

역사적 건축물의 에너지 효율 향상을 위한 계획기법

-서양의 연구동향 및 사례를 중심으로-

Technical Measures for Improving Energy Efficiency in Historic Buildings

-Focused on Researches and Case Studies of the West-

김 태 영*
Kim, Tai-Young

Abstract

This study is to research technical measures for improving energy efficiency in the conservation and reuse of historic buildings focused on the recent research trends and case studies of the west. These measures are broadly classified into three types, the passive measures for saving energy and increasing comfort, the most cost-effective energy saving strategies, and the renewable energy sources. Firstly, the passive measures are divided into the elements and systems. The passive elements are awnings and overhanging eaves, porches, shutters, storm windows and doors, and shade trees. There are also the natural ventilation systems such as the historic transoms, roofs and attics to improve airflow and cross ventilation to either distribute, or exhaust heat. Secondly, the most cost-effective energy efficiency strategies are the interior insulation, airtightness and moisture protection, and the thermal quality improvement of windows. The energy efficiency solutions of modern buildings are the capillary-active interior insulation, the airtightness and moisture protection of interior walls and openings, and the integration of the original historic window into the triple glazing. Beyond the three actions, the additional strategies are the heat recovery ventilation, and the illumination system. Thirdly, there are photovoltaic(PV) and solar thermal energy, wind energy, hydropower, biomass, and geothermal energy in the renewable energy sources. These energy systems work effectively but it is vital to consider its visual effect on the external appearance of the building.

주요어 : 역사적 건축물, 에너지 효율, 패시브 기법, 신재생 에너지

Keywords : Historic Building, Energy Efficiency, Passive Measure, Renewable Energy

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

서양에 있어서, 역사적 건축물¹⁾은 문화적 정체성의 근간이다. 이들은 입지와 주변 환경의 특성과 내력에 영향을 미치며, 과거와 연결되면서, 오랜 시간에 걸쳐 장소의 변화에 대한 정보를 제공한다. 또한 문화적 가치의 보존뿐만 아니라 에너지를 균형적으로 사용할 수 있는 대상이기도 하다. 역사적 건축물이 지닌 내재에너지(embodied energy)²⁾

상대적으로 신축, 혹은 파괴하면서 생겨나는 이산화탄소를 줄일 수 있다. 보존성을 고려하면서 동시에 적극적으로 활용할 수 있는 방안이 마련되면, 최근의 이산화탄소 저감 목표에 커다란 기여를 할 수 있을 것이다.

우리나라에서도 근대건축문화재를 중심으로 한 역사적 건축물의 보존과 활용에 있어서, 용도 변경과 구조 보강 이외에 현대적인 설비시설의 설치로 인하여 변경이 요구되면서 에너지의 효율을 향상시키기 위한 방안의 마련이 절실하게 요구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 서양의 역사적 건축물에 대한 에너지 효율 관련 제반 지침 및 연구업적을 중심으로, 건축물을 보존하면서 동시에 에너지 효율을 향상시키기 위한 기술적인 방법들에 대하여 알아보려고 하는 것이다.

역사적 건축물의 보존과 에너지 효율을 함께 다루는 것은 문화적 가치뿐만 아니라 사용상의 사회적 가치를 균형 잡히도록 할 것이다. 또한 에너지 비용을 낮춤으로써 역사적 건축물의 유용성을 향상시키고, 동시에 지속적인 사용도 가능하게 할 것이다.

1.2 연구의 내용 및 방법

역사적 건축물의 에너지 효율 향상 관련 기법들은 오랫동안 지녀왔던 에너지 절약과 실내공간의 쾌적성 관련

* 청주대학교 건축학과 교수
(Corresponding author : Department of Architecture, Cheongju University, taiplan@cju.ac.kr)

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2016R1D1A3B03930140)

1) 본 연구에서 역사적 건축물이라 함은 역사 문화적으로 중요한(historic) 건축물을 일컫는다. 서양에서는 시대를 넘나들면서 대상 건축물을 포괄적으로 다루고 있으나, 우리나라의 경우 서양의 문물을 접한 근대기에 건립된 근대건축문화재가 여기에 해당된다고 할 수 있다.
2) 이는 원자재를 추출하여 생산품으로서의 건축물을 제작, 운송 및 설치하는데 필요한 에너지를 말한다.

에너지 효율 솔루션	패시브기법 (Passive Measures)	처마와 차양, 포오치, 덧창, 오르내리창, 교창, 도머창
	에너지 효율 증진 전략 (Energy Saving Strategies)	단열, 틈새보호 및 기밀성 개선, 창호수선 및 교체
	신재생에너지 시스템 (Renewable Energy System)	태양열 집열판 및 패널, 풍력, 수력, 바이오매스, 지열

Fig. 1. Energy efficiency solutions for historic buildings

패시브 기법(passive measures)을 비롯하여 수리공사시 시행되는 에너지 효율 증진 전략, 그리고 최근 부각되고 있는 신재생에너지 시스템의 도입으로 3구분할 수 있다.

첫째, 서양의 역사적 건축물이 오랫동안 지녀왔던 패시브 기법으로는 ‘돌출한 처마와 차양’, ‘포오치와 발코니’, ‘덧창’ 등의 건축적 요소들을 비롯하여 ‘오르내리창, 교창(transom), 도머창(dormer window)’의 다양한 창호, 그리고 내부공간의 조합을 통하여 발생하는 자연 채광 및 환기시스템을 들 수 있다.

둘째, 에너지 효율에 대한 증진 전략은 역사적 건축물을 현재의 기후와 생활환경에 적합하도록 변경하는 것으로, 에너지와 관련하여 열 흐름을 조정하는 것이다. 여기에는 기존 건축물의 ‘단열’, ‘틈새 보호 및 기밀성 개선’, ‘창호 수선 및 교체’와 같은 비용대비 효율이 높은 에너지 절약 전략이 해당된다.

셋째는 태양광 발전(photovoltaics), 태양열 집열판 및 패널(solar collector/panel), 풍력을 비롯하여 기타 수력, 바이오매스(biomass) 보일러, 지열에너지와 같은 재생 가능한 에너지원들을 에너지 효율이 높은 신축 건축물에 비견될 수 있도록 역사적 건축물에 도입하는 것이다.

이와 같은 연구내용의 전개를 위해서, 2010년대 이후부터 시작하여 최근에 이르기까지 미국과 유럽을 중심으로 활발하게 진행되고 있는 역사적 건축물의 에너지 효율관련 연구동향이라든가 국가와 지자체의 시책 및 가이드라인과 같은 구체적인 시행 항목에 대하여 문헌중심으로 살펴본다. 이는 그동안 이루어졌던 연구업적이나 지침을 정리하고, 고찰한 것이다.

1.3 연구의 동향

본 연구와 관련된 최근 자료로는, 2010년 11월 영국의 헤리티지(English Heritage)가 발간한 ‘에너지 효율과 역사적 건축물’이 있다.³⁾ 이는 건축 법규 중 연료(fuel)와 동력(power)의 보전을 다루는 ‘L’조항의 역사적, 전통적 구조물에 적용하기 위한 내용들로 구성되었다. 기존 건축물을 대상으로 특성과 가치, 그리고 환경상의 시스템 이해를 토대로 에너지 효율 방안을 모색, 증진시키려는 것이다.

3) Energy Efficiency and Historic Buildings : Application of part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings, English Heritage, 2010. 11(Revision, 2012. 6). 2015년 4월 영국의 역사적 건축물 및 기념물 위원회는 ‘잉글리쉬 헤리티지’에서 ‘히스토리컬 잉글랜드’(Historic England)로 변경하면서, 이 서적을 수정 보완하였다.

미국에서는 2010년 들어서면서 오랜 역사를 지닌 동부지역의 도시를 중심으로, 역사적 건축물의 보존과 관련한 에너지 효율 및 재생에너지에 대한 관심이 부각되기 시작하였다. 뉴햄프셔주 포트머드(Portsmouth, NH)는 ‘스마트 성장과 뉴 어바니즘’의 목표 하에 역사지구위원회와 지역에너지위원회, 그리고 역사적 주택의 소유자들 각각의 역할에 대한 안내서를 제작, 간행하였다.⁴⁾ 워싱턴 시에서도 에너지 소비를 감소하기 위한 패시브적인 방책과 더불어, 석유와 석탄에너지 사용을 축소하기 위한 재생에너지 시스템의 설치를 권장하였으며,⁵⁾ 사우스 캘로리나주 노스 찰스턴(North Charleston, SC)에서는 역사적 주거지에서의 에너지 효율에 대한 구체적 실천 사례를 소개하였다.⁶⁾

이러한 모든 성과는 2012년 2월 미국 북동쪽의 메인주 포트랜드(Portland, Maine)에서 시행한 가이드라인으로 귀결되었다고 할 수 있다. 이 지침서는 우선 역사적 건축물의 특징을 파악한 뒤, 건축물 성능평가를 시행하도록 하고 있다. 이어서 기존의 건축물에 대하여 에너지를 절약하고, 실내공간의 쾌적성을 확보하기 위한 기존의 방책들에 대하여 숙지하고서, 비용 효율이 높은 에너지 절약 전략 및 장기적인 에너지 효율계획 수립을 제안하고 있다.⁷⁾

최근 유럽의 리서치 프로젝트인 3ENCULT(Efficient Energy for EU Cultural Heritage)가 역사적 건축물과 기후보호 사이의 간격을 연결시키고자 다양한 접근방식을 시도하고 있다. 단열, 기밀성 개선, 그리고 열회수 환기와 같은 에너지 효율 방책으로 구조적 손상을 예방하고, 에너지 비용을 낮춤으로써 건축물의 유용성을 향상시키고 있다.⁸⁾

국내에서는 에너지 환경과 관련하여 한국건축친환경설비학회, 한국생활환경학회를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 대한건축학회에서도 국내 패시브 하우스의 디자인 수법 및 계획특성에 대한 연구⁹⁾를 비롯하여 저에너지 및 친환경건축기술기법에 대하여 활발하게 제안¹⁰⁾하고 있으나, 역사적 건축물의 가치와 특성을 토대로 하여 에너지를 절약하고, 실내공간의 쾌적성을 증대하기 위한 연구는 미진하다.

- 4) Energy Efficiency, Renewable Energy, and Historic Preservation: A Guide for Historic District Commissions, Clean Air-Cool Planet(Portsmouth, NH), 2009
- 5) Historic Preservation & Energy Efficiency, Carmer Mercer, City of Washington, East Carolina University, 2010
- 6) Energy Efficiency in Historic Residences: A Case Study, Benjamin Leigh and Sarah Welniak, Historic Charleston Foundation(SC), 2010.5
- 7) Guidelines for Improving Energy Efficiency in Historic Buildings, Maine Preservation(Portland), 2012.2
- 8) Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings (A Handbook), edited by Alexandra Troi, EURAC research, and Zeno Bastian, Passive House Institute. Birkhäuser Basel. 2015
- 9) 미기후 조절형 패시브하우스 디자인 수법, 김민경, 대한건축학회논문집, 2009. 8, 국내의 패시브하우스의 계획특성 비교 연구, 양정필, 대한건축학회논문집, 2013.10
- 10) 에너지의 효율적 관리를 위한 스마트 패시브 방법론 연구, 고귀한, 김정곤, 대한건축학회학술발표논문집, 2014. 4, 기후 지역별 친환경 건축 기술 분석에 관한 연구-패시브 기법을 중심으로, 고귀한, 김정곤, 대한건축학회 학술발표논문집, 2015.4

2. 패시브 기법

2.1 패시브 건축요소

역사적 건축물을 비롯하여 역사적 건축물들은 오래전부터 지역의 기후와 환경조건에 적응하면서, 열 효과를 증진시켜왔다. 햇빛을 수용 혹은 차단하고, 비바람을 피하면서, 열적 쾌적성을 향상시키기 위한 패시브 기법을 끊임없이 개발하여 왔다. 이 가운데 건축적 요소들로는 돌출한 처마와 차양, 포오치(porch), 덧댄 창호, 셔터(shutter)와 블라인드(blind), 그리고 빛을 차단하는 차광나무 등을 들 수 있다.

건축물에서 돌출한 처마는 에너지 성능 이외에 현취 현상을 감소시키고, 비 들이침으로부터 보호하는 역할을 한다. 창호 위에 놓인 차양 역시 이와 동일한 기능적 역할을 수행하면서, 에너지 비용을 조절하는 역할을 한다. 이들 요소들은 태양 고도가 높은 한 여름동안에는 내부 공간으로의 일사량을 제한시키고, 태양 고도가 낮은 추운 겨울에는 일사를 수용하여 내부공간을 따뜻하게 한다.

포오치라든가 포티코(portico), 그리고 캐노피 등의 현관 앞 돌출부 역시 건축물의 보온, 햇빛과 비바람의 차단, 그리고 자연 환기를 조절하기 위하여 설치된다. 이들은 건축물의 열기로부터 벗어나 선선하고, 그늘진 편안한 장소를 제공하는 역할을 하면서, 흔히 태양이 가장 뜨거운 남쪽과 서쪽에 위치한다.

창호 중에 덧창과 덧문은 에너지 효율을 향상시키는 수단이다. 이중창의 전통적인 수법이라 할 수 있는 외부 덧창은 건축물로 유입되는 공기를 따뜻하거나, 차게 한다. 덧창은 단열을 유지한 채 공기 유입을 감소시키고, 창호의 수명을 연장시키며, 그리고 유지비를 감소시킨다. 실제적으로는 역사적 건축물의 외관에 영향을 미치지 않는 내부 덧창이 추천되고 있는데, 이때에 창과 내부 덧창 사이에 생겨나는 응결 현상에 유의해야 한다.

햇빛을 조절하는 셔터는 수평, 혹은 수직으로 작동되며, 창호의 크기에 맞아야 한다. 사용자가 스스로 작동하여 자연채광을 받아 들여 건물의 내부공간을 따뜻하게 할 수 있다, 또한 빛을 차단하거나, 냉방 비용을 감소하기 위해 셔터를 닫을 수 있다. 퇴색되거나, 없어진 목재 셔터를 개구부에 적합한 새로운 유닛으로 대체할 필요는 있으나, 이전에 셔터가 없는 곳에 새롭게 설치할 필요는 없다. 이와 유사한 기능적 역할을 하는 것으로, 겨울밤의 열 손실을 감소하기 위한 블라인드, 휘장 및 커튼이 있다.

이외에 바람막이로서의 차광나무(shade tree)가 있는데, 이것은 흔히 에너지를 절약하는 수단이 된다. 적당하게 자리 잡은 낙엽수는 일 년 내내 전기시스템으로 들어가는 비용을 감소시킨다. 나뭇잎은 따뜻한 기간에 건축물 안으로 들어오는 일사량을 차단하여, 냉방 비용을 낮춘다. 마찬가지로 추운 기간에는 나뭇가지를 관통하는 햇빛을 받아들이면서 건물을 따뜻하게 한다. 반면에 침엽수는 적당한 위치에 놓여, 바람막이로서의 역할을 한다. 이것은 건축물의 재료와 특징에 영향을 미치는 겨울바람의 손상으로부터 건축물을 보호한다.

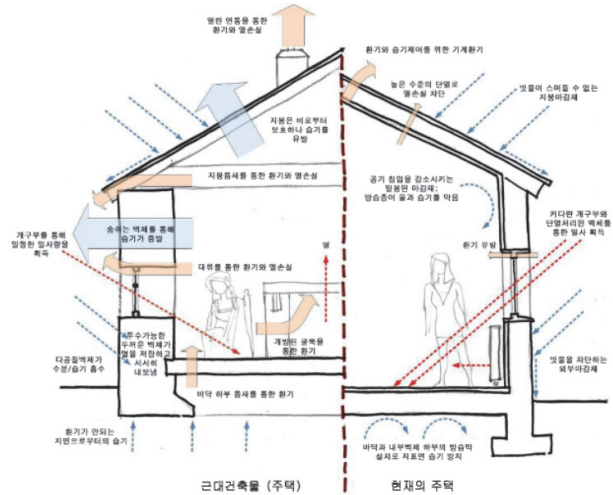


Fig. 2. Historic buildings are breathable buildings

<HEET_Step 2 Maintenance to Save Energy in Historic Buildings (1), p.20>

2.2 자연채광

일조에 의한 자연채광은 우선적으로 창을 통해 이루어진다. 역사적 건축물에 있어서, 벽체에 대한 유리의 비율이 20% 이하일 때에 열손실이 가장 작았다고 한다.¹¹⁾ 따뜻한 기후에서 많은 창은 환기를 유용하게 하지만, 넓은 지붕처마라든가 차양, 내외부 셔터, 블라인드, 차일, 커튼 등은 창을 통해 열 획득을 감소시킨다. 이와 같이 창을 통한 자연채광은 건축물의 에너지 효율에 중요한 작용을 한다.

교사, 상업용 건축물, 방앗간 등에서 볼 수 있는 커다란 창과 채광정(採光井, light well)은 건축물 전체를 특징짓게 하는 요소들이면서, 흔히 건축물 안으로 자연광을 유입시키거나, 내부공간을 환기시키는 역할을 한다. 이것은 전기에 의한 조명을 감소시키고, 건축물 중앙의 빈 공간을 두어서 일조를 수용하고, 바깥을 조망할 수 있는 창을 설치할 수 있도록 한다. 채광정은 햇빛을 반사하기 위해 흔히 유약을 바른 오지벽돌(glazed bricks)로 띠를 두른다.

역사적 건축물에 있어서, 출입구 상부의 원형 창을 비롯하여 천창(天窓, skylight)도 자연채광을 받아들인다. 원래의 천창은 커다란 내부공간을 밝힐 뿐만 아니라 건축물의 외부 형태에서도 중요한 역할을 한다. 건축물 내부에 자연채광을 제공하기 위하여 설치되었으나, 전기조명의 도입 및 소방법규의 제한으로 인하여 대부분 제거되거나, 새로운 재료로 감추어졌다. 드러난 천창이라 하더라도 수리하기 위해서는 접근이 어렵고, 수리된 상태도 불량하여 비가 쉽게 새기도 한다. 내구력 있는 복원을 위해서는 보수뿐만 아니라 건축물의 구조적 요소까지도 검토해야 한다.

2.3 자연환기

일조를 위한 창은 건축물의 내부공간을 환기시키는 역할도 한다. 역사적 건축물의 외관상 특징이라 할 수 있는 오르내리창(내리닫이 창, double hung window)은 상하로 이

11) PRESERVATION BRIEFS 3, Guidelines for Improving Energy Efficiency in Historic Buildings, Roofs

중 개구부를 두면서 실내외공간의 대류현상을 조정한다. 또한, 전통적인 건축물에 흔히 사용되는 창문 위의 교창(交窓, transom)은 열을 더욱 잘 배분하고 배기하기 위해 기류와 맞통풍(cross ventilation)을 향상시키는 역할을 한다.

자연발생적인 환기는 서양의 중층 건축물의 중정형 채광정에서도 나타난다. 햇빛의 유무에 따라 구획된 밝고, 어두운 열 공간에서 온도 차이에 따라 찬 공간에서 따뜻한 공간으로의 기류 변화가 발생한다. 바람에 의한 환기는 과열을 방지하고, 한 여름에 시원함을 제공하는 가장 효율적인 방법 중 하나라 할 수 있다.

중정형 채광정은 자연적인 맞통풍뿐만 아니라 수직 상향으로도 내부 공기의 움직임을 발생시켜 건축물의 열환경을 향상시킨다. <Fig. 3>과 같이 굴뚝 모양의 구조물에 의한 연돌 환기(stack ventilation)는 지붕 위의 바람에 의해 생겨난 열부력(熱浮力, thermal buoyancy)과 부압(負壓, negative pressure)¹²⁾에 의한 공기의 수직 상향 움직임으로 정의내릴 수 있다.¹³⁾ 지붕 상부의 도머 창(dormer window)과 큐폴라(cupola), 그리고 건축물의 상부에 효과적인 개구부를 제공하여 공기의 이동을 유도하는 것이다.

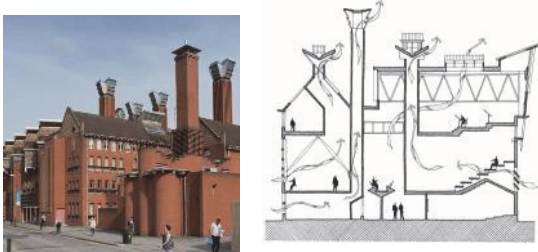


Fig. 3. Stack ventilation : chimney-like structures at the queen's building, De Monfort university, Leicester England

이들 건축물은 중앙 홀 상부에 망대(望臺), 혹은 다락으로 오르내리는 해치(hatch)를 갖고 있는데, 여름에 이 해치를 열면, 뜨거운 공기를 건축물 밖으로 통풍시키는 상향 기류를 발생시키면서 아래층의 창문으로 신선한 바람을 끌어들이 수 있다. 열 손실을 방지하기 위해 이 해치를 제거하게 되면, 더운 시기에 자연 냉방을 하지 못하게 하는 원인을 제공하게 된다.

다락과 지붕이 밀폐된 체로 단열이 되거나, 환기가 제대로 안될 때 지붕면은 자주 해동(解凍)될 것이다. 이는 쌓인 눈의 아랫부분을 녹게 하면서, 지붕 널 아래로 물을 끌어올리는 아이스 댐(ice dam)을 만들어 지붕을 훼손하면서, 처마부에서 다시 얼게 하는 현상을 초래한다. 다락과 지붕을 단열하거나, 밀폐할 때는 지붕면을 추운 온도에서 얼려있는 상태로 남겨두도록 하는 용마루 통풍구, 혹은 적어도 박공 루버 통풍구와 함께 처마 밀 통풍구를 두어 아이스 댐을 방지한다.¹⁴⁾

12) 물체의 표면에 물체를 흡인하는 방향으로 가해지는 수직력, 흡인력이라고도 한다. 대기압보다 작은 압력
 13) Stack ventilation strategies in architectural context: A brief review of historical development, current trends and future possibilities, Mazran Ismail & Abdul Malek Abdul Rahman, IJRRAS 11(2), May 2012
 14) Guidelines for Improving Energy Efficiency in Historic

3. 에너지 효율의 증진 전략

3.1 내부 단열

단열은 건축 재료의 단열 성능치인 열 흐름에 대한 저항 R값(R-value)으로 정의된다. R값이 높을수록 단열 성능이 크며, 공기유입이 감소되는 것이다. 단열이 적합하게 이루어지면 공기유입을 차단할 수 있으나, 적합하지 못하면 구조물의 열화(劣化)를 발생시켜 습기에 간히는 환경을 유발할 수 있다.

최근의 건축물은 단열, 방습, 이중창 및 환풍기 등을 갖추고 있으나, 역사적 건축물은 수증기가 투과할 수 있는 재료와 기술로 만들어졌다. 돌과 목재, 석회재료는 습기를 흡수하고서, 점차적으로 증발시키고, 창문과 벽난로, 그리고 지붕에서의 외풍으로 환기하면서 습기를 없앤다.

따라서 이들 건축물에서 부적합한 단열은 습기를 불러 일으켜 원래의 의도된 방식에서 벗어날 우려가 있어, 습기 차단재를 사용하거나 기술적인 처리를 통하여 이러한 문제를 해결해야 한다. 다만 외기와 면하여 습할 우려가 있는 다락방, 지하실 및 좁은 공간에서의 단열은 건축물의 특성에 손상을 입히지 않고서도 더욱 나은 열적 성능을 제공할 수 있을 것이다.

건축물의 물리적 측면에서 볼 때, 외부 단열이 효율 및 기술적 측면에서 바람직한 해결책이나, 역사적 건축물은 파사이드의 보존 가치 때문에 내부 단열이 선호된다. 이러한 내부 단열은 에너지 절약뿐만 아니라 이산화탄소의 저감, 창문의 교체 이후 구조물의 손상을 막기 위한 응축물과 곰팡이에 대한 보호, 열적 쾌적성의 향상, 기존 건물 형태의 유지와 같은 적극적인 효과를 보여준다.

그러나 기존의 벽체를 차갑게 하는 내부 단열은 잠재적인 건조 상태를 감소시킬 뿐만 아니라, 단열 처리된 내부 표면에 기포의 응결을 낳게 하기 때문에 습기문제를 다루는 것이 가장 중요하다. 습기를 완화한 투습성 증기에 의한 모세관 활성 단열(capillary active insulation) 시스템 방식이¹⁵⁾ 구조물 내의 습기 규제, 건강한 실내기후의 유지,

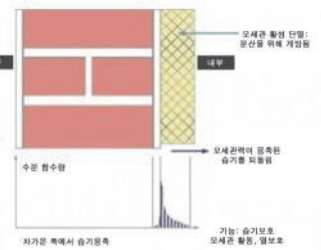




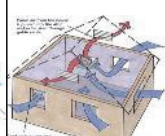
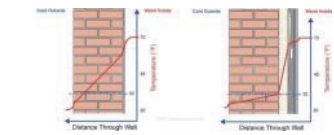



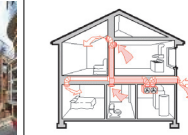
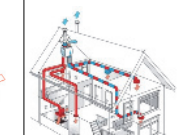








Fig. 4. Principles of capillary active insulation

Buildings, pp.4-6 이러한 원리와 마찬가지로 지하 기초 부분에도 외기에 면한 부분에 갤러리를 둔다든가, 지하 바람굴(earth air tunnel)을 두어 밀폐된 지하공간을 환기시킨다.

15) 습기 문제를 다루고, 이의 축적을 방지하는 2가지 방식은 불침투성 증기시스템과 침투성 증기에 의한 모세관 활성 시스템이다. 불침투성 증기 내부 단열시스템은 애초부터 수증기를 벽체로 들어오게 하지 않는 것이며, 모세관 활성 내부 단열 시스템은 증기를 벽체로 분산시키고, 그 결과로 발생하는 습기를 완화하면서 액화된 물을 제거하는 방식이다<Fig. 1>. A concept of capillary active, dynamic insulation integrated with heating, cooling and ventilation, air conditioning system, Mark BOMBERG, Frontiers of Structural and

Table 1. Technical measures for improving energy efficiency of historic buildings

항목(ITEMS)		기술적 대책(Technical Measures)					
패시브기법 (Passive Energy System)	패시브 요소	Orientation, Thick walls, Awnings and Overhanging Eaves, Porches, Shutters(Blinds, Curtains), Storm Windows and Doors, Window Coverings, Windbreaks, Shade Trees					
	자연채광 및 환기	Passive Heating(Insulation, Individual Heating, Low Ceiling), Passive Cooling(Night Ventilation, Shading, other efficient equipments), Transom, Light Wells, Attic and Roof, Ridge and Gable Louver Vent					
							
처마	차양	덧창	채광정	도머창	자연환기		
에너지효율 증진전략 (Energy Savings Strategies)	내부단열	Internal Insulation, Vapour-permeable, Capillary-active, Interior Insulation System(IIS)					
	틈새보호 및 기밀성 개선	Need to breathe, Draught-proofing, Sealing gaps in Siding and Interior walls, Sill openings, Holes and Utility penetrations, and other Leaking Joints. Beam Ends					
	창호의 교체	Thin-layer Glazing, Improving Window Frame and Edge bond, Glass-dividing Elements, Natural light and Shading, Smartwin Historic					
	기계적 환기시스템	Mechanical Ventilation, Automatic Flow Balance Control, Central versus Decentralized Systems, Heat Recovery Unit, Air Inlet and Outlet					
	주광 및 인공조명	Illuminance, Luminance, Responding to the Needs of those using the Structure, Taking into account the Historic Fabric of the Building					
							
내부단열 시스템(IIS)	외풍 차단	틈새 밀봉	스마트 창	기계환기			
신재생에너지 시스템 (Renewable Energy System)	태양광발전 태양에너지	Photovoltaics(PV), Solar Thermal Energy, Solar Water Heating Systems, Solar Panels, Solar Collectors					
	풍력 에너지	Mechanical Energy, Mast, Turbine, Core Electrical Components					
	기타 에너지	Hydropower, Biomass, Geothermal Energy					
							
태양열 집열판	태양전지판	태양열 타일	풍력	수력	바이오매스 보일러	지열에너지	

투습성 구조, 잠재적 건조 상태의 유지, 서리 피해와 같은 장점을 지닌다. <Fig.4> 내부 단열시스템에 있어서, 창틀과 내부 벽체의 연결부와 같은 상세부의 설계뿐만 아니라 습기 관리(moisture management)가 계획 단계에서부터 이루어져야 한다. 이것은 열교현상¹⁶⁾과 같은 복잡한 구조물의 현상을 평가하기 위해 실제의 기후조건을 이용한 습열 시뮬레이션으로써, 외벽에 떨어지는 비의 보호와 함께 기밀성 및 대류 현상을 고려해야 한다.

영국의 헤리티지에서는 단열재를 추가함에 있어서 2단계의 절차를 밟도록 하고 있다.¹⁷⁾ 첫 단계에서는 기존의

공극(voids)과 되돌릴 수 있는 기술과 디테일을 사용하되, 가능한 건축물의 손상을 최소화하는 곳에서만 시행하고 있다. 이 때, 전통적인 투습성 구조에 적합한 단열재의 사용으로 위험 부담을 최소화시킨다. 예를 들면, 다락 공간의 단열은 천정 레벨, 혹은 지붕 밑에 설치되는데, 단열 상부에 환기 경로를 두도록 하고 있다. 지붕과 천정 목재에 영향을 미칠 응결을 방지하기 위해 내달린 목재 바닥을 교체할 시, 바닥 사이에 설치하는 단열에 있어서도 환기 경로를 단열 아래에 설치한다.

1단계가 탐색되었거나, 혹은 시행된 이후에 2단계가 진행된다. 적합한 곳은 외피인 석조, 혹은 벽돌조 벽체와 같은 솔리드 요소이다. 이들의 단열은 새로운 구조에 필적할 만큼 에너지 효율을 향상시킬 수 있으나, 건축물의 특성과 외관을 손상시키지 않으면서 단열하는 것은 매우 어렵다. 잘못된 작업으로 말미암아 2단계의 단열재 추가가 중요하지 않을 수 있다.

Civil Engineering, 2010, Vol.4 Issue(4), pp.431-437

16) 열교현상(Thermal bridge) : 구조상 일부 벽체가 얇아진다는 지, 재료가 다르다든지 하여 열관류 저항이 작은 부분이 생기는 현상으로, 결로하기 쉽다.

17) Energy Efficiency and Historic Buildings, 2010, pp.46-47

3.2 틈새 보호 및 기밀성 개선

역사적 건축물에 있어서 수많은 에너지가 구조물의 틈새(gaps)를 통하여 손실된다. 틈새의 공기 침입으로 발생한 열 손실은 단열 효과라든가, 자가 전력으로 만들어진 에너지를 비효율적으로 만들어버린다. 물론 적당한 틈새는 건축물을 숨 쉴 수 있게 하면서, 동시에 적당한 환기량을 내부공간에 제공하는 장점을 갖고 있다.

비교적 적은 비용을 들여서 틈새를 보호하고 기밀성을 향상시킬 수 있는 예로는 구조물의 갈라진 금과 구멍의 수리, 설비시설의 설치로 인한 구멍의 마개, 외부 창호의 문풍지, 창 셔터의 복원, 두꺼운 커튼의 설치 등이 있다. 이들을 설치함으로써, 사용자들로 하여금 내부공간의 쾌적성을 향상시키고, 연료비 절감 효과를 가져 오게 할 수 있다. 열 손실의 주요부로는 외벽 널과 만나는 내부 벽체, 창호의 문틀, 구멍 난 부분과 설비 덕트, 누설된 조인트 부분을 비롯하여 굴뚝의 연도(煙道)에 있는 통풍 조절판인 댐퍼(damper), 외부 덕트, 파이프, 다락 해치, 헐거운 이중 새쉬, 기초와 건물 프레임 사이의 조인트 부분 등이다.¹⁸⁾

역사적 건축물에 있어서, 기밀성이 가장 취약한 곳은 층 바닥 목재 보의 천정 부위, 그중에서도 외부벽체와 접합되는 목재 보의 단부 (beam ends)라 할 수 있다. 목구조인 바닥은 회반죽을 바르지 않은 부분으로, 목재 보 천정 근처에서 내외부의 공기 누출을 보여준다. 회반죽을 바르지 않은 조적 벽체의 바닥 부분은 충분히 기밀하지 않으며, 아래 방 (지하실)에서 위로 향하는 목재 보 천정에서의 공기 누출을 보여준다.<Fig. 5>

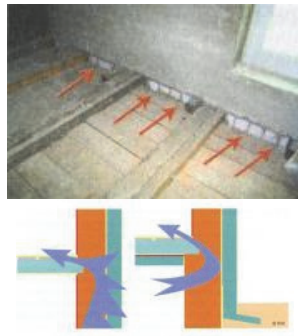


Fig. 5. Problematic area in an airtight layer on the inside : the wooden beam ceiling

이와 같이 제대로 마감되지 않은 목재 보 단부의 기밀성을 개선하기 위해서는 외벽체 부분에서 바닥을 일부 개방하든지, 외부에 면하는 안쪽 전체에 걸쳐 연속된 기밀 층을 만드는 것이다. 이 경우, 내부 단열이 추가되어야 하며, 기밀 층이 보 단부에 의해 막힘이 없이 모두 연결되도록 해야 한다.

3.3 창호의 교체

역사적 건축물의 창은 흔히 위생, 쾌적성, 그리고 에너지 효율 면에서 오늘 날의 요구조건을 만족시키지 못하면서, 에너지 손실의 주요 근원으로 언급되어 왔다. 역사적 건축물을 합리적으로 사용하기 위해서는 역사적 환경에 적합한 창문의 열적 특성을 향상시켜야 할 것이다.

사용자들은 현재의 창호에 대한 깊은 사려 없이 불필요한 비용이 들더라도 에너지 효율을 증가시키기 위하여

대체 창문을 고려한다. 이 때, 창호는 건축물의 열효율을 증대시키고 동시에 건축물과 일체가 되어야 한다. 건축물과 조화되는 이중창을 설치할 수 있다면, 에너지의 효과를 더욱 증대시킬 수 있을 것이다.

목재 창호의 대체는 시장성과 에너지의 효율적 측면에서 역효과를 낳고 있다. 기존의 목재 창호를 대체함에 있어서, 더욱 새로운 창문 모델이 조달과 제조과정에서 에너지를 더욱 잃게 되는 현상을 보여주고 있다. 잘 유지 관리된 목재 창호는 100년 이상 지속할 수 있으나, 대체된 창호는 10-20년의 수명을 가지면서, 30-40년의 에너지 절감 효과만을 갖고 있다.¹⁹⁾ 창호를 비닐계로 대체하는 것은 지속가능한 것도, 에너지 효율 성능이 있는 것도 아니다. 일단 목재 창호가 제거되어 대체되면, 기존의 창호를 동일한 구조물의 하나를 되돌리는 것이 매우 어렵게 된다.

최근 유럽 전 지역에 보급된 유리는 주로 3중 박층 유리이며, 경질 코팅을 사용하여 유리의 열적 성능을 증진시키고 있다. 역사적 건축물은 이중 유리의 설치도 가능하나, 대부분 창문틀이 이중 유리의 두께를 감당할 수 없을 정도로, 폭이 좁다. 때때로 기존의 목재, 혹은 철제 여단이창에서 두께가 비교적 얇은 이중 유리시스템의 설치가 가능한 곳이 있으나, 대부분 알루미늄 프레임으로 대체되었다.

3중 유리를 사용할 경우, 원 프레임의 깊이가 충분하지 않아 프레임을 두 쪽으로 나누고서 새로운 단열 커를 삽입한다. 예전의 창을 그대로 두고, 안쪽으로 3중 박층 유리의 제2의 창을 설치하는 것이다. 이것이 2개의 원리 (principle of two layers)라고 하는 ‘스마트윈 히스토리크’(Smartwin historic)이다. 이는 기존의 창 안쪽으로 상자형의 창과 여단이창을 설치한 것으로, 기존의 창과 새로운 창이 통합된 것이다. 상자형 창은 융통성이 있으며, 여단이창은 값싼 것이 특징이다.²⁰⁾

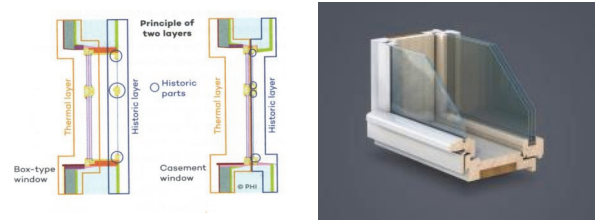


Fig. 6. ‘Smartwin historic’ detail

4. 신재생 에너지의 도입

4.1 태양열 에너지

태양열 집열판으로 알려진 태양광 발전(Photovoltaics, PV)은 햇빛을 전기로 변환시키는 제로탄소기술이다. PV 시스템은 격자연결 시스템과 자립형 시스템의 2가지 유형으로 분류된다. 이 시스템의 비용 효율은 가능한 많은 태양빛을 수용하는 위치와 능력에 달려있다. 위치를 고려함에 있어서, 정남향에서 30도를 벗어나서는 안 되며, 정

18) Guidelines for Improving Energy Efficiency in Historic Buildings, p.7

19) Historic Preservation & Energy Efficiency, 2010, p.11

20) Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings, p.151

오의 태양광선이 90도 각도를 이루도록 한다.

역사적 건축물에 태양열 집열판(solar collectors)을 설치하는데 있어서, 가장 중요한 점은 상호의 통합이다. <Fig. 7>은 1896년에 지어진 덴마크 코펜하겐에 위치한 5층 아파트이다. 내벽 단열처리 이외에 태양광 발전의 셀(Cell)이 지붕에 설치되어 있다. 이들이 건축물의 유리면과 동일한 크기의 모듈로 하여 통합되는 것이 가장 바람직한 미적 가치를 부여하지만, 기존 창에 덧붙임으로 인하여 외견상 시각적 효과를 훼손시키는 단점이 있다. 지붕 위에 설치할 때에는 집열판의 다결정 모듈(Polycrystalline module)의



Fig. 7. Ryesgade 30 A-C(Copenhagen 5 story 32 apartment house from 1896), Facade and solar cell roof (Smart Architectural Retrofitting)



Fig. 8. Semi-transparent Double-glazed PV windows

형상과 색채가 기존 지붕과 조화를 이루어야 한다. PV시스템 설치를 금지하는 법률 조항이 있다면, 건축물의 내부와 상부 이외의 장소에 설치한다.

이러한 이유로 인하여 3ENCULT 프로젝트는 반투명 이중유리인 PV 창이라는 혁신적인 해결책을 개발하였다.²¹⁾<Fig. 8> 이것은 단지 창유리의 교체를 통하여 미적 효과를 향상 시키고 동시에 지붕에 설치하는 부담감을 갖지 않기 때문에 기존의 건축물과 쉽게 통합될 수 있는 장점을 지닌다.

태양 전지판(solar panels)은 평판 집열기와 진공관형 집열기가 있다. 설치 위치에 따라 구조적 검토가 요구되며, 지붕구조가 패널 전체의 무게를 지탱할 정도로 강도를 지녀야 한다. 역사적 건축물의 남면하는 지붕공간이 주요 입면이라면, 태양 전지판이 지붕 위에 놓이도록 하지 않는다. 가능한 해결책은 태양열 시스템을 건축물과 분리하거나, 혹은 증축부에 삽입함으로써 시야에서 보이지 않는 곳에 패널 시스템을 설치하는 것이다. 이는 패널의 시각적 충격을 덜하면서, 계획상의 제반 조건을 만족 시키게 된다.

4.2 풍력 시스템

바람은 풍부한 재생에너지원이다. 풍력기술은 풍력발전 터빈과 관련 부품들을 사용하여 바람의 운동에너지를 획득하고, 이를 유용한 전기에너지로 변화시킨다. 풍력발전 터빈은 회전할 때 전기를 발생하며, 전기를 저장하는 능력은 갖고 있지 않다. 가정용 풍력시스템은 1~6kw를 생



Fig. 9. Historic batteries provide the structural framework, and the ideal oceanfront location, for the wind turbines. Concept rendering(Old buildings, New designs, Charles Bloszies, Princeton architectural press, 2012, pp.136~137)

산하며, 이보다 작은 시스템은 배터리를 충전시키거나 동력을 제공하는데 사용된다.

이 시스템의 주요 부품들은 건축물에 고정되거나, 혹은 독립적으로 떨어진 돛대, 터빈, 그리고 코어 전기 부품들이다. 이 시스템의 기본 요건은 터빈을 설치할 공간, 적합한 대지여건, 적절한 풍속(약 5~6m/sec)이다. 기존의 인프라와 연결되어 있지 않으면, 백업할 전기 공급원과 이를 수용할 공간이 추가로 필요하다.

풍력발전 터빈은 풍속이 강하고, 장애물과 식재 등이 없는 높은 곳에 노출되는 것이 바람직하다. 도시환경에 통합시키기는 어렵고, 농촌지역에 더욱 적합하다. <Fig. 9>는 바다 가까이에 위치하면서, 배터리에 장착된 풍력발전 터빈에 대한 개념표현이다. 이러한 표현을 역사적 건축물에 적용할 때는 전통적인 요소가 아니기 때문에 시각적으로 제한을 받는다. 가능한 시각적 충격을 최소화하도록 놓여야 하며, 일반 대중이 통행하는 통로에서 보이지 않도록 한다.

따라서 건축물에 고정된 것보다는, 떨어져서 자립하고 있는 돛대를 탑재하고 있는 터빈을 선호한다. 또한 터빈은 진동으로 인하여 소음을 발생하고, 일정한 조명하에서 회전하는 날개는 깜빡임 현상과 그림자를 일으킨다. 특히 그림자는 건축물과 정원으로 확장되어 경관을 훼손시킬 수 있다.

4.3 기타

태양광 발전과 풍력 시스템 이외에 최근에 부각되고 있는 신재생 에너지로는 수력 및 지열에너지, 그리고 바이오매스(Biomass) 보일러가 있다.

수력 시스템 역시 풍력 시스템과 마찬가지로 물로써 터빈을 돌려 전기를 발생하며, 전기를 저장할 능력을 갖고 있지 못하다. 이 시스템의 기본요건은 항상 흐르는 물이며, 인프라가 없으면 백업할 전기공급원과 이를 수용할 공간이 필요하다. 건축물이 적합한 수원 근처에 위치하면 수력은 가장 훌륭한 재생에너지원이다. 이것은 급류의 강가나, 혹은 폭넓은 강이 위치하고 있는 저지대의 농촌지역에서 더욱 효율적이다.

경우에 따라서 수력은 빙티지 요소로 작용하여 역사적 건축물의 특성을 배가시키기도 한다. 오래된 방앗간은 새로운 수력 전기시설을 위한 장소를 제공하는데 이용되기

21) Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings, p.180

도 한다. 이 때 진동, 소음, 범람, 랜드스케이프 등에 대한 검토가 요구된다.<Fig. 10>



Fig. 10. Hydro system, waterwheel at Buckfast abbey, England

지열에너지는 열펌프로 지면의 열을 취하여 이를 유용한 온도로 배분하는 것이다. 열은 약 100m 깊이의 좁은 시추공, 혹은 온도가 비교적 일정한 지표면 아래 1.8m 주변에 설치된 수평 접지 루프(ground loop)에서 채취된다. 이들 수직, 수평형 지열시스템을 건축물에 적용하기 위해서는 지열을 회수하는 열교환기와, 저온의 지열을 유효에너지로 전환하는 하트펌프 설치를 위한 설비공간이외에 피크 타입에 대비한 난방시스템과 열 분배시스템, 그리고 열펌프 전원 등을 갖추어야 한다.

역사적 건축물에 있어서는 이들 시스템의 각 요소들 역시 시각적인 면에서 조심스럽게 다루어져야 한다. 열원과 히트펌프 사이에 파이프가 연결되어야 하기 때문에 이들의 시각적 간섭을 최소화할 필요가 있으며, 건축물의 조직과 특성을 보호하기 위해 외벽 주변의 파이프 개수를 조정하여 난방의 수준을 낮추도록 한다.

생물체에서 얻어지는 재생에너지원으로서의 바이오매스는 열을 발생하기 위하여 연소로 사용될 수 있다. 바이오매스 난방시스템은 내부공간과 온수를 비롯하여 광범위한 범위에 이르기까지 공급된다. 이 시스템의 기본요건은 연료 원(통나무, 알갱이, 나뭇조각 등), 난방시스템을 설치할 공간, 연료저장 공간과 접근로, 연도, 그리고 적당한 환기이다. 이 시스템은 과거의 벽난로와 굴뚝을 연상시키고, 열효율도 빼어나서 역사적 건축물에 장착 가능한(retrofitting) 기법이다. 다만, 파이프를 비롯하여 설비제품을 교체하고, 연료에 필요한 공기를 제공하기 위한 환기시스템을 개선할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구는 역사적 건축물을 보존하면서 동시에 에너지 효율 향상을 위한 서구의 제반 연구업적 및 지침을 정리, 고찰한 것으로, 건축계획적 기법에 초점을 두어 살펴본 것이다. 이들 기법은 에너지를 절약하고 쾌적성을 증대하기 위한 기존의 '패시브 기법'을 비롯하여, 적극적인 활용을 위한 비용 효율이 높은 '에너지 효율 증진 전략', 그리고 에너지 효율이 높은 최근의 '신재생에너지의 도입'으로 3구분되었으며, 각각의 연구결과는 다음과 같다.

첫째, '패시브 기법'에 있어서, 햇빛과 바람을 수용, 혹은 차단함으로써 에너지 효율을 향상시킨 패시브적인 건축요소들은 두꺼운 벽체, 처마 돌출부와 차양, 포오치와 발코니, 셔터(블라인드, 휘장, 커튼), 덧 창호, 차광나무 등이 있으며, 이를 통하여 일사량과 열을 조절한다. 또한 패시브적인 시스템으로는 채광정을 비롯하여 오르내리창,

교창, 다락 및 지붕의 해치와 도머 창이 있는데, 이들은 자연 채광뿐만 아니라, 열을 배분하고 소모하기 위해 공기 흐름과 맞 통풍을 불러일으키는 자연환기 시스템으로서의 역할도 한다.

둘째, '에너지 효율 증진 전략'에 있어서, 역사적 건축물의 에너지 효율 증진을 위한 변경기법들로는 내부단열, 기밀성 및 방습, 창호의 교체 등이 있다. 이들은 각각 투습성 증기에 의한 모세관 활성 내부단열 시스템, 틈새 보호 및 목재 보 단부의 기밀성 개선, 그리고 3중 박층 유리, 별도 창호 설치와 같은 기법으로 실행되고 있다. 이때 개방된 기존의 환기 경로라든가 물을 빼고 통풍시키는 구멍, 그리고 공기 인출구(air inlet and outlet)를 가능한 유지하도록 한다.

셋째, 역사적 건축물에 도입될 수 있는 신재생에너지들은 태양열, 풍력, 수력, 지열, 바이오매스 등이 있다. 태양열 에너지는 지붕 외관을 손상시키는 태양열 집열판 보다는 벽체 개구부용 태양열 패널과 창호, 그리고 지붕 재료로서 태양열 타일 및 슬레이트가 사용되기 시작하였고, 풍력과 수력 및 지열 시스템을 구성하는 주요 공간 및 부품들은 역사적 건축물의 시각적 간섭을 최소화하는 범위 내에서 설치되었으며, 빈티지 요소로서의 수력에너지 이라든가 외견상 예전의 벽난로를 연상시키는 바이오매스 보일러 등은 역사적 건축물의 특성을 배가시키는 역할도 하고 있다.

참고문헌

1. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings (A Handbook), edited by Alexandra Troi, EURAC research, and Zeno Bastian, Passive House Institute. Birkhäuser Basel, 2015
2. Guidelines for Improving Energy Efficiency in Historic Buildings, Maine Preservation(Portland), 2012.2
3. Energy Efficiency and Historic Buildings : Application of part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings, English Heritage, 2010, 11(Revision, 2012 .6)
4. Energy Efficiency in Historic Residences : A Case Study, Benjamin Leigh and Sarah Welniak, Historic Charleston Foundation(SC), 2010.5
5. Saving Energy in Historic Buildings : Balancing Efficiency and Value, John H. Cluver and Brad Randall, Journal of Preservation Technology, 2010.1
6. Historic Preservation & Energy Efficiency, Carmer Mercer, City of Washington, East Carolina University, 2010
7. Energy Efficiency, Renewable Energy, and Historic Preservation: A Guide for Historic District Commissions, Clean Air-Cool Planet(Portsmouth, NH), 2009

접수일자 : 2018. 01. 10

수정일자 1차 : 2018. 02. 13

계재확정일자 : 2018. 02. 22