

자연냉방기법 활용 주거 사례분석 연구*

- 미국 LEED 인증 주택을 대상으로 -

Analysis of Housing Cases with Passive Cooling Technologies

- Based on LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) housing cases in North America -

Author 윤혜경 Yoon, Hea-Kyung / 정희원, 홍익대학교 건축학과 전임강사, 건축학박사
우승현 Woo, Seung-Hyun / 정희원, 홍익대학교 실내건축학과 전임강사, 미국건축사

Abstract The purpose of this study is to analyze the state-of-the-art housing cases with passive cooling technologies and to explore the feasibilities for their applications in domestic housing design. Nineteen Leadership in Energy and Environmental Design housing cases from 2002 to 2007 were selected and analyzed their used passive cooling technologies. Besides traditional passive cooling technologies such as site planning according to the sun direction, the use of thermal mass, insulation, shading, below-ground spaces and ventilation, the relatively new technology trends were detected as followings; the use of high performance envelope, operable windows, and geo-thermal energy as the cooling source of heat pumps, increased areas of photovoltaic cells, and the education of the owner and tenants about the adopted passive cooling technologies in a building. Especially, the education may have not been focused in the domestic design despite of its effectiveness on the appropriate operations of passive cooling technologies. The results of this study show their positive adaptations would be beneficial to domestic housing design to reduce energy costs and have cooler housing environments in summer.

Keywords 자연냉방기법, 미국 친환경건축인증, 주거, 자연냉방교육
Passive Cooling Technology, LEED(Leadership in Energy and Environmental Design), Housing, Passive Cooling Education

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

지구가 매해 더 더워지고 있고 이 현상을 가리켜서 지구온난화라고 부르고 있다. 더군다나 우리나라에서는 그 진행속도가 더 빠르다. 최근 100년간을 살펴보면, 지구의 평균기온이 섭씨 0.6도 상승한 반면에, 우리나라는 섭씨 1.5도 상승하여 결과적으로 겨울이 30일정도 짧아지고 여름과 봄이 20일 정도 길어지면서 한반도의 동식물계의 변화를 직접 체험하고 있을 정도¹⁾이다. 이에 대한 대책으로 전 국가적 움직임이 1994년 기후변화에 관한 UN협약이 만들어졌고, 우리나라에서도 동참하고 있다. 지구온난화의 주요 원인으로 온실가스배출이 지적되고 있으며, 이 온실가스 중에서도 가장 큰 비중을 차지하고 있는 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 각 나라마다 노력하고 있는 상황이다. 석유나 석탄 등과 같은 화석연료로 만들어

지는 에너지가 이산화탄소 배출의 주원인이기 때문에, 에너지를 적게 사용하거나 새로운 에너지원을 개발하는 노력이 이루어지고 있다.

이러한 상황에서 건축계에서도 친환경건축인증제 등의 도입으로 에너지를 적게 사용하고 화석연료로 만들어지는 에너지 외에 새로운 에너지를 건축에 사용하려는 노력들이 이루어지고 있다. 에너지관리공단에서 발표한 2007년 1분기 에너지소비통계를 보면 전체 에너지의 16 퍼센트 정도를 주거에서 사용하고 있다. 점점 더 길어지고 더워지는 우리나라의 여름에 주거에서 가능한 자연냉방기법에 대한 관심이 증가하는 이유가 여기에 있다. 그리고 주거에서 단열재의 사용, 밀집주거디자인 등의 방법을 통해 난방에너지를 적게 사용하려는 노력은 수십 년에 걸쳐 꾸준히 있어왔지만, 냉방에너지의 사용이 증가할 수밖에 없는 최근의 폭염에 사용자의 관점에서 사용하는 에너지를 줄이라고 권장하는 것에는 한계가 있다. 오히려 건물 자체에서 냉방을 하기위해 에너지가 소

* 이 논문은 홍익대학교 2009년도 교내연구비 지원에 의해 이루어짐.

1) 기후변화협약대책-에너지관리공단 <http://co2.kemco.or.kr>

비되는 부분을 자연적으로 줄이는 방법들이 제대로 활용되고 있는지 다시 한 번 되돌아봐야 할 때이다. 이에 본 연구는 검증된 주거 사례들을 중심으로 자연냉방기법들을 분석하여 앞으로 국내에서의 그 활용가능성을 연구하고자 한다.

1.2. 연구 방법 및 절차

앞서 본 연구에서 사용한 자료는 2002년부터 2007년까지 미국의 친환경건축인증제도에 해당하는 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)에서 우수작품으로 인증을 받은 142 사례들 중 주거 열아홉 사례들로서, 이 사례들에서 사용된 자연냉방기법들을 분석한 조사 자료이다. 이 자료는 건물의 사후 평가 자료가 아니고, 건물이 짓기 전의 계획단계에서 디자인되고 에너지 시뮬레이션이 마련된 자료이기 때문에, 특히 국내 건축계획 초기단계에서 자연냉방기법들을 이해하고 적용하는 것에 도움이 되리라고 여겨진다. 분석에 사용된 LEED인증 항목들은 기술혁신과 디자인 프로세스, 위치와 연계, 지속 가능한 대지, 물 효율, 에너지와 환경, 재료와 자원, 실내 환경특성, 인식과 교육 등에 관한 내용이다.

본 연구에서는 첫째, 주거에서의 냉방부하를 계산할 때 사용되는 요소들을 확인하고, 그 요소들 속에서 자연냉방디자인을 할 때 영향을 줄 수 있는 요소들을 일차적으로 분류한다. 둘째, 건축에서 사용되는 일반적 자연냉방기법들을 건물 초기 디자인에서 고려되는 사항들과 연계하여 정리한다. 셋째, 주거에 관한 LEED인증항목들을 살펴보고, 열아홉 개의 LEED 주거 사례들에서 사용된 자연냉방기법들을 분류하고 새로운 경향을 분석한다. 마지막으로, 국내 주거에서 사용가능한 자연냉방기법들의 방향을 제안한다.

2. 주거의 냉방부하요소 및 자연냉방요소

2.1. 주거의 냉방부하요소

전 세계 실내건축계와 건축설비학계에서 참조하고 있는 미국 냉난방 공조학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.)의 주거 냉방부하계산에 따르면, 크게 열 취득에 의한 현열냉방부하(sensible cooling load)와 잠열냉방부하(latent cooling load), 두 부하들을 모두 고려하여 계산할 수 있다. 현열냉방부하는 벽과 바닥, 천장 구조체에 의한 냉방부하, 창문에 의한 냉방부하, 구조체의 틈새나 환기에 의한 냉방부하, 거주에 의한 냉방부하로 나눌 수 있고, 잠열냉방부하는 외부공기, 거주인 수, 내부 활동 등으로 나눌 수 있다.

구조체에 의한 냉방부하는 건물의 동서남북 방위에 해

당하는 CLTDs(cooling load temperature differences)에 각 해당면적과 그 면적의 U-factor를 곱한 값이 된다. 이와 비슷하게 창문에 의한 냉방부하는 창문의 동서남북 방위와 유리의 종류에 따른 GLFs(glass load factors)에 각각의 창문 해당면적을 곱한 값이 된다. 구조체의 틈새통풍(infiltration)나 환기에 의한 냉방부하는 계절과 건물 환기형태에 따른 환기회수(air exchange rate)에 각 실의 부피에 일정 상수를 곱한 값이 된다. 그 외에 거주인의 수와 내부에 열을 발생하는 전기기기들과 전등기구의 수와 발열량에 따라 전체 주거의 냉방부하가 계산된다.

2.2. 자연냉방에 영향을 미치는 요소

위에서 간략히 정리한 주거의 냉방부하계산에 필요한 요소들 중에서 자연냉방이 가능한 주거 디자인을 할 때 영향을 미칠 수 있는 요소들을 따로 분리하여 <표 1>에서 정리해 보았다. 건물의 초기 디자인 단계에서 결정되는 건물배치에서의 각 벽체와 창문의 동서남북 방위, 구조체 또는 창문의 재료가 자체가 갖고 있는 고유한 U-factor 등의 성능, 면적 등이 자연냉방에 가장 영향을 미치는 요소들이었다.

<표 1> 주거 냉방부하요소의 자연냉방요소

자연냉방요소		동서남북 방위	재료의 종류 (U-factor 등)	면적	비고
냉방부하요소	벽	O	O	O	
	바닥	X	O	O	
	천장	X	O	O	
창문		O	O	O	
환기 및 틈새통풍		X	X	X	실 부피·외부온도
거주인		X	X	X	수량
전기기기		Δ	X	X	성능·수량
전등기구		X	X	X	자연채광·성능·수량

건물의 방위와 면적 등의 요소들은 건물 초기 디자인에서 부터 결정되는 사항들이기 때문에 주거의 자연냉방 디자인이 가능하기 위해서는 디자이너들이 처음부터 자연냉방 디자인의 요소가 무엇인지를 인지하고 활용해야 그 건물에서 가능한 자연냉방 디자인이 이루어진다는 것을 보여준다. 그에 반해 환기 및 틈새통풍, 거주인의 수는 자연냉방요소에서 조절 가능한 요소가 되기 힘들다. 사용되는 컴퓨터 또는 냉장고 등과 같은 전기기기의 수량이나 성능은 자연냉방요소에서 조절 가능한 요소이지는 않지만, 이 전기기기들이 위치하는 곳을 여름에 열을 덜 받고 이용에 무리가 없는 장소로 배치하여 이 기기들에서 나오는 열이 주거공간에 유입되지 않고 바로 방출되게 하면, 자연냉방에 도움을 줄 수 있다. 전등기구는 자연채광의 디자인에 의해 필요한 수량이나 사용되는 시간에 크게 영향을 받는다. 또한 빛에너지로 사용되지 못한 전기에너지가 열에너지로 변환하기 때문에 그 성능에 따라 필요한 냉방부하가 달라진다. 그러므로 전등기구와

관련해서는 자연채광이 잘 될수록 사용되는 기구의 수와 시간이 적어질 수 있고, 기구의 성능이 좋을수록, 좋은 자연냉방요소가 된다.

3. 건축의 전통적 자연냉방기법

건축에서 자연냉방기법들은 꾸준히 사용되어 왔다. 앞에서 확인한 동서남북 방위에 따른 실들의 배치, 건물의 형태 및 면적, 재료 외에도 대지의 지열을 이용한 지하 공간의 활용, thermal mass의 배치, 실들의 배치, 건물 내·외부의 바람의 활용 및 환기 기법 등 일반적으로 사용되는 방법들은 다음과 같다.

3.1. 태양에 대한 대응

건물 초기 디자인에서 가장 먼저 고려되는 대지의 조건에서, 건물의 위치에 따른 가장 큰 자연의 조건인 태양의 특성을 고려한다. 건물은 한 장소에 고정되어 있는 반면에, 태양의 위치는 1년 365일 변화한다. 태양은 건물에 빛을 비추어 자연조명을 하는 역할도 하지만 건물에 닿으면 빛에너지가 열에너지로 변화하면서 여름에 건물을 덥히는 역할도 하게 된다. 예를 들어, 북위 40도에 위치한 건물의 남쪽 방향에서 정오를 기준으로 하지 때에는 태양의 고도가 85도 정도이지만, 동지 때에는 25도 정도가 된다. 변화하는 태양의 위치에 고정된 건물이 대응하는 방법으로 크게 세 가지로 다음과 같이 나누어 볼 수 있다.

(1) 방위의 이용 - 실 배치 및 버퍼 존(buffer zone)

건물 내의 태양이 비치어 생기는 열 발생요인이나 사람들의 활동에 따라 무리지어서 방들을 배치하게 되면, 구역별로 열의 습득과 방출을 조절하는 것이 가능하다. 그리하여 실들을 길게 나열하는 형태로 배치하게 되면 열이 발생하는 구역과 열을 배출해 내도록 대류가 일어나게 하는 구역으로 구분하게 되어 온도차를 이용한 자연냉방조절이 가능하게 된다<그림 1 참조>.

그 외에도 하루의 일정 시간동안만 사용하는 침실 등을 일종의 버퍼 존(buffer zone)으로 디자인하는 것도 가능하다. 창고나 온실, 테라스 등이 의도적인 버퍼 존이 될 것이고, 여름에 실들의 공간이동이 가능하다면 계절에 따른 실들의 배치 변화로도 버퍼 존 형성이 가능하다.

(2) 재료의 이용 - 옥상 단열 및 thermal mass

여름 태양의 고도가 높기 때문에 건물에서 가장 열을 많이 받는 부분은 옥상이 된다. 그렇기 때문에 옥상의 단열이 어떻게 이루어지는가가 건물 전체로 열이 퍼져나가는 것을 막는 효율적인 방법이 된다. 옥상에 단열이 잘되는 재질을 사용하는 방법, 옥상에 정원을 조성하여 옥상에서 받는 열을 다른 방향으로 사용되게 하는 방법,



동서 방향으로 긴 단위평면을 가지고 동쪽방향 창이 있는 Studio 또는 One Bedroom 단위 주거가 밀집된 평면에서, 아침에 여름햇살을 받아 열이 습득되고 복도 공간으로 열이 방출된다.

<그림 1> Traugott Terrace의 3층-5층 평면

옥상에 수공간이나 물을 이용하는 관을 배치하여 옥상에서 받은 열을 건물 구조체가 받는 것이 아니라 건물에서 사용되는 물의 온도를 높이는 것으로 유도하는 방법 등이 있다<그림 2 참조>.

그 외에도 뜨거운 낮에 외부의 열이 건물 내부로 들어오는 시간을 지연시킬 수 있도록, 태양의 빛을 주로 받게 되는 건물 구조체 부분을 열전도가 느린 thermal mass로 디자인하는 방법이 있다. 이때 단열재는 건물 외부와 thermal mass 사이에 배치하는 것이 효율적이고, 상대적으로 시원한 밤에는 내부의 열이 자연환기 등의 방법으로 방출되도록 하는 것이 일반적이다. 밤 시간 동안 thermal mass가 다시 시원해지도록 하여야 뜨거운 낮에 건물이 뜨거워지는 시간을 지연시키는 자연냉방방법으로 사용될 수 있기 때문이다.



<그림 2> Macallen Building Condominiums의 그린 지붕



<그림 3> IslandWood 건물입면에 활엽수에 의한 그늘이 형성되고 있는 모습

(3) 그늘의 이용 - 활엽수 및 차양

여름에 태양열을 가리기 위해 사람들이 양산과 모자를 쓰는 것처럼 건물에 그늘이 지도록 하는 방법들이 지속적으로 사용되어 왔던 자연냉방기법들 중의 하나이다.

건물 대지에 이미 큰 활엽수가 있거나 큰 활엽수를 심을 수 있는 환경이 된다면, 활엽수를 이용하는 것이 효과적이다. 나무나 건물은 한 장소에 고정되어 있지만 활엽수가 계절에 따라 능동적으로 반응하는 점을 활용할 수 있다. 활엽수는 겨울에는 나뭇잎이 떨어져 태양빛이 건물에 내리쬐는 것을 방해하지 않지만, 여름에는 잎이

무성하여 건물에 그늘을 만들어 줄 수 있다. 그러므로 건물에 여름 태양빛이 내려질 때 그늘을 만들어 줄 수 있는 위치에 활엽수를 배치하고 그 높이와 형태를 유지하도록 지속적인 관리를 해 준다면 바람직한 자연냉방기법이 될 수 있다<그림 3 참조>.

건물에 수평으로 설치된 돌출된 차양이나 차광장치, light shelf, 창문 외부에 빛을 가리는 layer를 사용하면 건물 외부에서 인공적으로 그늘이 지게 하여 건물 내부로 들어오는 태양열을 감소시켜 자연냉방효과를 가져오게 할 수 있다<그림 4 참조>. 반면에 겨울에 빛을 가리는 부정적 효과를 감소시키기 위해서 겨울에는 제거할 수 있는 구조이던가, 겨울의 태양의 고도가 낮아질 때는 건물 내부에 빛이 들어갈 수 있는 폭과 길이어야 한다.



<그림 4> Jane D'Aza 수녀원 건물의 격자 차광장치가 설치되어 있는 창문



<그림 5> 지하층에 주차장이 있는 Gish Family Apartments 종단면도

3.2. 지열의 이용

땅의 온도 변화가 공기의 온도변화와 비교하여 계절에 관계없이 거의 일정한 점을 이용하여 자연냉방기법에 활용될 수 있다. 평지의 땅속에 건물의 일정한 층이 부분적으로 묻히거나, 또는 건물이 완전히 땅속에 묻히거나, 경사지를 활용하여 건물의 한 층의 일부는 땅속에 들어가고 일부는 땅위에 노출되는 배치를 하면, 그 공간은 특정한 장치 없이 여름에 시원하고, 겨울에 상대적으로 따뜻한 공간이 된다. 문제는 환기와 습기제거가 잘 되지 않으며, 자연광이 들어오지 않기 때문에 곰팡이나 세균 등이 서식하기 좋은 따뜻하고 습도가 높은 공간이 된다. 그렇기 때문에 높은 층수의 공동주거 경우, 지하를 주차공간으로 활용하거나 사람이 거주하지 않아 자연광이 선호되는 않는 기계실로 사용하는 경우가 많다. 또는 상품을 전시하고 판매하기 위해 인공조명이 선호되는 상점 등으로 계획하는 경우가 많다.

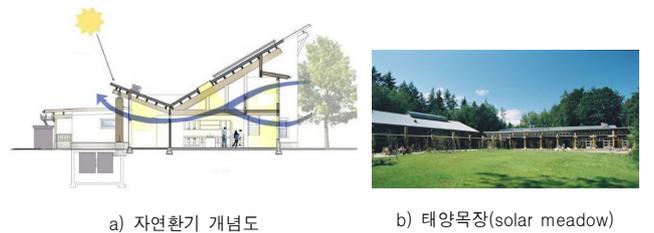
그러나 LEED 인증의 경우 대지를 최대한 원상태로 보존하는 지속가능한 대지가 되도록 고려했던가에 인증항목에 따른 부분 점수를 부여하고 있기 때문에, 지하공간의 활용이 자연냉방에 유리함에도 불구하고 이 사례 조사에서는 드물게 나타난다.

<그림 5>에서 보는 Gish Family Apartments의 경우처럼 지하층에 주차장을 두는 경우는 국내의 대도시, 특

히 서울의 많은 주거에서 흔히 보이는 지열을 이용한 공간의 사례이다. 건물외부에 주차장 공간을 마련하기보다, 지하공간에 주차장을 마련하면 지열을 이용한 냉난방 에너지 절약의 측면만 있는 것이 아니다. 건물을 짓게 됨으로써 발생할 수밖에 없는 대지의 훼손을 수평적으로 늘리기보다 수직적으로 확장하게 되어, 보존되는 자연의 면적을 상대적으로 더 늘리는 효과도 있다.

3.3. 바람의 이용

태양의 복사열이 지구에 닿는 부분을 덥히면서 평뿐만 아니라 대기도 덥히게 된다. 반대로 태양의 복사열이 닿지 않는 부분은 덥혀지지 않고, 덥혀진 공기와 덥혀지지 않은 공기 사이에 온도 차이가 생기고 압력차가 생기게 된다. 크게 보면 지구전역에서 일어나고, 일상생활에서 보면 건물 외부와 내부에서도 일어난다. 공기사이의 온도차이가 크면 클수록 압력의 차이가 커지고 평형을 이루려는 열역학적 성질 때문에 압력이 큰 공기 즉 더운 공기가 시원한 공기가 있는 압력이 적은 곳으로 흐르는 현상이 있다. 이 현상을 적극적으로 이용하면 여름에 건물 내에서 뜨거워진 공기를 건물 내부로 순환하게 방치하는 것이 아니라 뜨거워진 공기끼리 모여서 건물 외부로 보내는 방법이 바람을 이용한 자연환기(natural ventilation), 통풍(cross ventilation), 굴뚝효과(chimney effect, stack ventilation) 등의 자연냉방기법이 된다.



<그림 6> IslandWood에서 여름에 개폐창문(operable window)을 사용해서 모든 건물에서 자연환기가 가능하도록 한 개념도를 나타낸 것이 그림a이고, 그림b는 이 자연환기가 가능하도록 건물들 중앙에 나무가 없는 '태양목장(solar meadow)'을 만들어서 자연환기의 방향이 일정하게 발생되도록 계획된 모습.

자연환기는 바람이 들어오고 나가는 입구의 면적과 입구 간의 거리, 건물 내외부의 온도차이 등이 영향을 미치기 때문에 바람 부는 방향으로 방을 배치하는 것이 일반적이다. 위의 <그림 6>의 IslandWood에서 보듯이, 나무가 있어서 여름에 그늘이 지는 공간과 상대적으로 나무가 없어서 여름에 열을 많이 받는 공간 사이에 건물을 배치하여, 시원한 나무그늘의 공기가 뜨거운 '태양목장(solar meadow)'라고 불리는 나무가 없는 공간으로 자연환기가 발생하도록 디자인된다. 크로스 환기는 건물 공간 내의 열을 가진 뜨거운 공기를 배출하는 방법인데, 인위적으로 안뜰(courtyard)나 분수나 연못 등이 있는 수

공간을 형성하여 이곳의 시원한 공기가 건물 내부로 들어오고 뜨거운 공기가 건물 외부로 바로 나갈 수 있도록 외벽이나 천장 부분에 개구부를 만들어 준다. 골뚝효과는 건물 공간 내의 열을 가진 뜨거운 공기가 상승하면서 건물 공간 상부에서 빠져나가고, 건물 공간 하부에서 차가운 공기가 유입되도록 하는 방법이다. 이때 바람이 들어오고 나가는 입구들의 크기와 두 입구들 간의 거리, 건물 외부 온도와 건물 공간 내 높이의 평균온도 차이 등이 영향을 미치게 된다. 상승하는 뜨거운 공기가 다시 건물 내부로 흘러들어가지 않도록 고려해 주는 것이 중요하다.

4. LEED 주거사례의 자연냉방기법

각 나라마다 친환경 건축물 인증제도를 도입하거나 도입을 추진하고 있다. 그 중에서 세부항목들의 인증자료가 공개된 나라들은 드문 현실이지만, 미국 Green Building Council에서는 가장 최근의 자료를 제외하고는 그 인증자료를 공개하고 있다. 그러므로 공개된 2002년부터 2007년까지의 미국 건축계의 친환경 인증제도에 해당하는 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)에서 우수작품으로 인증을 받은 주거 열아홉 사례들에서 사용된 자연냉방기법들을 분석하여 이 연구에 사용하고자 한다.

4.1. 주거부분에서의 LEED 평가항목

LEED 인증은 모든 건물 타입들을 다루고 있고, 그 중 주거부분에서 LEED는 기술혁신과 디자인 프로세스 (innovation & design process), 위치와 연계 (location & linkages), 지속가능한 대지(sustainable site), 물 효율 (water efficiency), 에너지와 환경(energy & atmosphere), 재료와 자원(materials and resources), 실내 환경 특성 (indoor environmental quality), 인식과 교육(awareness & education) 등의 여덟 분야에서 인증 점수를 부여하고 있다. 주거부분에서의 LEED 인증은 크게 여덟 항목들과 그 세부 항목들에서 인증 점수를 부여하고 있다. <표 2>에서 보는 바와 같이 주거부분에서의 LEED 인증 여덟 분야의 세부 항목들이 자연 냉방 요소와 관련이 있을 수도 있고 없을 수도 있다. 있을 경우는 'O'으로, 없을 경우는 'X'로, 사례에 따라 있을 수도 없을 수도 있는 경우는 'Δ'로 표시되었다.

특히 자연냉방과 관련이 많은 부분은 기술혁신과 디자인 프로세스, 위치와 연계, 지속가능한 대지, 에너지와 환경, 실내 환경 특성, 인식과 교육 분야이다. 실내 환경 특성부분에서 'ENERGY STAR'는 U.S. Environmental Protection Agency에서 제품들의 에너지 효율성에 관해

<표 2> 주거를 위한 LEED 인증항목과 자연냉방요소와의 관계

LEED 주거 인증항목	자연냉방 요소와의 관계
1. 기술혁신과 디자인 프로세스 (innovation & design process)	
1.1 통합 프로젝트 계획 (integrated project planning)	O
1.2 내구력 품질 관리 (quality management for durability)	Δ
1.3 기술혁신/ 지역 디자인 (innovative or regional design)	Δ
2. 위치와 연계 (location & linkages)	
2.1 주변개발 (neighborhood development)	O
2.2 대지 선택 (site selection)	O
2.3 선호 위치 (preferred location)	O
2.4 기본시설 (infrastructure)	X
2.5 지역자원/ 수송 (community resources/ transit)	X
2.6 개방 공간 접근 (access to open space)	O
3. 지속가능한 대지 (sustainable site)	
3.1 대지 관리직 (site stewardship)	O
3.2 조경 (landscaping)	O
3.3 지역 열섬현상 감소 (reduce local heat island effects)	O
3.4 지표수 관리 (surface water management)	Δ
3.5 무독성 해충 단속 (nontoxic pest control)	X
3.6 밀집 발전 (compact development)	X
4. 물 효율 (water efficiency)	
4.1 물 재사용 (water reuse)	X
4.2 관개 시스템 (irrigation system)	X
4.3 실내 물 사용 (indoor water use)	X
5. 에너지와 환경 (energy & atmosphere)	
5.1 에너지 성능 최적화 (optimize energy performance)	O
5.2 단열재 (insulation)	O
5.3 틈새 통풍 (air infiltration)	O
5.4 창 (windows)	O
5.5 냉난방 분포 시스템 (heating and cooling distribution system)	O
5.6 공간 냉난방 설비 (space heating and cooling equipment)	O
5.7 물 난방 (water heating)	X
5.8 조명 (lighting)	O
5.9 전기제품 (appliances)	O
5.10 재생 에너지 (renewable energy)	O
5.11 주거 냉각제 관리 (residential refrigerant management)	X
6. 재료와 자원 (materials and resources)	
6.1 재료 능률적인 구조틀 (material-efficient framing)	X
6.2 환경 친화 제품 (environmentally preferable products)	Δ
6.3 쓰레기 관리 (waste management)	X
7. 실내 환경 특성 (indoor environmental quality)	
7.1 ENERGY STAR 내의 실내 공기 종합정책 (ENERGY STAR with indoor air package)	O
7.2 연소 배출 (combustion venting)	Δ
7.3 습기 조절 (moisture control)	O
7.4 외부 공기 환기 (outdoor air ventilation)	O
7.5 지역 배출 (local exhaust)	O
7.6 공간 냉난방 분포 (distribution of space heating and cooling)	O
7.7 공기 여과 (air filtering)	X
7.8 오염물질 조절 (contaminant control)	Δ
7.9 라돈 보호 (radon protection)	X
7.10 차고 오염물질 보호 (garage pollutant protection)	X
8. 인식과 교육 (awareness & education)	
8.1 거주인 교육 (education of the homeowner or tenant)	O
8.2 빌딩 관리인 교육 (education of the building manager)	O

1992년부터 자발적으로 부착하기 시작한 미국의 대표적인 에너지 효율성 마크이다. 현재는 U.S. Department of Energy와 함께 에너지와 관련된 제품들뿐만 아니라, 주거 등의 건축물에서도 그 에너지 성능의 효율성을 나타내기 위해 사용되고 있다. 주거에서 'ENERGY STAR' 마크를 부착했다는 말은 곧 여름에 에너지효율성이 좋아서 열발생이 적다는 말이기 때문에 자연냉방과 관련 있다.

인증항목 중 물 효율부문은 주로 건물 내에서 사용되는 물의 재사용과 물 절약이 가능한 수도꼭지의 사용에 중점을 두고 있기 때문에 자연냉방기법과 관련이 적고, 재료와 자원부문은 친환경 자재와 자원의 재사용에 중점을 두고 있기 때문에 이 논문에서 살펴보고자 하는 자연냉방기법과 거리가 있다. 세부사항들 중 내구력 품질관리, 기술혁신 또는 지역 디자인, 지표수 관리, 환경친화 제품, 연소 배출, 오염물질 조절 등은 자연냉방기법과 관련하여 기법 종류와 응용방법에 따라 관련이 있을 수도 있고 없을 수도 있다.

4.2. LEED 주거사례와 자연냉방기법들 최신 경향

LEED 인증을 받은 열아홉 개의 주거 사례들 중에서, 자연냉방기법과 관련된 여덟 항목들의 세부 항목들을 기준으로 그 사례들이 인증점수를 얻은 내용 중 자연냉방과 관련된 요소들을 분석하였다. 이 분석에서 그 자연냉방기법들의 최신 경향을 도출하여, 국내에서의 앞으로의 자연냉방기법 활용 및 활성화 가능성을 살펴보는데 사용하고자 한다.

<표 3>에서 크게 건축법의 규모산정을 기준으로 소·중·대규모로 나누어 면적이 작은 순서로 배열한 열아홉 개의 LEED 주거 사례들과 사용된 대표적 자연냉방기법들을 건물과 직접적 관련이 되는 부분, 외부와 관련이 되는 부분, 건물과 외부가 함께 관련이 되는 부분으로 나누어 정리하였다. 여기서 언급된 대표적 자연냉방기법들은 인증점수를 받는데 도움이 된 항목들이다. LEED 인증 여덟 분야 중에서 위치와 연계, 지속가능한 대지 분야들이 있기 때문에 건물의 배치에 관해 대지에서 태양을 이용하거나 주변 수목이나 물 등의 자연환경요소들과 기존의 교통시설을 최대한 활용하는 배치가 여러 사례들에서 나타났다. 재건축 또는 보수에 해당하거나, 도심에 위치하기 때문에 대지의 제한이 많은 경우는 배치로 인한 자연냉방이 가능하지 않은 사례들도 있었다.

건축의 전통적 자연냉방기법외에 사용된 최근의 경향들이 이 사례들에서 나타나고 있다. 많은 사례들이 고성능 외피(high performance envelope)를 개발하여 적용하고 있고, 개폐창문(operable window)을 제공하고 있으며, 에너지 사용을 줄이도록 지열을 열원으로 이용한 열펌프

(heat pump) 시스템을 채택하고, 자연에너지인 태양광을 <표 3> LEED 주거사례의 대표적 자연냉방기법들

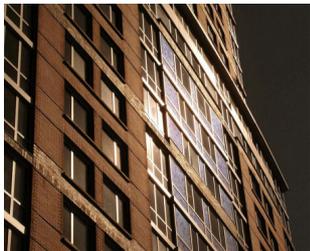
면적에 따른 분류 건물명	면적(m ²)/ 원공연도/ LEED rating	대표적 자연냉방기법			
		건물관련	외부 관련	건물과 외부관련	
소규모 :2백 제곱 미터 초과 부터	Jane D'Aza Convent, House of Formation 	580 2005/ Gold	개폐창문	재생 에너지 (태양)	배치
	Bazzani Associates Headquarters 	880 2003/ Silver	고성능외피, 옥상정원		
	Roberts Hall at Lewis & Clark College 	2,300 2002/ Silver	개폐창문, thermal mass		배치
	Colorado Court Affordable Housing 	2,800 2002/ Gold	고성능외피	재생 에너지 (태양)	배치
5천 제곱 미터 이하	Lettinga Housing at Davenport University 	3,600 2006/ Certified	고성능외피	재생 에너지 (지열)	
	Traugott Terrace 	3,600 2003/ Certified	고성능외피, 개폐창문		
	Yorktown BEQ 	4,530 2005/ Certified	고성능외피, 개폐창문		
중규모 :5천 제곱 미터 초과 부터	Wentworth Commons 	6,370 2005/ Certified	고성능외피, 개폐창문	재생 에너지 (태양)	
	IslandWood 	6,560 2002/ Certified	고성능외피, 개폐창문	재생 에너지 (태양)	배치
	Gish Family Apartments 	6,990 2007/ Gold	고성능외피	재생 에너지 (태양)	
1만 제곱 미터 이하	Eastern Village Cohousing Condominium 	8,600 2004/ Silver	옥상정원	재생 에너지 (지열)	배치
	Bremerton BEQ Building 1044 	9,270 2004/ Certified		수목 조경	
	Blair Towns 	9,970 2003/ Certified	고성능외피		
대규모 :1만 제곱 미터 초과 부터	Felician Sisters Convent & School 	15,000 2003/ Gold	고성능외피, 개폐창문	재생 에너지 (태양)	
	Alcyone 	18,700 2004/ Certified	고성능외피, 개폐창문	수목 조경	
	Macallen Building Condominiums 	32,500 2007/ Gold	고성능외피, 경사녹화지붕		배치
	20 River Terrace 	33,100 2003/ Gold	고성능외피, 개폐창문		배치
십만 제곱 미터 이하	Immaculate Heart of Mary Motherhouse 	35,300 2003/ Certified	고성능외피	재생 에너지 (지열)	배치
	The Helena Apartment Tower 	55,900 2005/ Gold	고성능외피, 옥상정원, 개폐창문	재생 에너지 (태양)	

사용하여 전기에너지를 발생시키는 태양전지(photovoltaic cell) 사용 면적이 늘어나고 있고, 건물의 자연냉방시스템에 대한 건물 거주인과 소유주의 교육도 도모하고 있었다. 다음은 이 내용을 정리하여 분석한 내용이다.

(1) 고성능 외피(high performance envelope)

건물이 외부와 일차적으로 접하는 부분은 그 외피이다. 외피는 인간의 옷처럼 너무 덥거나 추운 외부 환경으로부터 건물을 보호할 수 있도록 하는 것이 그 주 기능이고, 건물의 벽체뿐만 아니라 창문틀과 창문유리 모두를 포함한다. 여름에 할 수 있는 외피의 일차적 기능은 고성능 단열재를 사용하여 더운 바깥 공기온도가 시원하게 온도조절이 된 내부로 전달되는 것을 막는 것이다. 이때 창문의 틈새나 건물 구조의 틈새로 내부의 시원한 공기가 빠져나가는 것을 고성능 외피로 최대한 줄여주고, 조망은 해치지 않으면서 창문의 유리를 통하여 태양의 복사열로 덥혀진 공기가 내부로 들어오는 것을 줄여주도록 한다.

뉴욕의 20 River Terrace의 고성능외피의 경우를 살펴보면<그림 7 참조>, 창문유리일부분에 태양전지 등을 부착하고 있는 시스템 창호를 사용하고, 벽체부분에서도 뉴욕의 다른 일반건물들보다 단열재 층을 더 첨가한 벽체를 사용하였다. 그 성능을 일반건물과의 열전도 시뮬레이션을 비교하여 보여주고 있는데, 이 때 일반건물들의 경우 여름의 더운 외부 온도가 내부로 전달되는 것이 20 River Terrace의 경우보다 더 큰 것을 볼 수 있다.



<그림 7> 20 River Terrace의 단열재가 첨가된 고성능 외피



<그림 8> Alcyone의 개폐창문(operable window)

(2) 개폐창문(operable window)

개폐창문은 사례에 따라서 고성능 외피에 같이 포함될 수도 있고 아닐 수도 있으며, 환기(ventilation)와 환경에 대한 개인의 조절(control) 감각에 중요한 역할을 하기에 고성능 외피와 다른 요소로서 나누었다.

여름에 건물 내부에 생성되는 뜨거운 공기가 빠져나갈 수 있도록 환기를 시켜주는 것이 중요하다. 당연한 부분이었으나, 최근에 국내 수상복합건물 등의 고품격 주거에서 더욱더 빈번하게 일체화된 시스템 창호나 중앙 냉난방 조절 시스템 등의 사용으로 각 주거에서 개폐창문의 면적이 줄어들고 있다. 그리하여 특히 여름에 내부의

뜨거운 공기가 외부로 배출되지 못하고, 모든 부분을 기계적 냉방으로 해결하고자 한다. 이에 들어가는 에너지 비용이 증가하는 것은 당연하다.

특히 개폐창문은 90년대 눈에 띄게 나타난 빌딩증후군(sick building syndrome)에 대한 건축계의 주요 후속조치였다. 공기가 신체에 닿는 부분에서 질환이 시작하여 신경계질환과 마비까지 초래하는 것이 빌딩증후군인데, 개인의 업무공간에서 외부공기와 접할 수 있는 거리가 약 6m 정도가 되었을 때 빌딩증후군이 많이 감소하는 한편, 폐쇄된 창문과 거대 평면을 가진 에너지 효율이 좋은 건물에서 공기 중에 특정 화합물이 발견되지 않더라도 빌딩증후군이 증가했다. 모든 개인의 업무공간에서 외부공기와 접할 수 있도록 발코니 등을 마련하는 것은 사실상 불가능하므로, 원할 때 열 수 있는 개폐창문이 제안되었다. 실제로 개폐창문을 항상 열어놓고 업무를 보는 것은 아니지만, 원할 때 열 수 있다는 사실, 즉 자신의 환경에 대해 자신이 조절할 수 있다고 인지하는 것이 아프지 않고도 만족스러운 업무환경을 구성하는 요소였다. 이러한 부분은 자신의 주거에서도 마찬가지다. 자신의 주거에서 원하는 만큼 창문을 여는 것은 중요하다.

다양한 주거 평면을 가진 Alcyone에서는 각 주거마다 창문의 형태와 크기는 다를지라도 개폐창문이 되도록 고려하고 있다<그림 8 참조>. 이는 자연냉방효과를 향상시키기 위한 환기에도 유리하지만, 거주자의 만족스러운 주거환경 마련에도 중요하다.

(3) 열펌프(heat pump) 열원으로 지열 사용

땅속에 묻힐 수 없는 공간의 경우에도 지열이 이용될 수 있다. 건물에 사용되는 공기나 물이 땅속을 지나가는 관을 통과하게 되면 지상의 온도에 비하여 땅속의 온도는 일정하기 때문에, 여름에는 더 시원한 공기와 물을 얻고 겨울에는 더 따뜻한 공기와 물을 얻게 된다. 이렇게 얻어진 공기와 물은 건물의 냉난방을 위한 열펌프(heat pump)의 열원으로 사용된다. 그러므로 관을 매설하는 데에 초기비용은 들더라도 냉난방에 필요한 공기와 물의 온도를 맞추는 데에 드는 에너지 비용이 적게 들고 거기에 사용되는 냉각기나 보일러 등의 기계설비 시설을 줄일 수 있게 된다<그림 9 참조>.

(4) 태양전지 사용의 증가

태양전지를 건물외피나 캐노피, 지붕 등에 설치하여 태양광을 전기에너지로 사용하는 경향이 LEED 주거사례에서 뚜렷하다. 태양전지가 건물에 사용될 경우 건물에서 태양광이 많이 비추게 되는 방위나 부분에 사용하게 된다. 그리하여 건물이 받게 되는 태양광을 그만큼 가려주는 그늘을 형성하는 역할을 하게 된다. 동시에 기계냉방시스템에 사용되는 전기에너지를 태양이라는 자연의 재생에너지(renewable energy)를 사용하여 얻어내어, 냉방에 일조를 한다는 점에서 그 최근에 나타나는 자연

냉방기법의 하나로 분류할 수 있다.<그림 10 참조>



<그림 9> Eastern Village Cohousing Condominium의 중정(courtyard)에 지열을 사용하고자 묻은 관들



<그림 10> Helena Apartment Tower에서 사용된 태양전지 패널(photovoltaic panel)

(5) 건물의 자연냉방시스템에 대한 건물 거주인과 소유주 교육

건물에서 이루어지고 있는 자연냉방시스템에 대해 건물 거주인과 소유주가 알고 있으면, 그 시스템이 적절히 이루어지도록 관리하게 된다. 또한 그 시스템을 이루고 있는 부분이 무엇인지를 알고 있으면, 그 부분을 의도하지 않게 없애거나 변형시키는 일들이 없게 된다. 이것은 건물 소유주뿐만 아니라 건물을 사용하는 거주인의 교육을 통해 이루어질 수 있다. 사실상 자연냉방시스템을 건물에 마련해 놓는다고 해도 운영과 관리 및 보호 차원에서 적절한 조치가 이루어지지 않으면 제대로 작용하지 않을 수도 있는 것이 자연냉방시스템이다. 이 교육부분이 국내에서 적극적으로 이루어지지 않아, 그 뛰어난 효율성에 비해 그동안 간과되었던 부분이다.

5. 결론

본 연구는 국내 주거에서 적용 가능한 최신 자연냉방 기법들을 미국 친환경건축인증제도 LEED의 주거사례들을 통해서 분석하여 정리한 것으로, 다음과 같은 내용들이 제안되었다.

첫째, 고층 고밀도 주거사례에서 뿐만 아니라 저층 저밀도 주거사례에서도 고성능 외피로 시공과 건축디자인의 조화를 추구하는 경향이 나타나고 있다. 단열재 사용과 틈이 없는 구조를 가진 고성능 외피이기 때문에 알루미늄 패널 등의 입면재료도 가능하다.

둘째, 고성능외피에 개폐창문이 첨가된 시스템이면 있어서 환기와 환경에 대한 조절의 감각을 높일 수 있다.

셋째, 기계장치에 들어가는 에너지원을 지열이나 태양광과 같은 재생에너지(renewable energy)로 사용하는 사례가 빈번히 나타나고 있다. 지열을 열원으로 하는 열펌프(heat pump)와, 태양을 재생 에너지원으로 하면서 그늘도 형성해 주는 태양전지패널의 사용 면적이 주거사례들에서 증가하고 있는 점이 확인되었다.

넷째, 건물의 자연냉방시스템에 대한 건물 거주인과

소유주 교육에도 노력을 기울일 필요가 있다. 자연냉방시스템이란 부분적인 요소하나만으로 독립적으로 작용하는 경우는 매우 드물다. 자연냉방시스템은 오히려 생태계의 한 부분으로 여름의 건물에 작용하도록 하는 유기체에 가깝다. 사용자가 자신이 하는 행위가 어떤 영향을 미칠 수 있고 잘 사용되도록 하기 위해서 필요한 고려와 관심들은 무엇인지 아는 것은 매우 중요하다.

LEED 주거사례들에서 국내에 적용가능한 자연냉방기법들을 분석한 이 연구를 초석으로, 국내의 환경에 맞는 친환경건축디자인에 대한 연구와 실무적용이 필요하다. 적은 에너지가 사용되나 사용자가 건강하고 불편함 없는 삶이 영위되도록, 효율이 좋은 기계장치와 이산화탄소를 배출하지 않는 에너지원의 개발뿐만 아니라, 자연냉방요소로서의 자연채광 또는 개폐창문이 포함된 고성능 외피 디자인에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 국내 친환경건축의 선진화가 가능하리라고 예측된다.

참고문헌

1. 강수연·이연구, Zero Emission Building의 요소기술에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 27권 1호, 2007
2. 이동윤·박진철, 패시브 하우스의 에너지 절약기술 분석, 대한건축학회 제5회 우수졸업논문집 수상논문 개요집 5권 1호, 2009
3. 이현우, 그린 빌딩의 실현과 현대 건축의 그린 빌딩 기술, 대한건축학회지 53권 2호, 2009
4. AIA Research Corporation, Solar Dwelling Design Concepts, the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1976
5. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), Chapter 28. Residential Cooling and Heating Load Calculations. In: ASHRAE. Handbook Fundamentals SI Edition 2001.
6. Brown, G. Z., & DeKay, M., Sun, wind and light: architectural design strategies, 2nd ed., J. Wiley and Sons, New York, 2001
7. Herzog, T., Kaiser, N., & Volz, M., Solar Energy in Architecture, 4th ed., Prestel, Munich, Germany, 1996
8. 에너지관리공단, 2007. 1/4분기 에너지소비 동향 <http://www.kem.co.or.kr>, accessed in 2009
9. BuildingGreen.com, LEED Case Studies, <http://www.buildinggreen.com>, accessed in 2009
10. U.S. Green Building Council, LEED for Homes, <http://www.usgbc.org>, accessed in 2009

[논문접수 : 2009. 10. 06]

[1차 심사 : 2009. 11. 19]

[2차 심사 : 2009. 12. 01]

[게재확정 : 2009. 12. 10]