

# 미국 신재생 에너지 적용 사례 소개

최근 미국에서 이루어지는 신재생 에너지 관련 연구를 소개하고 그 적용 사례를 설명한다. 이를 통해 다양한 지역적 특징을 갖는 미국의 공기조화와 관련된 신재생 에너지 관련 연구의 특징을 보여주고자 한다.

## 서론

최근 미국에서 발행하는 ASHRAE Journal의 내용을 살펴보면 현재 북미에서 공기조화/냉동 설비 관련한 연구의 흐름을 엿볼 수 있다. ASHRAE에 게재되는 기사의 내용은 건물이나 설비의 효율 향상이나 관리관련 제어 등과 같은 내용이 많은 부분을 차지하고 있으며 상대적으로 냉동기와 관련된 기사의 수는 2011년 이후 매우 제한적인 상황이다.

냉동기 관련 내용이 줄어드는 반면 꾸준히 증가하는 연구의 사례들이 있으니 이는 다름 아닌 신재생 에너지의 난방 및 공조 시스템으로의 활용이다. 미국에서는 지역의 특성상 냉방이 거의 필요하지 않는 지역이 존재하며 이러한 기후에서는 습도가 낮고 일사량이 매우 높아 태양열이나 태양광을 활용하기에 매우 유리한 지역에 속한다. 또한 상대적으로 난방이 많이 필요한 미국의 중서부 지역에서는 지열을 활용한 열펌프 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 미국의 경우 한국에 비해 상대적으로 노후화된 건물이 많기 때문에 기존의 냉난방 시스템을 교체하는 작업이 매우 활발하게 이루어지고 있으며, 설비의 노후화가 시작되는 한국에서도 신재생 에너지를 활용하는 설비의 활용이 필

### 박창용

서울과학기술대학교  
기계시스템디자인공학과  
조교수  
cypark@seoultech.ac.kr

요한 시점으로 생각된다.

따라서, 본 원고에서는 신재생 에너지를 다양하게 활용하는 관점에서 미국의 적용사례와 시사점을 소개하고자 한다. 여기에서는 태양열을 활용하는 주거용 난방 시스템과 지열 열펌프를 활용한 건물의 에너지 효율 향상에 대해 서술하였다. 언급된 태양열과 지열관련 연구사례는 각각 ASHRAE Journal 2012년 2월호와 2012년 9월호에 게재된 내용을 번역 요약한 것이다.

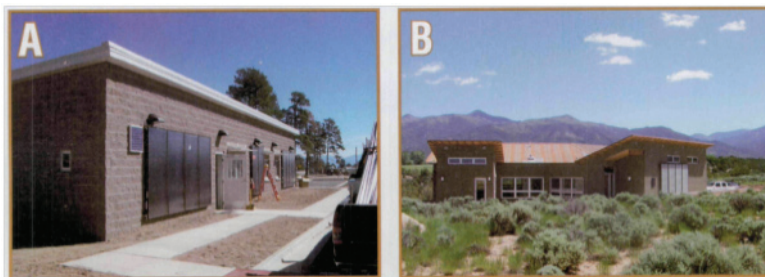
### 태양열과 순환수식 주거용 난방의 통합

첫 번째 연구 사례는 태양열을 활용한 순환수식 주거용 난방시스템이다. 태양열 난방 전문가가 태양열 온수기에 능숙하게 된 이후, 그 다음 논리적 단계는 태양열 콤비시스템을 깊게 연구하는 것이다. 이러한 시스템에서는 집열기 배열이 좀 더 커지고, 열은 하나의 탱크가 아닌 다수의 사용자에게 분배된다. 태양열 콤비시스템은 주거공간의 난방, 온수생산 및 보일러의 예열, 수영장, 스파, 얼음의 용해, 열저장 장치 등에 필요한 열을 공급하기 위해 대규모 집열기를 사용하는 것이 일반적이다. 이러한 시스템에 적용되는 배관 시스템은 복잡하고 제어가 만만치 않게 보이게 된다. 하지만 이와 관련된 기술은 이미 성숙되어 있으며, 이를 통한 에너지 절약은 상당할 수 있어,

태양열 난방 기술이 간과되어서는 안된다.

여기서 제공하는 정보는 이 분야의 요약된 보고서로, 지난 5, 6년 동안 설치되었던 100가지 이상의 태양열 콤비시스템(solar combisystem: 일반적인 태양열 집열기를 사용하여 냉난방 및 온수를 제공하는 시스템. 대부분 태양열을 열원으로 사용하지 않는 보조열원과 함께 사용됨)들의 현장 및 설계에서 얻어진 지식에 관해 설명할 것이다. 우리는 가압형 폐루프식 글리콜/순환수 태양열 집열기 시스템을 주로 다룰 것이다. 그 이유는 이러한 시스템이 다양한 건물의 형태나 방향에 거의 제한받지 않고 적용될 수 있기 때문이다. 우리가 얻은 결과와 관찰은 여기에서 권고할 수 있는 최고의 실행방법을 공식화하도록 하였고, 이러한 권장사항은 가정용 혹은 작은 상업용 빌딩의 태양열시스템을 설치하는데 즉시 적용이 가능하였다. (그림 1a와 1b의 예를 보라) 여기서 주로 서술되는 순환수식 태양열 시스템은 소형 빌딩(10,000 ft<sup>2</sup> 미만)을 대상으로 한 신규설치나 기존 시스템의 교체에 관련된 것이다. 우리는 태양열 콤비시스템의 설계, 설치 및 제어에 대해 구체화되고 모듈화된 접근방식이 시스템의 반응성과 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있었음을 알 수 있었다.

미국에서는 해마다 방대한 수의 온수 보일러가 설치된다. 비록 설치되는 온수 보일러에서 순



[그림 1] a): 소규모 상업용 태양열 콤비시스템. b): 주거용 태양열 콤비시스템

환수식 태양열 집열기를 활용하는 비율이 매우 낮지만, 태양열 시스템 수천 대가 매년 설치되고 있음을 의미한다. 또한 지난 20년 동안 설치되어 온 기존의 순환수식 난방시스템들을 태양열 집열기를 활용한 시스템으로 교체하는 것을 고려한다면 태양열 난방이 갖는 기회는 크다고 할 수 있다. 분명 순환수식 난방시스템을 갖춘 수백만 가구와 건물들이 태양열 난방이 쉽게 제공해 주는 연료 절감 혜택을 누릴 것으로 기대된다.

다중 열원과 다중 열 부하는 놀랄만큼 다양한 방법들로 연결될 수 있다. 우리 지역(뉴멕시코 주 북부)에서 일반적으로 적용되는 대부분의 태양열 순환수식 콤비시스템은 다음과 같은 구성을 포함한다.

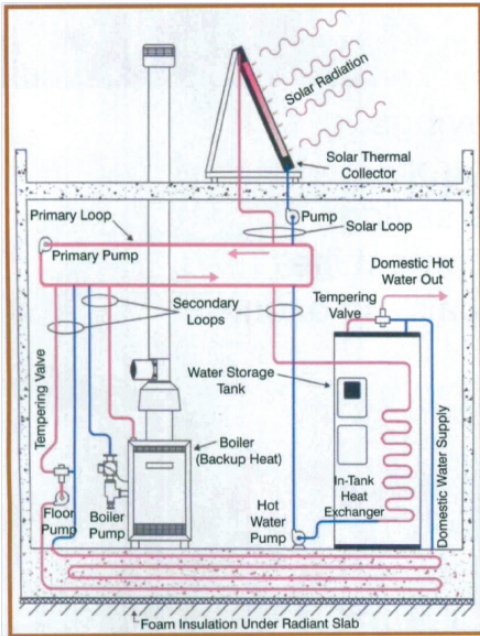
- 다수의 태양열 집열기 배치;
- 천연가스나 프로판 가스를 사용하는 순환수식 보일러;
- 탱크 내부에 열교환기가 장착된 가정용 온수기;
- 몇 개의 난방지역으로 나뉘는 바닥복사난방.

이러한 기초적인 기능이 최근 몇 년간 소규모 빌딩에서 많이 사용되고 있기 때문에 이 같은 응용을 “태양열 콤비시스템 101”이라고 칭한다.<sup>(1)</sup> 이 응용은 두 개의 열원과 두 개의 열부하를 포함하고 있다. 만약 당신이 세 가지 다른 난방장치 공급자들에게 이러한 요구를 제시한다면, 당신은 몇 가지 난해한 제어전략(또는 전혀 없는 제어전략)뿐만 아니라 각각 다른 위치의 동력 밸브, 펌프, T형 관 및 다른 종류의 배관과 배선 계획을 얻게 될 것이며 이는 결국 매우 혼란스러운 상태로 귀결될 것이다. 적절한 설계와 제어는 어떤 기계설치업체에게는 상당히 어려운 일이 될 수 있다. 구성요소들의 제조업자와 공급업자는 장비의 신뢰성을 위해, 설치를 위한 다양한 방법에 대해 많은 고심을 했고, 수많은 선택, 제안과 대안을 제공

하고 있다. 하지만, 이와 같은 다양한 선택사항은 태양열 콤비시스템의 빠르고 안정적인 발전을 가로막는 역할을 할 수 있다. 각각의 선택 가능한 배관 배치는 약간 다른 운전과정과 제어전략을 수반하여, 장시간 동안 성공적으로 작동하기 위해서는 모든 배관 배치에 관한 시스템의 특성을 확실히 이해해야만 하기 때문이다.

우리는 열이 필요한 어떠한 곳이든 태양열을 공급해 주기를 원하며 값싼 열원이라는 이유로 태양열이 이용 가능한 언제든 이러한 공급 가능성을 최우선으로 한다. 만약 태양열이 도달하는 그 순간 저장되지 않고 즉시 사용된다면 태양열 공급 효율은 열의 저장에 의한 손실이나 추가적 펌프동력 및 열교환기에서의 손실이 없기 때문에 최대가 될 것이다. 다른 간헐적인 열원이 시스템에 연결되는 경우 같은 능력이 요구될 것이다.

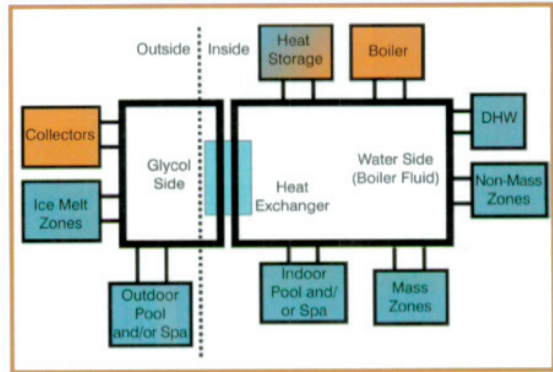
따라서, 어떠한 열원이든 열부하의 요구온도에 이용 가능하다면 연결 가능토록 배관구성이 되어야 하며 온도가 서로 맞지 않거나 열이 더 이상 필요하지 않는 경우 우회하도록 해야한다. 또한 배관의 배치는 쉽게 수정이 가능하도록 하여 열원과 열부하가 표준적인 방법으로 용이하게 추가 및 제거될 수 있도록 한다. 그렇게 하면 설치업체는 대대적인 재설계없이 태양열원, 열저장수조 또는 다른 설비들을 연결하여 사용할 수 있다. 이러한 요구사항을 하나의 표준 배관배치에 담아내는 것이 매우 높은 요구사항이라 보일 수 있으나, 수십년 동안 사용된 하나의 해결방법이 눈에 띈다. Primary loop configuration은 과거 주거용 건물보다는 상업용 건물에서 많이 사용되는 방법이 었지만 이러한 시스템이 태양열 콤비시스템에도 적용될 수 있다. 많은 태양열 콤비시스템이 소형 상업용 및 주거용 건물에 적용된 이후, primary loop을 이용한 접근방법은 매우 적절한 것으로 보인다.



[그림 2] Primary loop flow center

모든 난방 열원과 난방 열부하를 연결하기 위해 flow center가 필요하며 flow center는 서로의 간섭없이 유체를 공급하거나 돌려받는 순환펌프를 모두 연결할 수 있도록 해준다. 이러한 개념은 primary/secondary 배관을 통해 구현 가능하며, primary/secondary 배관은 secondary loop을 연결하기 위해 가까이 위치한 T형 결합장치를 이용한다.

그림 2는 소형 태양열 시스템에 적용하기 위한 개념을 보여주고 있다. 이 그림은 뉴멕시코 북부 대다수의 소형 태양열 주택의 전형적인 시스템의 개념도이고, 여기서 글리콜 보일러의 작동 유체는 가압된 밀폐시스템 내부인 태양열 집열기로부터 바닥, 보일러, 그리고 다른 난방장치로 순환된다. 이러한 개념은 실외 작동유체와 실내 작동유체를 구분시키는 주열교환기를 제거하도록 해주기 때문에 시공비를 감소시키고 태양열 시스템의 효율을 향상시킨다. 태양-직사(solar-



[그림 3] 이중 primary loop 시스템의 블록 다이어그램

direct) 글리콜 시스템은 일반적으로 2000 ft<sup>2</sup> (186 m<sup>2</sup>) 이하 소형 프로젝트에서 사용된다.

현재 바닥의 파이프의 재질이 구리에서 PEX(cross linked polyethylene)로 변환되는 시기이지만, 파이프는 항상 태양열에 의한 과열을 방지하기 위해 온도조절 밸브가 설치되어야 한다는 것을 주목해야 한다. 또한 바닥의 재질과 온수 탱크가 갖는 열저장 용량을 고려하여 태양열 집열기의 크기가 결정되고, 설치되어 적절히 제어된다면 추가적인 열저장용 물탱크는 필요하지 않다는 것을 강조한다. 이 지역(뉴멕시코주 북부)에는 오직 가정용 온수 탱크와 바닥재질의 질량만을 열 저장장치로 이용하는 시스템이 많다. 열원은 발생하는 온도가 증가하는 순서로 primary loop에 배치되어야 하고, 열부하는 반대로 요구되는 온도가 감소되는 순서로 배치되어야 한다. 이는 돌아오는 냉수는 모든 유동 흐름을 갖는 2차 연결 공급된 온수와 혼합되기 때문에 간단한 primary loop에서도 중요하다. 예를 들면, 가정용 온수는 바닥난방용 루프로 유입되기 전에 더 높은 온도를 가진다. 따라서 baseboard의 secondary loop을 위한 T형관은 바닥난방을 위한 T형관 전에 놓여야 하고, 수영장 가열을 위한 열은 바닥난방 이후 취득되어야 한다.



**그림 3**은 최근 태양열 결합시스템의 기준 배관 배열에 관한 기본개념을 블록 다이어그램으로 보여준다. 이 그림은 대형건물 프로젝트나 태양열 시스템으로의 교체작업(약 929 m<sup>2</sup> 이하 규모)에서 전체적인 태양열 순환수 난방을 위한 모든 배관연결을 보여준다. 이러한 배관연결은 글리콜을 사용하는 외부의 부품과 보일러 유체인 물을 사용하는 내부의 부품으로 나뉘어진다. 하나의 primary 열교환기는 조절 시스템에 의해서 건물의 내부 또는 외부로 열을 전달하는 열의 경로로 활용된다. 적절한 온도에 따른 배열 순서를 primary loop 주변에 배치된 부품을 통해 확인할 수 있다. 프로젝트에서 몇몇의 부품들이 포함되지 않았거나 나중에 추가되는 경우 T형관이 삽입 또는 제거될 수 있으며, 추후 사용을 위해 T형관을 설치한 후 캡을 씌워놓을 수도 있다.

**그림 3**에서 보여지는 배관 구성은 위에 언급되었던 요구들에 대한 모든 것을 제공한다. 어떠한 열원도 모든 열부하에 연결될 수 있으며, secondary loop에 설치된 밸브를 조작함으로써 열을 쉽게 우회시킬 수 있다. 모든 열공급 관련 부품들은 primary loop에 연결된 어떤 장치에 대해 직접 열을 전달, 예열하거나 열을 공급하지 않을 수 있다. 각각의 부품들은 primary loop에 2개의 파이프를 통해 간접적으로 연결되어 있기 때문에, 설치 과정 중 또는 미래에 추가되거나 제거될 수 있다. 모듈화된 펌프 시스템이 2개의 파이프를 통해 연결되는 표준화된 형태로 조립속도를 향상시키기 위해 사용될 수 있다. 파이프 연결에서 이러한 모듈 배열을 사용하는 것은 모듈화된 제어를 가능하도록 한다. 부품들과 제어가 모두 연결 후 사용(plug and play)이 가능해지는 것이다.

위에서 언급하였던 가능성을 수행하기 위해서는 세련된 제어기법이 필요하다. 이러한 제어기법을 적용하기 위한 분명한 방법은 현재 여러

제품에서 사용되는 특정 목적을 달성하도록 고안된 제어기를 상호 연결하는 방식에서 벗어나 중앙 컴퓨터에 의한 순수한 소프트웨어 알고리즘 수행 방식을 활용하는 것이다. 추가적으로 제어기의 신호결정 과정을 지원하기 위해 배관의 다양한 물리적 위치에서 시스템의 상태에 관한 많은 정보가 필요하다. 다행스럽게도, 대부분의 필요한 추가적인 정보는 온도측정이며 온도계는 저렴하고 운용하기 쉽다.

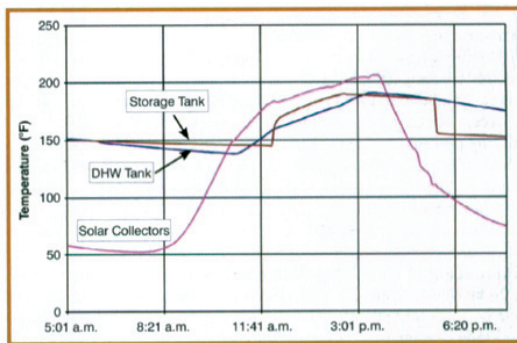
뉴멕시코 산타페에 위치한 필자의 태양열 연구소에서, 완전한 태양열 콤비시스템을 구축하였고 필자들의 제어개념을 실현하기 위해 중앙 컴퓨터와 측정 및 제어를 위한 I/O 및 릴레이 모듈을 시스템에 설치하였다. 컴퓨터와 릴레이, signal conditioning, 측정과 다중화 스위치를 포함하는 인터페이스를 위해, 우리는 플러그 인 컴퓨터와 multiplex, 릴레이와 DMM(디지털 멀티미터)모듈로 구성된 National Instrument사의 PXI 시스템을 사용했다. 시스템은 National Instrument사의 프로그래밍 언어 Labview로 프로그램 되었다. 누군가 우리와 유사한 시스템을 계획하고 제작하기 원한다면, 120V AC 펌프와 24V AC 밸브 액추에이터를 위한 약 대략 30개 전원 스위치가 조작가능하며, 대략 70개의 신호 입력부와 저 전압 DC 신호 입력이 동시에 가능한 컴퓨터가 요구되며 이 컴퓨터는 인터넷 접속이 가능해야 한다. 프로그래밍 언어는 어떠한 것을 사용하여도 된다.

시스템의 모든 센서, 펌프, 및 밸브는 “home-run(통신방식)”으로 컴퓨터와 연결되어있고, 컴퓨터는 모든 의사결정, 제어 및 user-interfacing을 수행한다. 또한 컴퓨터는 매 5분마다 연속적으로 250개 이상의 데이터를 모아 영구적으로 저장한다. 실험공간을 세우고 기술된 시스템을 설치하여 프로그래밍을 완료한 이후, 우리는 4개의 추가적인 시스템을 만들어 실제 가정에 설치

하였다. 실제 시스템 중 3개는 뉴멕시코 주에 나머지 하나는 버지니아 주에 설치되었다. 모든 시스템은 전 테스트 기간 동안 거의 매일 원격 모니터 되었고, 관련 데이터 파일이 수집되었다. 2009년 10월 실제 가정에 적용된 첫 번째 시스템이 작동되었고 현재까지 지속되고 있다. 테스트 프로그램의 마지막 시스템은 2010년 5월에 온라인 모니터링이 시작되었다. 본 원고의 다음 내용들은 5개의 실제 시스템에서 측정된 실험결과와 사례로 구성되었다.

**그림 4**는 여름철 하루 오전 5시부터 저녁 8시까지 버지니아에 위치한 태양열 콤비시스템에서 얻은 데이터를 보여준다. 이 시스템은 물질 내 복사열을 이용한 2개의 난방 구역과 1개의 baseboard 구역으로 구성되었다. 따라서 baseboard 구역을 위한 열저장 탱크가 필요하다. 1년 중 여름철이므로 태양열은 오직 가정용 온수(DHW)의 생산에만 이용되지만, 저장탱크는 열의 완충장치 역할을 하여 낮 시간에 집열기가 과열되는 것을 방지한다. Primary/secondary 루프 개념으로 배관이 연결되어 있으며 지능적이고 중앙집중적인 제어를 통해 열은 시스템 어디든 원하는 위치로 이동이 가능하다.

일출시간은 오전 8시 직후이며 오전 11시가

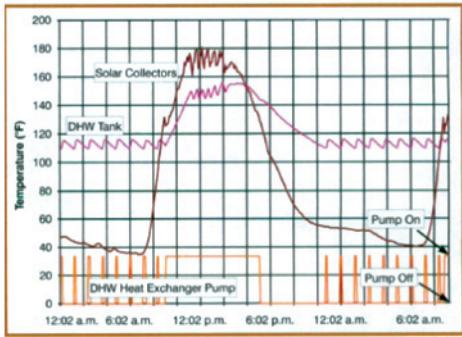


[그림 4] 여름철 버지니아에 위치한 시스템의 열저장 탱크, 가정용 온수(DHW) 사용과 야간 외부 복사 냉각 활용 시스템 데이터.

되면 집열기에서 생산되는 온수는 사용이 가능할 정도의 온도를 갖게 된다. 이 시점에서 열저장 탱크의 온도는 145°F [63°C]이며 가정용 온수탱크의 온도는 140°F [60°C]이다. 시스템이 설치된 가구의 가정용 온수탱크의 크기가 작기 때문에 태양열을 가정용 온수탱크에 공급하는 것을 최우선으로 고려하는 시스템 변수로 설정하였다. 가정용 온수탱크의 목표온도는 160°F [71°C]이다. 가정용 온수탱크에 저장된 태양열은 다음날 일출까지 거주자에게 충분한 온수를 제공한다.

가정용 온수탱크의 온도가 목표 온도에 도달하는 정오 무렵 이후, 열은 열저장 탱크와 가정용 온수탱크 모두에게 동시 공급된다.(열저장 탱크는 보일러를 흐르는 유체로 채워지기 때문에 빠르게 온도를 상승시킬 수 있다.) 2개의 탱크는 정오 이후의 불필요한 태양열을 계속 흡수하게 된다. 오후 3시 직전에 열저장 탱크의 온도는 최고에 도달하며 안전상의 이유로 시스템은 이 탱크로 열을 보내는 작동을 중지한다. 가정용 온수탱크는 계속 열을 흡수하여 오후 3시30분경 최고온도에 도달한다. 일몰이 시작되는 시점까지 2개의 탱크는 지속적으로 불필요한 태양열을 열을 흡수한다. 오후 6시경 집열기는 열저장 탱크의 열을 밤하늘로 복사 방출하는 장치로 사용되며 약 1시간 반 이내로 열저장 탱크의 온도를 다음날의 완충작용을 할 정도의 온도로 낮출 수 있다. 가정용 온수 탱크에 저장된 열은 그대로 둔다. 두 탱크에서 밤새 발생하는 추가적인 온도 하락은 약 5°F에서 10°F (2.8°C에서 5.5°C) 정도이며 가정용 온수는 연료의 사용 없이 계속 사용이 가능하다. 시스템은 또한 밤시간 동안 많은 가정용 온수의 사용에 대비하여 열저장 탱크의 열을 가정용 온수 저장탱크로 이동이 가능하도록 구성되었다.

250개 이상의 데이터를 매 5분마다 저장한 방대한 자료가 있었기 때문에 일반적 작동조건에서



[그림 5] 시스템이 설치된 가정에서 가정용 온수 재순환장치가 연속적으로 작동하여 일출 이후 6시간 안에 DHW 탱크 내부에 저장된 모든 태양열을 손실시킨다.

성능분석이 가능하였다. 그림 5는 이러한 분석 결과를 알리는 것이 사용자의 결정에 어떠한 영향을 주며 Santa Fe 인근의 시스템에서 얼마나 많은 돈이 절약되는지 보여준다. 그림 5는 하루 이상의 기간 동안 낮 시간의 가정용 온수탱크로의 태양열 공급과 밤 시간의 열의 이동을 보여준다. 여름 낮 시간 동안 태양열은 가정용 온수탱크로 공급되며 오후 끝 무렵에 온수온도를 155°F(68°F)까지 상승시킨다; 가정용 온수 열교환기 펌프는 오전 9시30분부터 오후 5시30분까지 가동된다. 이 가정에 설치된 시스템에서 가정용 온수 재순환장치는 계속 가동되기 때문에 거주자는 온수가 필요한 시간에 즉시 사용이 가능하다. 하지만 성능 분석을 통해 가정용 온수 재순환 루프의 몇몇 부분이 단열되지 않아, 루프에 온수를 재순환시키는 동안 바닥, 벽, 지하 등으로 상당히 많은 열이 손실되고 있음을 발견하였다.

자정 시간까지 소량의 가정용 온수의 사용이 존재하며, 가정용 온수탱크에는 최소온도가 설정되어 있어 자정 이후와 이른 아침시간 동안 이 최소 설정온도를 유지하기 위해 보일러는 주기적으로 작동과 정지를 반복하게 된다. 설치된 가정용 온수탱크의 크기는 꽤 컸으며 거주자가 요구하는 그 순간 온수사용이라는 편의를 위해 \$700의 연

료비와 펌프를 작동시키기 위한 추가적인 전기료를 지불해야 한다는 분석결과를 얻었다. 분석결과를 받아본 시스템 소유자가 재순환장치의 작동 방식을 바꾸기로 결정하는 것은 당연하다. 현재 재순환장치는 타이머를 통해 작동되고 있으며 집주인들은 요구가 있는 경우에만 재순환장치를 가동하는 수준까지의 변화를 고려하고 있다.

## 1920년대 건축물에 적용한 지열 열펌프

1923년 Port Huron Junior College로 개교한 학교는, 1967년 비로소 St. Clair County Community College District의 형태를 갖추었다. 1950년대에 학문적 영역의 교육 프로그램을 주로 제공하였던 학교는 직업기술 프로그램을 시작하였고, 현재는 대체 에너지 관련 학위 프로그램까지 운영하고 있다.

전 캠퍼스의 그린빌딩 계획은 몇몇 건물의 효율 향상에서 시작되었다. 이러한 계획은 공학적으로 어려운 여러 프로젝트를 포함하고 있으며 그 중 하나는 오래된 건물들의 HVAC 시스템을 교체하는 것이었다. 오래된 건물들 중 하나



[그림 6] 90년의 역사를 갖는 미시간주 Port Huron에 위치한 St. Clair County College는 1970년대 설치되었던 HVAC 시스템을 최신형의 고 에너지 효율 시스템으로 교체하고, 냉난방을 위해 중앙식 물 대물 열펌프를 설치하였다



는 이전에 Old Main Building으로 알려진 North Building이며(그림 6), 오늘날 이 건물은 전면적 5,470 m<sup>2</sup>, 실면적 4,884 m<sup>2</sup>를 가진 2층 건물로 내부에는 사무실, 강의실, 실험실, 체육관 그리고 체력 단련실 등이 있다. 92년 동안 다용도 건물로 사용되었으며 HVAC 시스템의 교체를 필요로 하였다. 설치되어 있었던 유닛형 냉난방 시스템은 성능저하가 이미 시작되어 각 거주공간에 적절치 못한 공조성능과 소음을 발생시켰다.

설계팀은 1920년대 건물에 최신식의 HVAC 기술을 적용한 장치를 설치하는데 상당한 기술적 어려움을 겪었다. 대학 측은 구식창문 개량이나 외벽의 추가적인 단열에 필요한 자금이 없었기 때문에 현재의 건물 외부구조는 그대로 유지될 수 밖에 없었으며 이러한 상황이 새로운 HVAC 시스템의 설계에 고려되어야만 하였다. 수 주에 걸친 분석과 소요자금의 계산 그리고 건물주와의 협의를 통해, 설계팀은 고 에너지 효율뿐 아니라 에너지 절약의 본보기가 될만한 건물을 대학 내에 만들고자 North Building에 중앙식 물 대 물 지열 열펌프 시스템을 설치하기로 결정하였다.

지열 열펌프의 지열 열교환기를 위한 넓은 공간을 확보하는 것이 밀집된 도시지역에서는 어려웠다. 또한 설계팀은 92년된 건물의 외관을 전혀 손상시켜서는 안되었으며, 가을학기의 시작에 지장이 없도록 5월 3일부터 8월 20일까지의 여름철에 모든 공사를 완료해야만 하였다.

설계초안에서 지중 열교환기는 차지하는 면적을 줄이기 위해 수직형으로 계획되었다. 하지만 Port Huron 시에서는 다량의 메탄가스가 존재하는 호수바닥의 위에 존재하는 건물위치의 특성을 이유로 수직의 깊은 굴착을 허가하지 않았다. 시 측의 수직 굴착에 관한 경험을 근거로 하여 수직형 지중 열교환기는 더 이상 활용하기 어렵게 되었다. 다행스럽게도 주변에 정리되지 않는 주



[그림 7] 총 270개의 slinky coil이 9,066 m<sup>2</sup>의 면적에 2 m 깊이로 설치됨

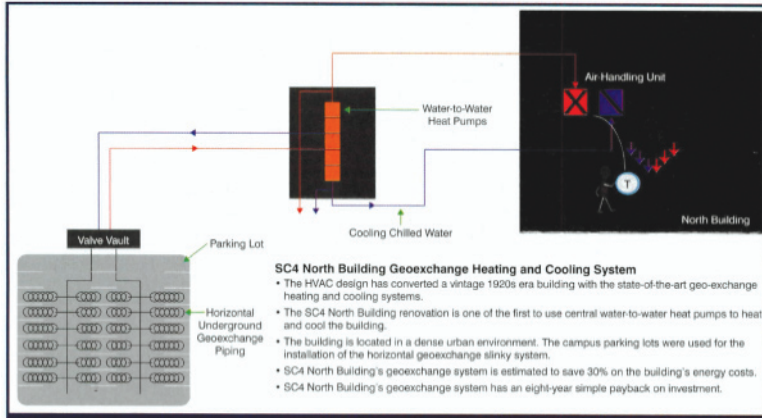
차장 시설을 개량하는 사업과 시기가 일치하게 되어 주차장 부지를 활용하는 수평형 지중 열교환기의 사용이 가능하게 되었고, 대학 측과의 협의를 통해 수평형 지중 열교환기를 활용한 열펌프 시스템을 설치하기로 결정하였다.

새로운 지중 열교환기 부지에 739 kW의 냉방 용량을 제공하는 총 270개의 slinky coil이 9,066 m<sup>2</sup>의 면적에 2 m 깊이로 설치되어 겨울철 동파를 방지하도록 하였다(그림 7). 폴리에틸렌 코일도 용착 방법이 코일에 적용되었으며, 이 방법은 환경 친화적인 프로필렌 글라이콜 계열의 부동액이 코일을 통해 겨울철에는 열을 흡수하고, 여름철에는 열을 지중으로 방출할 수 있도록 해준다.

녹지와 주차장 부지의 아래에 지중 열교환기가 위치해 있으므로 폐 루프로 구성된 파이프 시스템은 콘크리트 아래에 위치하게 된다. 이 공간에 각각 3개의 쌍으로 구성된 4 인치 파이프의 물 공급 및 회수 시스템 및 파이프 분배기 등이 존재한다. 파이프 분배기는 각 slinky coil 내 유동 균형을 맞추도록 배치된다.

선택된 물 대 물 열펌프 시스템은 123 kW의 용량을 갖는 6대의 물 대 물 열펌프를 연결한 것으로 냉방을 위한 냉수나 난방을 위한 온수를 생산한다(그림 8). 모든 6대의 열펌프는 난방/냉방





[그림 8] 물 대 물 열펌프 시스템에는 오직 6대의 열펌프가 필요하며, 이러한 방식은 각 공조 공간에 독립적으로 설치되는 물 대 공기 열펌프의 설치 필요성이 없도록 함.

사이클전환이 가능하다. 건물의 부하 상황에 따라 하나의 열펌프가 난방 또는 냉방 모드로 작동하며, 나머지 5대의 열펌프는 건물의 요구에 따라 난방 또는 냉방 모드로 작동된다. 열펌프에서 생산된 온수 또는 냉수는 옥상에 설치된 2개의 중앙 변풍량 에너지 회수 공조장치로 공급되며 이를 통해 더욱 높은 에너지 효율을 제공한다. 공조 장치에는 환기를 위한 이산화탄소 센서가 설치되었다. 1920년대 고 건물에 최신형의 고효율 물 대 물 열펌프 시스템을 성공적으로 설치하기 위하여 설계팀은 가능한 모든 선택사항을 고려하였다. 설계팀이 지중 열교환기를 활용한 물 대 물 열펌프 시스템을 선택함으로써 기존의 유닛 형 열펌프가 가지고 있던 잠재적 문제점을 해결할 수 있었다. 예를 들어 오직 6대의 열펌프로 60대의 분리된 물 대 공기 열펌프를 대체할 수 있었다. 이러한 설계는 또한 각 공조 공간에 설치되어야 하는 열펌프의 공간을 절약하도록 하였다.

지열 측 물의 온도가 1℃인 경우 열펌프는 난방을 위해 54℃의 온수를, 지열 측 물의 온도가 29℃인 경우 열펌프는 냉방을 위해 6℃의 냉수를 각각 생산할 수 있었다. 도심지역 한 가운데 위치

한 North Building의 위치는 지중 열교환기 시스템을 설치하기 위한 혁신적인 기술을 요구하였다. 지중 열교환기 시스템을 주차장 지하 2 m 땅속에 매설하여 주차 기능과 지열원의 기능을 동시에 수행하도록 하였다. 추가적으로 주차장의 아스팔트 포장층은 경사지게 시공되어 주차장의 빗물이 주차장 주변에 위치한 녹지구역으로 흐르도록 하였다. 이러한 녹지구역에 빗물이 모이게 되고, 이 물은 지하로 스며들어 여름철 지중 열교환기가 설치된 토양을 냉각시키는 효과를 갖는다.

중앙식 열펌프 시스템은 각각 독립적으로 존재하는 수많은 열펌프 시스템에 비해 훨씬 뛰어난 운전 및 유지보수의 장점을 제공한다. 중앙 기계실의 6개 열펌프는 건물 전체에 산재해 있는 60대의 열펌프에 비해 운전 및 유지보수에 필요한 많은 노력을 줄여줄 수 있다. 공조기에 설치된 공기 대 공기 에너지 회수 열교환기는 작동하는데 모터 등의 장치를 필요로 하지 않는다.

모든 기계설비는 캠퍼스 에너지 관리 시스템으로 직접 관리되는 디지털 제어장치를 갖는다. 에너지 관리 시스템은 기계설비의 운전시간을 모니터링 할 뿐 아니라 각 공조기 필터의 압력강하

를 실시간으로 측정하여 장치의 유지를 위한 교체시기 등을 알려준다. 에너지 관리 시스템은 사용자에게 시스템에서 급격한 온도나 압력의 변화를 통보하여 심각한 상황에 도달하기 전 즉각적 조치를 취할 수 있도록 한다.

North Building은 대학에서 가장 에너지 효율이 높은 시스템을 갖춘 건물 중 하나가 되었으며 다음과 같은 설비를 구축하였다; 중앙식 물 대 물 지열 열펌프, 변풍량 에너지 회수 공조장치, 환기를 위한 모든 공조구역에 이산화탄소 센서설치, 가변유량 펌프 시스템, 고효율 조명과 점등을 위한 센서와 제어기 설치.

이 프로젝트는 약 450만 달러의 예산으로 수행되었으며 가을학기의 시작에 지장이 없도록 기간 내에 완결되었다. 중앙식 지열 열펌프를 사용하는 데 따른 에너지 절약량은 첫 1년간의 실제 가동 및 측정결과에 근거하여 천연가스로 환산하면 36,494 MJ, 비용으로는 26,980 달러였다. 열펌프는 건물의 난방과 냉방을 모두 공급하기 때문에 전기소비량은 증가하였지만, 새로운 조명시설의 설치로 증가된 전기소비량을 상쇄하였다. North

Building의 단위 면적당 연간 에너지 소비량은 HVAC 리노베이션 이전에는 9,743 MJ/m<sup>2</sup>, 그 이후에는 8,061 MJ/m<sup>2</sup>로, 시스템 교체를 통해 37%의 에너지 소비량 절감효과를 달성하였다.

### 결언

지금까지 미국의 태양열과 지열을 이용한 공조시스템의 적용사례에 대해 소개하였다. 미국의 경우 남서부에서 주간에는 태양열이 풍부하고 야간에는 사막기후와 유사하여 기온이 급감하기 때문에, 주간의 남는 열을 야간의 난방에 활용하는 기술 개발이 이루어졌다. 중서부의 경우 다습한 여름과 비교적 긴 겨울을 갖고 있어 지속적인 냉방과 난방의 수요가 발생하며, 이를 위해 지열시스템의 적용이 늘어나는 지역이다. 지역별 특성에 따라 다양한 신재생에너지의 검토와 활용이 이루어지는 것을 알 수 있으며, 우리나라에서도 그 지역의 특성에 맞는 신재생에너지 기술이 개발된다면 그 보급이 더욱 확대될 수 있을 것이다.

