난방을 비롯한 공기조화의 자연조절 방식과 현대적 응용에 관한 고찰

A Study on the Passive Principle and its Practical Application of Air-conditioning System

박 순 관*
Park, Soon Kwan

Abstract

The objective of this study is to observe today's situation and direction in relation with the natural air-conditioning and heating system to expand the architectural utilization of natural management for human comfort and energy conservation in architectural design. Also this study to provide the fundamental knowledge and design-techniques on environment-friendly architecture in connection with 'natural idea in architecture'.

In accordance with this intention, this thesis is composed of the following contents : 1) to understand the fundermental concepts about natural air-conditioning and heating system, 2) to review the traditional characteristics in Korean and Southeast Asian architecture related to natural air-conditioning and heating system, 3) to examine modern design-techniques in relation with natural air-conditioning and heating system in the selected area, 4) to attempt to synthesize the whole situation.

Environment-friendly architecture using natural ideas and design-techniques in architecture is very important architectural aspect in a current architecture, also for the future. In spite of general considerations, it is expected that this study is use to understand the principle and practical application of natural air-conditioning and heating system in architectural design.

키워드 : 공기조화, 복사난방, 자연조절, 친환경건축, 건축계획기법, 자연통풍
Keywords : Air-conditioning, Radiant heating system, Passive control, Natural control, Environmental-friendly Architecture, Architectural planning technique, Natural ventilation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업사회 이후 야기된 환경 공해와 에너지 문제에 대한 지구적 차원의 관심과 사회적 자각이 커지면서 건축도 그와 관련된 내용적 변화를 겪게 되었다. 그것은 일차적으로 환경 개발과 건축물 건립에 따른 환경 파괴를 최소화하고, 건축물의 운영과 관리에 필요한 에너지 부하를 가능한 한 줄이는 데서부터 시작되었다.

요즘 건축설계 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 친환경적(혹은 생태적) 건축계획 기법은, 이러한 자각에서 비롯된 것으로, 건축계획에서 자연 조건을 최대한 끌어들임으로써 건축물 자체의 에너지 부하를 줄임과 동시에 쾌적한 거주공간을 조성하는 데 그 목적을 두고 있다. 자연친화적 건축계획이 현대건축의 가장 중요한 측면으로 부각되면서 이에 대한 연구가 다양한 각도에서 이루어지고 있으며, 이를 활용한 건축물의 건립도 점차 증가하고 있는 추세에 있다.

* 정회원, 탐라대학교 건축학과 조교수, 공학박사

하지만, 그 중요성에 비해, 현실적으로 건축설계 실무에서 실질적인 건축계획 기법으로 활용되거나 구체적인 계획지식(計劃知識)으로 응용되고 있다기보다는 원론적인 수준에서 이차적인 참고사항으로 간주되고 있는 현실이다. 이는 건축가들이 자연친화적 건축의 기본 원리와 각론적 기법들에 대한 명확한 이해가 부족한 상황에서 그와 관련된 법·제도적 규정이 아직까지 미약할 뿐만 아니라 실무적 측면에서도 비현실적이라고 여기는 경향이 아직까지도 강하게 남아 있기 때문인 것으로 이해된다.[1] 또한 전통적인 기법을 참조하여 현실

1) 우리나라의 경우, 선진국에 비해 에너지절약형 건물과 절약기술의 보급이 매우 저조하고 실효성도 크게 떨어지는 실정이다. 그 가장 큰 이유는 에너지절약형 건물의 경제성에 대한 인식 수준이 외국에 비해 상대적으로 떨어지기 때문이다. 일반적으로 우리나라에서 연구개발된 건물 에너지 절약 기술은 경제성을 도외시하고 단지 기술적 성능만을 고려한 경우가 대부분이고, 설령 경제성이 있는 에너지 절약 기법이라 하더라도 설계자나 시공자 혹은 건축주나 일반인들의 경제적 효용성에 대한 인식이 극히 부족하여 에너지절약형 건물의 보급이 매우 미흡한 실정이다(이관호 외, 환경비용을 고려한 건물에너지 절약방안의 경제성 분석방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17권 2호(통권148호), p.217, 2001. 2. 참고).

적으로 활용하는 태도도 미약하다.

이 같은 맥락에서, 본 논문은 자연친화적 측면에서 건축물의 냉·난방을 비롯한 공기조화의 자연적 조절 방법에 관한 전반적인 내용을 검토함과 함께 현대건축에서 나타나고 있는 몇몇 실천적 유형을 고찰하는 것을 주된 내용으로 삼고 있는 바, 각각의 방법과 유형에 대한 과학적 규명이나 설명보다는 자연 공조에 관한 기본 방식을 지역적으로 살펴 그 이해의 폭을 넓히는 데 일차적 목적을 두었다.

1.2 연구의 내용과 범위

자연환경과 연관된 자연적 조절기법을 통한 에너지 절약과 실내공간의 쾌적성 창출은 현대건축의 새로운 지표로 인식되고 있다. 전통건축은 그 자체로서 자연친화적이며, 현대건축을 위한 중요한 참고틀로 역할한다.

이러한 점에서, 전통건축 속에 담긴 건축적 원리와 기법들을 자연친화적 시각에서 살피고, 그것의 의미를 새롭게 되살려 현대건축의 자연성을 보완하는 하나의 기본 가치로 의미화하기 위한 기초 작업이 요구된다.

다시 말해, 전통건축이 지니는 고유의 자연조절 방식(기법)에 관한 내용은 그것이 지니는 일반적인 내용에도 불구하고 현대 시점에서 다시 한 번 강조될 필요가 있다. 또한 우리나라와 자연환경이 다른 나라들로 지역적 범위을 넓혀 살펴봄으로써, 그와 연관된 다양한 개념과 기법의 이해폭을 확대할 필요도 있다. 이 같은 의도에 따라, 본 논문은 다음과 같은 내용과 순서로 이루어졌다.

1) 먼저, 건축과 연관시켜 논의 가능한 자연환경 요소들을 언급하고, 자연환경 조절 측면에서 지니는 효과와 의미를 살폈다.
2) 전통건축에서 나타나는 자연 공조(空調) 관련 원리와 계획기법들을 종합적으로 검토했다.
3) 현대건축에서 활용되고 있는 자연 공조 관련 기법들의 유형과 방식을 개략하고 각각의 효과를 논술했다.
4) 또한 그 과정에서 동남아시아 지역의 자연 공조에 관한 내용을 참고적으로 다루었다.
5) 이상의 내용을 종합·정리하면서 자연공조 계획의 활성화를 위한 향후 과제와 방향을 제시했다.

2. 건축과 환경 그리고 공기조화

2.1 환경과 건축

인간은 광범위한 의미의 환경 속에서 생활한다. 일반적으로 환경은 자연환경과 인공환경으로 나뉠 수 있다.[2] 또한 환경이라는 단어는 역사환경, 문화환경, 사회환경, 지역환경 등과 같이 인류의 역사를 설명하는 개념적 틀에 따라 추상적(정신적)인 의미로 다양하게 쓰이기도 한다.

환경이 내포하는 내용적 의미를 크게 세 가지로 요약·분류하면, 인간생활에 절대적 영향을 미치는 물리적(또는 비물리적) 실체로서의 자연환경, 인간의 일상생활과 연관된 물리적 인공환경(또는 생활환경), 인간의 정신적 측면과 연관된 인문환경 등으로 나눌 수 있을 것이다.

인간은 자신과 접해 있는 환경적 내용에 따라 그 삶의 방식과 생활을 결정한다. 특히, 물리적 실체로서의 자연환경은 인간의 기본생활을 지배하는 가장 중요한 측면이다. 건축에서 환경에 대한 기본 인식은 인간을 둘러싸고 있는 물리적 자연환경을 조절하는 데서부터 출발한다. 건축 행위는 기본적으로 자연환경에 순응하면서 인간생활에 자연적 혜택을 최대한 부여하는 차원에서 이루어지며, 또한 자연으로부터 인간생활을 보호하기 위한 여과 기능을 지니기도 한다. 흔히 자연환경에 대한 '순응(順應)과 대응(對應)'으로 설명되는 이 두 가지 측면은 건축역사의 기본 내용을 이루고 있다.

건축은 자연환경에 대한 이해와 경험의 결과로서 남았으며, 그것을 이루는 방식과 내용은 시대와 사회 변화 그리고 지역과 민족에 따라 다양한 모습으로 나타났다. 그 양상은 자연에 대한 과학적 탐구와 이해를 통해 새로운 세계관을 확립했던 근대 시기를 전후(前後)하여 달리 구분될 수 있다.

근대 사회 이전의 건축은 대체로 자연에 대한 정신적·종교적 이념을 바탕 위에서 물리적으로 순응하는 자세를 취했다. 하지만 근대 사회 이후의 건축에서는 합리와 이성 중심의 사회적 이념과 산업사회의 발전에 따른 물리적 도시환경의 확대 등과 같은 급격한 사회변화 속에서 자연을 개발의 대상으로 삼게 되었고, 발달된 기술력으로 자연에 대응하는 양상을 보여 왔다.

근대 사회 이후에 나타난 이 같은 변화는 결과적으로 심각한 자연환경 파괴와 환경오염을 초래했다. 도시 규모의 확대, 건축물의 고층화, 건축구조와 새로운 재료의 발달 등은 과거의 건축에서 유효하게 응용되었던 자연환경적 의미와 효과를 약하게 만들었다. 건축물은 기계적 설비에 의존한 인위적 조절에 의해 그 성능을 유지하게 되었고, 그에 따른 막대한 에너지 소비는 환경 파괴를 심화시키는 결과로 이어졌다.

최근에 많이 논의되고 있는 자연친화적(또는 친환경적) 건축[3]은, 건축물의 인위적 성능 조절을 자연적 효과를 통해 처리함으로써, 에너지 소비를 줄임과 동시에 인간생활의 자연성과 건강성을 높이기 위한, 그리고 궁극적으로는 원래의 자연환경적 생태계를 회복하여 지구환경의 지속가능성을 높이기 위한 차원에서 강조되고 있다.

건축과 관련된 환경 문제는 기후, 지형, 수목(樹木), 에너지, 대기(大氣), 빛, 물, 바람, 소음, 재료 등의 환경 요소를 인간의 생활환경 속에서 가능한 한 자연적 상태로 끌어들여 직·간접적인 효과를 얻는 데 그 초점을 두고 있다. 이것의 구체적인 실천은 크게 계획(디자인)적 측면과 환경기술적 측면으로 나누어 이루어질 수 있다. 전자는 주거환경의 자연성을

2) 유엔환경계획(UNEF)에서는 대기, 대양, 물, 암석, 육상생태 등을 자연환경의 요소로, 그리고 인구, 주거, 건강, 생물계 등을 인간환경으로 정의한다. 이와 관련해, 우리나라의 환경정책기본법에서는 물리적 실체로서의 자연환경과 인간의 일상생활과 연관된 것으로서의 생활환경으로 구분한다.

3) 일반적으로 친환경건축(환경친화건축)은 '환경에 적응(Adapting to Environment)하는 건축'을 총칭하는 것으로, 건축을 자연환경과의 조화로운 관계 속에서 의미화시키거나 또는 환경공해를 최소화시키기 위한 건축적 처리를 뜻한다.

높이기 위한 자연적 조절기법의 개발을 통해, 그리고 후자는 건축물의 유지·관리에 필요한 에너지 절약 방안의 모색을 통해 구체화될 수 있다.

2.2 에너지 문제와 자연공조

근대 사회 이후 도시 개발과 물질문명의 발달에 따른 에너지 소비량의 급증으로 각종 환경오염 물질의 발생을 비롯한 환경문제가 심각하게 확대되었다.[4] 이는 건축물의 실내·외 공간을 새롭게 인식하는 계기가 되었고, 이에 따라 건축물로 인한 환경문제를 줄이면서 실내공간의 쾌적성을 높이기 위한 실제적인 방안이 요구되고 있다.

건축에서 환경오염과 관련된 문제는 크게 건축자재와 내장재료 그리고 공기조화 측면에서 발생한다. 구조 및 내·외부마감재를 비롯한 건축자재는 휘발성 유기화학물질(Volatile Organic Compounds, VOCs)을 함유하고 있기 때문에 실내공기를 오염시키는 원인이 되며, 일상생활에서 사용하는 각종 생활용품에서 유출되는 화학물질 역시 실내공기 오염원으로 작용한다.[5] 그리고 냉·난방 등과 같은 실내 온도조절과 조명 등을 비롯한 공기조화를 설비적으로 운전하는 과정에서 사용되는 화석에너지는 또한 환경문제의 주요 원인이 된다.[6]

이러한 문제를 극복하기 위한 방안으로 실내공간의 자연적 공기조화 기법의 개발, 자연에너지의 이용, 재생가능한 재료와 환경친화적 재료의 사용 등이 강조되고 있다. 특히, 자연공조는 다른 방안들에 비해 상대적으로 현대건축에서 적용하기가 용이하고 직접적임과 동시에 경제적이라는 점에서 더 큰 의미를 갖는다. 또한 자연적인 현상을 이용하여 실내공간의 공기조화를 수행함으로써, 건축물의 인위적 설비시스템의 운영에 따른 환경비용[7]을 줄일 수 있다는 점에서도 그렇다. 하지만 에너지 자원이 빈약한 국내의 실정에서 큰 관심의 대상이 되고 있지만, 아직 많은 경우, 그 자세한 원리는 명확하게 밝혀지지 않고 있다.[8]

과거의 전통건축은 자연 그 자체의 효과만으로 실내공간을 조절하는 것이 가능하였지만, 건축물의 내용과 규모가 복잡해지고 고층화되면서 자연공조만으로는 불가능한 현실이 되었고, 실내공간을 조성하는 공기조화의 방식과 차원도 달라졌다. 이는 전기·가스 등과 같은 고급 에너지의 사용 증가, 소득 증대로 인한 냉방 수요의 급증, 실내 자동화 설비의 증가 등으로 인해 에너지 소비가 폭발적으로 늘어나는 현상을 낳았다.

건축물의 에너지 절약을 위한 방법으로는 에너지 요구량(energy requirement)을 감소시키는 건축적인 방법과 에너지 사용기기 및 시스템의 효율을 향상(efficiency improvement)시키는 설비적인 방법의 두 가지가 있으며, 후자는 다시 에너지 부하저감기술, 설비효율 향상기술, 공해저감기술 및 자원재활용기술 등으로 세분된다.[9] 현대에서의 자연공조는 건축계획적인 방법으로 실내공간의 운영과 관리에 필요한 에너지 요구량을 줄이는 것으로, 기후적 특성에 관한 자연적 조절을 기본적으로 삼으면서 기계설비적 처리를 병용하는 방향에서 시도되고 있다.

자연공조의 건축적 계획은 공간의 온도와 습도 및 제습과 가습 등의 조절을 원칙적으로 자연 기후에 의존하기 때문에 해당 지역의 연중 기후 전체를 대상으로 해야 할 뿐만 아니라 시간, 계절, 경도, 위도, 구름량 등과 같은 요인들에 따른 태양의 부하를 복합적으로 고려해야 한다는 점에서 어려움이 따를 수밖에 없다.

3. 전통건축에서 나타나는 자연공조의 원리[10]

3.1 개요

오늘의 시각에서 볼 때, 전통건축은 어느 나라를 막론하고 결과적으로 고유의 지역적 기후와 자연환경에 알맞은 친자연적 건축계획을 보여 준다. 건축물의 배치 및 공간구성 그리고

4) 현재의 주 에너지원인 석유, 가스 등과 같은 화석에너지는 각종 오염원과 지구온난화의 원인인 Co2를 방출하여 생태계 파괴의 원인이 되고 있을 뿐만 아니라 매장량도 유한하다. 따라서 대체에너지로서 공해 발생과 Co2 방출도 없을 뿐만 아니라 무한한 에너지 공급원인 대체에너지(태양에너지 등)의 이용 방안이 개발되고 있다. 우리나라에서는 총 화석에너지 소비 중 주택 부분이 차지하는 비율이 20%로 높은 비율을 나타내고 있고, 주택에서 발생하는 전체 Co2 발생량 중에서 난방으로 인한 발생량이 67.7%를 차지하고 있다(진용범 외, 아파트 발코니 공간의 온실효과에 의한 난방에너지 절감에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 17권, 12호(통권158호), 2001. 12. 참고).

5) 윤동원, 건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성, 한국설비기술협회지, v.17, n.1, pp68~71, 2000. 1. 배귀남, 실내공기 오염물질과 인체 위해도 평가, 한국설비기술협회지, v.21, n.1, 2004. 1. 참고.

6) 참고로, 국내 건물의 에너지 소비량 비율을 보면, 공조(환기 위생 포함) 47%, 조명 24% 기타 29%로 공조시스템의 에너지 사용 비율이 대단히 높다.(김영일, 국내의 자연공조, 한국설비기술협회지, v.1, n.2, 2002. 2. 참고).

7) 환경비용은 건축물의 수명주기 동안 발생하는 환경적 부하를 고려한 비용으로써, 현재 외국의 경우, 탄소세와 에너지세로 개념화하여 활용하고 있다. 탄소세(지구온난화비용)는 일반적으로 에너지원별로 함유하고 있는 탄소량에 비례하여 부과되는 일종의 물품세이다. 따라서 석유, 석탄 등과 같은 고탄소함유 에너지에는 높은 세액이, 가스와 같은 저탄소에는 낮은 세금이 부과되고 비화석연료로서 탄소를 전혀 함유하고 있지 않은 수력, 원자력 등에는 세금이 부과되지 않는다. 이에 따라, 탄소세가 도입될 경우 탄소함유 에너지의 사용에 부정적 경제요인이 제공되므로 일정한 대체효과가 발생하게 된다. 에너지세는 에너지 함유량에 따라 부과되는 물품세로 에너지 절약의 인센티브를 제공하기 위한 것이다. 이 에너지세는 세금부과로 에너지 사용수준을 감소시켜 이산화탄소의 배출감소, 에너지 보존, 산성비, 대기오염 등 공해문제의 예방목적을 실현하고자 하는 것이다. 지구온난화의 사회적 비용은 지구온난화로 인해 사람들이 입게 되는 피해 비용이다. 지구온난화비용이란 에너지원별 한 단위 소비를 증가했을 경우 지구온난화의 사회적 비용이 얼마만큼 증가하는가 이다(권영철·이관호·이언구, 환경비용을 고려한 폐콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16권12호(통권146호), 2000. 12. 참고).

8) 김영일, 국내의 자연공조, 한국설비기술협회지, v.19, n.2, p34, 2002. 2.

9) 박상동 외, 그린빌딩 요소기술, 대한건축학회지 제42권 제9호(통권232호), 1998. 9. 참고.

10) 김영일, 국내의 자연공조, 한국설비기술협회지, v.19n.2,2002. 2. 김병선, 생태건축 관점에서 바라본 한옥의 특징, 한국설비기술협회지, v.19. n.2, 2002. 3. 이경희, 한국 전통건축의 자연환경 조절방법과 그 원리의 현대화, 대한건축학회지 논문집, 제37권 제5호(통권174호), 1993. 9.

세부 재료의 사용에 이르기까지 주변의 자연 에너지를 적절하게 사용함으로써, 쾌적한 실내환경을 조성하고 있다.

그런 점에서, 전통건축의 자연환경 조절기법은 현대건축의 주된 연구대상으로 등장하고 있는 친환경건축의 직접적인 참고대상이 될 수 있다. 한국의 전통건축은 사상적, 물리적 측면 모두에서 자연과의 유기적 관계를 맺고 있으며, 이는 자연조절 건축계획의 기초로 작용했다.

한국의 전통건축의 사상적 배경으로 활용되었던 풍수지리사상은 자연의 생태를 체계적으로 쉽게 규명하려고 했던 시도였으며, 그에 따른 마을 및 주택의 배치는 남향을 중심으로 자연과의 유기적 맥락 속에서 이루어졌다.[11] 또한 주요 건축재료였던 목재와 흙은 단열과 습도 조절에서 뛰어난 효과를 지녔으며, 처마와 개구부를 비롯한 여러 요소들 역시 빛과 바람과 같은 자연 요소와 연관된 공조 효과를 이끌어내는 차원에서 적극적으로 응용되었다.

한편, 동남아시아 지역에서는 우리와는 다른 차원의 믿음[12] 속에서 자연공조를 이끌기도 하는데, 고상식 구조는 덥고 습한 열대성 기후에 상응하여 고상식 구조를 건축물의 기본 형식으로 삼아 지반의 습기와 홍수 및 밀림 지대의 위협을 해결하는 이상적인 방식을 채택하였다.

3.2 자연환기와 통풍

자연환기의 원리는 기본적으로 바람에 의한 풍압과 실내·외의 온도차에 의한 열적 부력에 따른 연돌효과를 응용한 것으로 실내공간의 냉방 효과와 연결된다.[13] 자연환기는 주로 열대 지방에서 냉방을 목적으로 시도되었다. 건축물의 중앙에 배치된 마루 공간은 여름철 자연 냉방에 커다란 효과를 주었으며, 주변의 각 실(室)로 통하는 출입문을 완전 개방할 수 있도록 하여 그 효과를 높였다. 전통건축에서는 공간의 개방성을 높이고 덧문과 널문으로 그 효과를 높이는 것을 주된 기법으로 활용하면서 각 공간들간의 맞통풍이 가능하도록 계획하였다.

자연환기는 기후 조건에 따라서 달리 적용된다. 고온다습한 지방에서는 건축물을 경량화하고 외기(外氣)의 유입을 가급적 크게 하도록 설계하였다. 우리나라와 일본 남부 지방의 전통가옥에서 문을 들어 올려 공기유동에 대한 장애물을 모두 제거함으로써 통풍을 최대화할 수 있도록 한 것이 그 예에 해당하며, 흔히 까치구멍으로 불리는 부엌 상부의 배출구도 같은 예에 속한다. 반면에 고온건조한 지방에서는 건축물 벽체의 열용량을 크게 하여 주간에 기온이 올라가더라도 벽체는 시간 지연을 갖고 서서히 온도가 상승하도록 함으로써 실내의 온도를 쾌적하게 유지할 수 있도록 하였다.[14]

동남아시아의 기후 조절은 습도의 감소와 냉방을 위한 환기 조절에 중점을 두고 있다. 지역에 따라 차이는 있지만, 대체로 45도 정도의 급한 경사를 지닌 박공식 지붕은 집의 형태성을 지배하는 요소로 대게 두 단으로 단층을 두어 틈을 두었고, 박공 부분은 개폐가 가능한 판넬로 맞추어져 있다. 이는 빗물의 유입 방지와 환기 및 통풍을 위함인데, 경우에 따라 박공 끝부분을 곡선으로 치켜 올려 내부공기의 원활한 배출과 함께 지붕의 형태성을 높이기도 한다.

또한 바닥과 벽은 대나무와 얇은 판재를 사용해 수평, 수직, 대각선으로 엮었고, 외벽에 덧문이 달린 창을 여러 개 두어 빛의 유입과 환기 및 조망을 좋게 했다.[15] 이와 관련된 각론적 사항으로는 말레이시아 주택의 경우, 직사광선의 차단과 반사(눈부심) 조절, 비로부터의 보호, 주변환경의 미세 기후조절을 위한 자연 식재 조성, 실내공간의 냉방을 위한 지붕 환기구멍의 설치, 단열 효과가 높은 건축재료의 사용, 깊은 처마를 이용한 그늘 제공, 실내공간의 개방화를 통한 환기 효과 증대, 바람을 모으는 지붕 형상 등이 그것이다.[16]

3.3 일사 및 일조

태양으로부터 방출되는 일사의 열에너지는 주거환경에 직

11) 김홍식, 민족건축론, 한길사, 서울, p.314, 1991.

12) 말레이시아 비롯한 동남아시아인들은 전통적으로 자연세계의 질서 혹은 자연관과 연관된 믿음을 공유하고 있다. 말레이시아의 경우, 크고 단단한 나무는 자연적 힘과 생명력이 넘친다고 생각하기 때문에 나무를 베기 전에 의식을 수행하기도 한다. 또 집도 영혼을 갖고 있다고 여기기 때문에 주요 기둥을 세울 때는 반드시 나무의 위·아래가 바뀌지 않아야 하며, 그렇지 않으면 집주인에게 큰 재앙이 닥친다고 믿는다. 이러한 믿음은 집을 인간의 형상과 생활방식으로 이해하도록 이끌었으며, 때로는 인간 신체에 따른 비례원리로 치환되어 적용되기도 한다. 예를 들면, 인간 신체를 기준으로 부재의 크기를 정하는 것, 자연환기를 집이 숨쉬는 것으로 설명하는 것, 그리고 집의 안팎에는 항상 어떤 우주세계와 연관된 힘(기운)이 감돌고 있어서 개구부가 많으면 나쁜 기운이 집안으로 들어온다고 믿었기 때문에 이를 막기 위해 개구부 윗부분이나 부재 틈새에 부적을 설치하는 것 등을 들 수 있다(박순관, 말레이시아 반도 지역 전통주거건축의 일반적 형식과 특성에 관한 연구, 한국농촌건축학회 논문집, 제2권 3호(통권 6호), p.29, 2000년 10월).

13) 자연환기는 주로 바람에 의한 환기와 밀도차에 따른 부력에 의한 환기로 대별할 수 있다. 공기조화 시스템 가운데 많은 부분의 에너지를 소비하고 있는 팬 등의 반송동력 에너지를 최소한으로 절감시키기 위하여 자연환기 시스템 중의 하나인 연돌효과를 이용한 태양열 굴뚝(Solar Chimney) 이용 가능하다. 많은 환기량을 얻기 위하여 태양열에 의해 가열된 태양열 굴뚝 내부의 온도와 외기기온과의 온도차를 크게 함으로써 발생하는 밀도차, 즉 연돌효과를 이용하여 자연환기량의 증가를 도모할 수 있다. 하절기 주간의 경우, 열용량이 큰 지하 피트를 통하여 들어온 차가운 공기는 각층에 설치된 공조기를 통하여 각실에 공급된다. 실내를 순환하고 따뜻해진 공기는 일사로 가열된 태양열 굴뚝을 통하여 배출된다. 하절기의 야간과 비냉난방기의 경우는 지하 피트를 통하여 들어온 공기는 각 층에 있는 공조기를 통하지 않고 실내와 복도에 공급된다. 실내와 복도를 순환한 공기는 주간에 축열된 태양열 굴뚝을 통하여 배출된다. 동절기의 주간의 경우는 지하 피트와 태양열 굴뚝을 통하여 들어온 공기의 온도를 비교하여 온도가 높은 쪽의 공기를 공조기에 유입하여 각 실에 공급한다. 순환된 공기는 태양열 굴뚝을 통하여 배출된다(조성우·임영빈, 연돌효과를 이용한 자연환기 시스템의 실험적 고찰에 관한 연구, 대한건축학회연합 논문집, 2권4호(통권5호), pp.71~72, 2000년 11월).

14) 한화택, 전통건축물에서의 자연환기 기술, 한국설비기술협회지, v.19, n.2, pp.91~92, 2002. 2.

15) 박순관, 말레이시아 반도 지역 전통주거건축의 일반적 형식과 특성에 관한 연구, 한국농촌건축학회 논문집, 제2권 3호(통권 6호), p.30, 2000. 10.

16) Lim Jee Yuan, The Malay House, Institute Masyarakat(Malaysia), p.71, 1987(1997).

접적으로 큰 영향을 준다. 겨울에는 실내에 태양광을 충분히 사입시키고 여름에는 이를 차폐하는 것이 일반적이다. 계절에 따른 일사량은 실내공간의 열환경 조절에 큰 영향을 미친다. 기본적으로 향(向)에 따라 건축물의 배치와 평면구성을 취하고, 계절별로 달라지는 태양의 고도를 감안하여 처마나 차양 및 차일(遮日) 등과 같은 건축요소들을 활용하여 처리하였다.

전통적으로 향은 건물의 에너지 소비 및 거주자의 쾌적도에 가장 기본적이고 중요한 변수이다. 남향 배치는 겨울철의 일사량 획득에 큰 효과를 준다. 특히, 지붕의 처마는 태양의 남중고도와 낙수(落水)와의 관계에 따라 그 깊이(길이)와 각도(경사도)가 결정되었다.

3.4 난방

겹집 및 양통집 형태의 평면구성은 겨울철 거주공간의 난방을 위해서 주간의 일사열량을 최대로 수혈할 수 있었으며, 이중문을 사용하여 단열과 보온 성능을 확보하고 축열량이 큰 벽재료를 사용하여 일사에 의한 난방효율을 높일 수 있었다.

지붕 재료는 태양복사열 차단효과가 큰 볏짚과 기와를 이용하였다. 벽체재료는 열용량이 큰 흙을 이용하였다. 이러한 재료들은 여름철에는 뜨거운 복사열을 차단하여 실온변동폭을 작게 하고, 겨울철에는 열용량이 큰 볏짚과 흙벽으로 시간 지연 효과에 의해 실온 변동폭을 작게 했다. 기와지붕은 흡·방습성이 좋기 때문에 실내습도 변동을 완화시켜 쾌적한 습도 조건을 유지했다. 창호재, 가구재, 바닥재로 쓰이는 나무는 열전도율이 낮아 열교 현상에 의한 건물 열손실을 작게 하였다.

격자 창살은 현대 건축의 선스크린과 같은 역할을 하여 여름에는 그늘을 제공하고 겨울에는 창문 바깥쪽에 공기층을 형성하여 열손실을 작게 하였다 두꺼운 토벽은 열의 전도율이 낮을 뿐만이 아니라. 외기의 열풍이 침입하기 어렵다. 흙집은 온도와 습도조절력이 뛰어나며 흙미립자의 간극사이로 환기가 이루어지고 축열작용이 높아 난방비가 절약된다.

4. 현대건축의 자연공조에 관한 몇 가지 양상

4.1 개요

현대건축에서 자연공조와 관련된 건축계획적 기법들은 친환경건축의 구현이라는 차원에서 부분적으로 시도되고 있다. 하지만 아직까지는 전통건축에서 적용된 것처럼 종합적 측면에서 그 자체의 자연적 효과를 지녔다거나 또는 지역 건축으로서의 역사문화적 의미를 드러내는 차원에서 적극적으로 이루어지고 있다기보다는, 주로 기계설비적 부하를 줄여주는 수준에서 이차적으로 활용되거나 시각적 효과를 위한 감각적 처리에 머무는 경향이 강하다. 또한 자연공조와 관련된 기술적 연구에 비해 실무적인 활용도나 응용상의 다양성이 떨어지는 양상을 드러내고 있다.

자연공조와 관련된 계획적 개념과 기법적 양상에 있어, 일반적으로 현대건축에서 쉽게 상용되고 있거나 또는 상용가능한 방식을 몇 가지로 분류하면, 식재(植栽)를 이용한 건물외피 마감, 녹지공간의 조성, 단열과 관련된 기법, 루버나 차양의 활용, 온실 및 아트리움 공간의 이용, 개구부 배치 등으로 정리될 수 있다.

4.2 식재를 이용한 옥외공간의 조성

옥외 환경에 대한 관심이 날로 증대되어 가고, 환경오염에 대한 심각성과 자연환경에 대한 관심이 고조되면서 외부환경의 개선에 대한 사회적 공감대가 형성되고 있다. 녹지공간은 맑은 공기와 일광을 확보하며 도로나 인근지의 소음 및 먼지 등에 대한 완충지대의 역할을 한다. 또한 휴식공간으로서의 생활공간이라는 의미도 지닌다.

식재를 통한 그늘 제공은 실내공간의 냉·난방에 효과적이며, 식재를 이용한 겨울 바람의 풍속 차단은 건물의 침기에 의한 열손실을 줄이기 위한 것이다. 식물은 또한 창을 통한 자연채광에도 질적인 향상을 가져 온다.

일반적으로 직사광선은 실내에 들어왔을 때 휘도차에 의한 현휘현상 등을 야기시키는데 식물에 의해 분산된 빛이나 잔디 등에 반사된 빛은 실내의 조도를 고르게 하고 온화하게 하여 실내분위기를 부드럽게 해준다.[17]

4.3 건축물 외피의 녹색화

건축물 외부(외벽 또는 지붕)의 녹색화는 식물의 증발잠열에 의한 냉각 효과와 에너지 절약 효과를 갖는다. 건축물에서 열관류에 의해 에너지 손실이 가장 많은 외피 부분에서 식물의 식재에 의해 1/2 이상 열손실이 줄어들 수 있는데, 덩굴식물이나 나뭇잎의 수분 증발시 요구되는 증발잠열은 섭씨 20도의 경우 약 574㎉의 열량을 주변 공기에서 빼앗아가기 때문에 건축물의 지붕이나 벽체의 녹색화는 우리 나라와 같이 고온다습한 기후 지역에서 큰 냉각 효과를 얻을 수 있다.[18]

또한 지붕과 옥상공간의 녹화는 건축물의 냉·난방 에너지 소비를 절감시킴과 동시에 지붕을 통해 내부로 유입되는 과도한 일사를 반사시켜 여름철에 발생하는 도시 열섬현상을 완화시키는 데 큰 역할을 한다.[19] 즉, 녹지에 의한 일사의 반사 및 증발산의 작용과 함께 건축물 냉·난방 에너지 절감 효과를 가져옴으로써 냉·난방에너지 소모로 인한 건축물 외부로의 열기 발산 정도가 낮아짐에 따라 결과적으로 도시 열섬화 현상을 완화시킬 수 있으며, 실제로 전체 옥상 면적 86%를 녹화한 경우 최고기온이 0.2~1.4도 정도 떨어진다.[20]

이 외에도 녹색식물에 의한 직사광선 차단효과, 흙과 잎 사이의 통풍효과, 녹색식물에 의한 겨울철 공기 정체에 따른

17) 일반적으로 소형 건물이 식재에 의한 음영이 제공되도록 계획될 때의 냉방 부하는 그렇지 않을 때보다 50% 정도의 절감 효과를 기대할 수 있으며, 천공복사에 의한 막대한 열손실을 막을 수 있어 겨울철 난방에너지 절약에도 기여하게 된다. 또한 단독주택의 경우, 일반적으로 침기에 의한 열손실이 전체 에너지 손실량의 약 1/3에 달하지만 바람이 부는 날에는 전체 에너지 손실의 50%를 초과하여 막대한 침기열손실이 발생하게 된다. 풍속이 1/2로 감소되면 침기열손실은 1/4로 줄어드는 효과가 있다(이성, 생태건축과 에너지 절약, 한국설비기술협회지, v17.n6, pp.57~58, 2000. 6. 참고).

18) 이성, ibid.

19) 김현수 외, 옥상녹화스템의 설계와 시공, 대한건축학회지, 제42권 제9호(통권232호), 1998. 9.

20) 서울특별시, 건물옥상녹화 학술용역 보고서, p.16, 2000. 12.

단열효과, 흙에 의한 단열 및 축열효과 등을 비롯해 벽체의 수명이 길어지고 건축물의 시각적 이미지를 북돋우는 미관상의 효과 등을 얻을 수 있다.

4.4 루버(차양)의 활용

루버와 차양은 직사광선이 실내에 직접 유입되는 것을 방지하고, 유입된 빛을 반사 및 확산시켜 실내 깊숙이 사입하는 자연 조절장치이다. 루버는 자체의 기하학적 형상과 직사일광을 반사하는 반사면의 마감처리에 따라 그 성능과 효과가 결정된다.

고정식 루버는 광선반과 같은 채광 성능을 지니며, 한정된 태양고도에서만 유효하여 보통 측창에 많이 적용된다. 그러므로 고정식 루버는 천창 채광 방식의 직사일광 사입을 적절히 차단하지 못해 실내 냉·난방 부하를 증가시킬 수 있으며 루버에 반사된 태양빛으로 인해 눈부심의 발생이 우려된다. 가동식 루버는 태양의 위치 변화에 따라 적극적으로 직사일광을 반사 및 확산시켜 사입할 수 있으나 초기 비용 및 유지·관리의 어려움이 있다. 글라스 루버는 넓은 채광창을 지닌 대형공간의 냉방부하 감소와 디자인 요소로서 외부 선스크린의 기능을 동시에 지닌다. 루버의 각도는 태양각의 입사각에 따라 조절되어 차양 효과와 실내에 지속적인 자연 환기를 제공할 수 있어 냉방부하의 탁월한 절감 효과를 얻을 수 있다.[21]

동남아 지역에서는 자역주의 건축의 한 유형으로서 열대지역의 기후 조건을 해결하기 위한 공간적 형태적 노력이 강조되었는데, 이를 '열대성 근대건축(Tropical Modern Architecture)' 이라 부른다. 과거에는 기단을 높이거나 정원에 연못을 두고 나무를 심어 그늘을 만들거나 고방을 두고 창문과 문을 많이 뚫어 바람이 잘 통하도록 하거나 건물 주위에 베란다를 두르는 방식으로 처리했다.[22]

그러나 근대건축이 본격적으로 전개되기 시작하면서부터 콘크리트 루버를 이용해 열대 기후의 문제를 해결했다. 태양이 움직이는 각도에 따라 루버(차양)을 설치하여 햇빛과 실내온도를 효율적으로 조절함과 동시에 열대기후에 따른 기술적 고려를 입면상에서 형태요소로 적극 활용하여 지역건축으로서의 독특한 전형을 확립하였다. 또한 건축물 내부에 개방공간의 면적비율을 높이고 풍부한 녹지공간을 마련하여 건축물의 생태적 성능을 높이는 데 설계의 주안점을 둔다.

4.5 온실과 아트리움 공간의 활용

건축물의 발코니나 베란다 등을 온실 공간으로 계획함으로써, 태양의 복사에너지를 이용한 온실 효과를 얻을 수 있다. 온실은 실내공간의 습도 조절과 공기 정화에 효과가 있다. 습도가 낮은 외기는 온실을 통과하면서 온도가 상승하며, 온실에 있는 흙과 식물로부터 수분 증발속도를 빠르게 한다. 온실에서 상승된 공기는 자연적으로 습도 평형원리에 따라 적절한 습도를 갖게 된다.

이러한 온실 효과는 난방은 물론 가습을 위한 부하 에너지를 절약시킬 뿐만 아니라 식물의 산소공급에 따른 공기 정화 효과를 갖고 있어 환기 횟수의 절감에 의한 에너지 절약 효과를 준다.[23]

이와 같은 방식으로, 실내공간이나 옥외 마당에 아트리움 공간을 계획하여 일사 및 채광을 비롯한 자연환기 조절 효과를 얻을 수 있다. 아트리움 공간에 유입되는 일사는 인접 공간의 온도 분포에 영향을 주는 동시에 여름철에는 실내의 냉방 부하로 작용하고 동계에는 난방 부하를 경감시켜주는 역할을 담당하게 된다.[24]

4.6 단열 문제

자연공조에서 열의 관류와 손실을 막기 위한 공간의 기밀화는 가장 중요한 측면이다. 구조체를 통한 열손실이 가장 크고,[25] 여기에 개구부와 침기에 의한 열손실이 부가된다. 이러한 열손실 부위들을 필요에 따라서 억제하는 것이 쾌적한 실내환경 유지와 에너지 절약을 위한 과제이다. 이를 위한 구체적인 방법은 구조체의 단열이나 기밀화 방안, 개구부를 통한 채열 및 채광이나 통풍 효과 등을 어떻게 고려하여 요구되는 실내환경의 실현에 필요한 냉난방 에너지를 감소시키느냐 하는 문제가 된다.

과도한 냉·난방으로 인해 발생하는 천정과 바닥면 사이의 실내상하 온도차, 비(非)난방실이나 벽장내에서의 결로 등은 모두 과다한 열흐름이 초래한 폐해이다. 단열 문제에서 기밀성능은 에너지와 쾌적성의 양면에 깊은 관계가 있다.

기존의 개념으로는 기밀성능 개선의 직접적인 목적이 실내·외의 공기이동 경로를 완전히 차단시킴으로써 건물구조체나 개구부 등에서 발생하는 틈새 바람에 의한 열손실을 감소하는 데 있었다. 그러나 단열 수준의 향상과 실내공기환경의 오염문제에 대한 관심의 집중 등으로 인하여, 환기에 의한 열손실이 차지하는 비율은 늘어가는 추세에 있다.

자연적 조절 방법 중 동계를 위한 태양열 획득과 침기 차단은 각각 하계를 위한 태영열 차단과 통풍·환기와 서로 상충된다. 한편, 우리나라 모든 도시에 대한 년간 난방필요와 냉방필요 비율의 평균은 약 5:1에 해당되어 난방필요의 비중이 훨씬 크다. 또 연간의 환경조절 방법 요구는 단열, 침기차단, 태양열획득, 태양열차단, 통풍 및 환기 등의 순으로 나타났다.

모든 도시에 대한 태양열확득과 태양열차단 비율의 평균은 약 2:1, 침기차단과 통풍 및 환기 비율의 평균은 약 9:1에 해당한다. 따라서 국내의 기후조건에서는 건축설계시 단열에 대한 고려가 가장 중요하며, 침기차단, 태양열획득에 대한 고려도 함께 중요하다.[26]

4.7 개구부의 배치

통풍과 환기에 의한 자연적 효과를 높이기 위해서는 해당

21) 김정태·정유근, 생태건축과 자연채광 설계기법, 한국설비기술협회지, v.17, n.6, 2000. 6.

22) 박순관, 동남아의 새로운 지평, 명원출판사, 서울, p.207, 2003.

23) 이성, 생태건축과 에너지 절약, 한국설비기술협회지, v17, n.6, p.57, 2000. 6.

24) 박종수 외, 아트리움 공간이 인근실에 미치는 열부하 평가를 위한 수직 상당외기온도 분포 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17권5호(통권151호) 2001. 5. 참고.

25) 열손실은 일반적인 주택에서 난방시의 경우 외벽(34%), 천정지붕(17%), 창(17%), 문(1%), 침기(13%), 바닥(18%) 등으로 손실된다.

26) 송승영·정종민, 자연형 건축설계를 위한 국내 주요 도시의 기후특성 분석, 대한건축학회 논문집 17권 12호(통권158호), p.185, 2001. 12.

지역의 풍속과 풍향 조건을 파악하여 개구부의 위치, 방향, 크기 등에 반영해야 하며, 개구부의 방향계수[27]를 고려하여 개구부를 배치하는 것이 효과적이다. 이 수치가 클수록 일사의 영향이 크다.

대개 남동, 남측면이나 서측면의 수치가 크게 나타나는데, 이 방향에 커다란 개구부를 설치하는 것은 피하는 것이 좋다. 북측면은 일사 차폐로는 가장 유리하지만, 겨울철에 열손실이 많아지기 때문에 개구부는 최소한으로 한다. 즉, 남측면의 개부는 크게 하고(40%), 그밖의 면에 관해서는 채광, 통풍과 환기를 위해 필요한 최소 면적으로 하는 것이 바람직하다.

5. 종합 및 결론

환경 보전과 연관된 자연 에너지의 활용과 자연친화적 건축계획기법의 개발은 현대건축에서 그 무엇보다 중요하게 다루어질 필요가 있다. 또한 초고층화와 첨단기술의 집약으로 예견되는 미래의 건축에서도, 자연친화적 건축은 그에 대응하는 하나의 상대가치로서 강조될 전망이다.

개발과 기술 중심의 도시환경 정책을 주조(主潮)로 삼아온 20세기 이후의 건축적 흐름 속에서, 자연과 환경에 순응하는 건축계획은 건축적 내용을 규정하는 실제적인 기법으로 활용되지 못하고 이차적 수단(가치)으로 평가절하되거나 감각적 이미지를 부여하는 차원에서 피상적으로 다루어졌다. 그 과정에서, 인간의 정주환경은 자연적 처리(효과)와 의미보다는 기계적 설비에 의존한 효율성과 기능성에 맞춰지게 되었다. 그 결과로 오늘날의 도시와 건축은 상실된 자연성을 회복하고 인간생활의 건강성을 되찾아야 하는 커다란 과제를 안게 되었다.

그에 따른 대안(代案) 모색은 전통건축이 지니는 고유의 자연 공조 원리와 기법을 참고틀로 삼으면서 현대건축에서 활용 가능한 실제적 수단으로 구체화하는 데서부터 시작될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 옛 전통건축의 가치를 단순히 형식미학적인 측면에 비중을 두면서 의미화시켜 왔던 지난 시기 근대건축의 문제적 한계를 새로운 시각으로 각색하는 작업이 요구된다. 또한 동남아시아를 비롯한 여러 나라들에서도 볼 수 있듯이, 건축물의 자연환경 조절기법의 원리와 의미를 고유의 전통건축과 함께 병행하여 모색하는 작업이 현대건축의 주된 흐름으로 자리잡고 있다는 점도 우리에게 시사하는 바가 크다.

역사적으로 건축은, 그것이 자연적 결과이든 인위적 결과이든, 지역 기후를 비롯한 자연환경에 대한 반응의 결과로 남는다. 특히, 산업사회 이전의 건축은 자연 그 자체의 성질을 그대로 받아들이면서 실내공간의 공기조화를 조절하였을 뿐만 아니라 건축계획의 전반을 자연적 원리에서 찾았다. 풍수지리와 음양오행 등과 같은 사상적 원리를 바탕으로 삼으면서 자연 조건에 대한 물리적 해결을 이루었다. 그와 관련된 건축적 처리는 주변 지형과 향(남향)에 따른 배치, 실(室) 구성과 개구부를 이용한 통풍 조절, 처마와 창을 통한 일사 및 일조 조절, 온돌을 통한 복사 난방, 흙벽에 의한 축열 기법, 식재와 자연재료의 이용 등으로 요약된다.

전통건축에서 활용된 자연적 공기조화 방식은 근대 시기의 도시·건축적 변화를 거치면서 본래의 성능과 실용성을 잃게 되었다. 산업사회의 발달에 따른 도시 규모의 확대, 인구집중에 따른 고밀도 건축환경, 기술적 합리와 기계적 효율성을 중시한 개발 문화 등과 같은 근대적 사회현상은 상대적으로 자연을 개발의 대상으로 삼아 이루어졌다.

근대적 재료와 기술을 상징하는 고층건물의 건립과 물질문명의 발전으로 야기된 산업공해 및 환경오염은 인간생활에 악영향을 미치는 결과를 낳았다. 또한 건축물의 실내 환경을 자연적 처리보다는 기계적 설비에 의존함으로써 건축물의 에너지 사용량이 기하급수적으로 증가하였고, 이는 곧 환경문제를 확산시키는 악순환으로 이어졌다.

현대건축은 이러한 문제를 보완·극복하는 작업을 중요한 축(軸)으로 삼고 있다. 도시환경과 건축에서, 상실된 자연성을 회복하고 쾌적한 실내공간을 창출하는 것이 그 무엇보다 중요한 건축적 과제로 강조되기 시작한 이래, 그와 관련된 건축적 계획기법들이 '자연친화적 건축의 현대적 응용'이라는 차원에서 다양하게 이루어져 왔다. 기계적 설비에 의존하던 실내환경 조절을 전통적인 자연 조절 방식으로 바꾸기 위한 다각적인 시도가 전개되고 있다. 그 중 가장 일반적으로 적용되고 있는 건축각론적 방식으로 처마와 개구부 등과 같은 건축구성 요소의 활용, 지붕 및 외벽의 녹화, 옥상정원 및 식재 공간의 조성, 루버 및 차양의 계획기법적 활용 등을 들 수 있다.

하지만 그 개념과 계획기법을 실천적으로 추진하는 데는 아직까지도 현실적인 어려움과 한계를 드러내고 있는데, 건축계획의 전반을 이끌면서 배치와 공간을 구성하는 실제적인 내용으로 활용되었던 과거의 경우와는 달리 인위적으로 자연환경을 조성하거나 설비기술적 부하를 줄이는 이차적인 참고요소로 활용되고 있다. 또한, 국내의 경우, 그것을 적용하는 대상도 전원적인 장소나 규모가 작은 건축물 또는 주거용 건축물에 한정되어 시도되는 경향이 강하다.

이는 자연환경 조절기법을 실용화하고 있는 동남아시아 지역에 비해 건축계획적 활용도 측면에서 상대적인 차이를 갖는다. 동남아시아 지역에서는 열대지방의 기후적 특성을 고려한 자연 조절 기법이 우리보다 폭넓게 활용되고 있을 뿐만 아니라 실천적 인식도 상당히 높은 것으로 나타나는데, 여기에는 근대 시기를 거치면서도 열대지방의 기후적 자연 처리를 건축계획의 중요한 측면으로 강조해 왔기 때문으로 여겨진다.

오늘날 한국 현대건축은 자연친화적 건축의 실현이라는 측면에서 기존의 도시환경과 건축물의 질(質)을 향상시켜야 하는 큰 과제를 안고 있다. 이를 위해서는 자연 공조와 관련된 다양한 계획분야와 기법을 연구·개발함과 아울러 그 활용도를 높이기 위한 법·제도적 강화와 건축교육 내용의 보완 등과 같은 하드웨어의 구축이 요구된다. 또한 건축가들의 인식을 제고시키는 노력도 함께 필요하다.

27) 수평면이 받는 일사량에 대한 수직의 개구부가 받는 일사량의 비.

참 고 문 헌

1) 권영철·이관호·김기훈, 환경비용을 고려한 난방 에너지원의 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 17권, 12호(통권158호), 2001년 12월.
2) 김광우·여명석, 온돌 난방의 변천과 현황, 한국설비기술협회지, v.19, n.2, 2002년 2월.
3) 김병선, 생태건축 관점에서 바라본 한옥의 특징, 한국설비기술협회지, v.19, n.2, 2002. 3.
4) 김영일, 국내의 자연공조, 한국설비기술협회지 v.19, n.2, 2002년 2월.
5) 김정태·정유근, 생태건축과 자연채광 설계기법, 한국설비기술협회지, v17, n.6, 2000.6.
6) 김현수 외, 옥상녹화스템의 설계와 시공, 대한건축학회지, 제42권, 제9호(통권232호), 1998.9.
7) 김홍식, 민족건축론, 한길사, 서울, 1987(1991).
8) 나수연·이언구, 공동주택의 자연통풍 계획에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16권11호(통권145호), 2000년 11월.
9) 나수연·이언구, 주택의 에너지절약 설계기법 및 효율평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17권, 5호(통권151호), 2001년 5월.
10) 문석·김영하·전태수, 아파트단지 내 녹지공간 확보방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 17권, 4호(통권150호), 2001년 4월.
11) 박순관, 말레이시아 반도 지역 전통주거건축의 일반적 형식과 특성에 관한 연구, 한국농촌건축학회 논문집, 제2권, 3호(통권 6호), 2000년 10월.
12) 박순관 외, 동남아 연구의 새로운 지평, 명원출판사, 서울, 2002년.
13) 박종수 외, 아트리움 공간이 인근실에 미치는 열부하 평가를 위한 수직 상당외기온도 분포 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17권, 5호(통권151호), 2001년 5월.
14) 배귀남, 실내공기 오염물질과 인체 위해도 평가, v.17, n.1, 2004년 1월.
15) 서울특별시, 건물옥상녹화 학술용역 보고서, 2000.12.
16) 손정영·한윤호, 복사난방시 온열환경이 인체의 열감각에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16권, 12호(통권146호), 2000년 12월.
17) 송민정·천득염·김선우, 전통주택과 공동주택의 온·습도 변화 비교연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol.1, No.2, 2001년 12월.
18) 송승영·정종민, 자연형 건축설계를 위한 국내 주요 도시의 기후특성 분석, 대한건축학회 논문집 17권, 12호 (통권158호), 2001년 12월.
19) 윤동원, 건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성, 한국설비기술협회지, v.17, n.1, 2000년 1월.
20) 이관호·권영철·이언구, 환경비용을 고려한 건물에너지 절약방안의 경제성 분석방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 17권, 2호(통권148호), 2001년 2월.
21) 이경희, 한국 전통건축의 자연환경 조절방법과 그 원리의 현대화, 대한건축학회지 논문집, 제37권, 제5호(통권174호), 1993년 9월.
22) 이성, 생태건축과 에너지 절약, 한국설비기술협회지, v17, n.6, 2000년 6월.
23) 임상준·서혜수·김병선, 투명 유리 사무소 건물의 냉방부하 감소를 위한 적정 외부차양 배치에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 2, No. 4, 2002년 12월.
24) 장현재 외, 자연환기병용형 하이브리드 공조시에 유입외기의 온·현도와 유입풍량의 변화가 실내환경에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집 18권, 6호(통권164호), 2002년 6월.
25) 전영식, 조선시대 주거건축의 일조환경계획에 관한 연구, 연세대학교 대학원, 석사학위논문, 1984년.
26) 정건채, 인도네시아 중부 자바 살라따가 지역 주택의 유형과 공간구성에 관한 연구, 한국아시아학회 논문집, 제6권1호, 2003년 6월.
27) 조균형·이정일, 자연통기 활용을 위한 공동주택 배치형태에 따른 풍속분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 16권, 12호(통권146호), 2000년 12월.
28) 조성우·임영빈, 연돌효과를 이용한 자연환기 시스템의 실험적 고찰에 관한 연구, 대한건축학회연합 논문집, 2권, 4호(통권5호), 2000년 11월.
29) 진용범·최창호·이현우, 아파트 발코니 공간의 온실 효과에 의한 난방에너지 절감에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 17권, 12호(통권158호), 2001년 12월.
30) 통상산업부, 건물외피의 열성능 향상을 위한 평가시스템 개발 및 제도 연구, 통상산업부 93-P-27-02 별책보고서, 1997년.
31) 하싼 파티(정기용 역), 이집트 구르나 마을 이야기, 열화당, 서울, 1988년.
32) 한화택, 전통건축물에서의 자연환기 기술, 한국설비기술협회지, 200년 .2월.
33) 황하진, 좌식생활시 수직기온차에 따른 피부온도의 변화와 국부열감각간의 상관성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 18권, 5호(통권163호), 2002년 5월.
34) Lim Jee Yuan, The Malay House, Institute Masyarakat(Malaysia), 1987(1997).
35) Robert Powell, Rethinking the Skyscraper, Thame & Hudson (London), 1999
36) Robert Powel, Line Edge & Shade-The Search for Design Language in Tropical Asia, Page One(Singapore), 1997