 에너지 중 조명 및 콘센트 전력 사용량이 냉·난방과 더불어 많은 부분을 차지하고 있다. 국내 공동주택은 현실상 제로에너지 구현이 어렵다. 따라서 에너지 절감수준이 아니라 에너지를 생산할 수 있는 아이템으로 태양광발전 시스템을 적용하였다. 크게 적용처에 따라 그 수준을 설정하였다. 그리고 조명시스템은 80% 저감 및 제로에너지 모델에 한하여 LED 조명시스템을 적용하였다. 전력시스템 설계에 있어서 파일럿 프로젝트의 효율적인 전력사용량 모니

터링을 위하여 전등과 콘센트 인입을 구분하고 계측도 별도로 가능하도록 구성하였다.

5. 결 론

친환경 공동주택 파일럿 프로젝트는 미래주택의 프로토타입 제시를 목표로 하고 있다. 또한 복합적인 시스템이 조합된 실험주택이기 때문에 다양한 실험과 시도가 수행될 예정이다. 각각의 요소기술, 설계기술을 통합적으로 하나의 실증건물 안에서 구성되고 완성된 결과물으로써 큰 의의를 찾을 수 있다. 물론 여기에 적용된 기술 또는 에너지저감 모델의 대안들이 미래 주택의 표준이 된다고 단정하여 말할 수는 없다. 그러나 여러 기술들이 동시에 공동주택에 적용되었을 때의 효과를 지속적으로 모니터링하고, 보완해 나가기 위한 여건을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(06건설핵심B02)에 의한 연구결과의 일부이며 국토해양부에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Cho J.K. *et al*, 2008, The Mechanical System Integrative Design Strategies for Developing the Sustainable Housing Model, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.24 No.8.
2. Jeong C.H. *et al*, 2007, Cooling Load Analysis of Residential Buildings for Dehumidification/Sub-Cooling Systems in Radiant Cooling, SB07 Seoul Conference
3. Architects' Council of Europe, 2001, A Green Vitruvius / Principles and Practice of Sustainable Architectural Design, James & James
4. Dirk U. Hindrichs, Klaus Daniels, 2007, Plus Minus 20°/40° Latitude / Sustainable Building Design in Tropical and Subtropical Regions, Schuco