

신·재생에너지 융복합 엔지니어링

김태형 | 한국건설기술연구원 연구위원, thkim@kict.re.kr

지금까지 각 제품별로 국한되었던 신·재생에너지를 융복합하여 안정적인 에너지원으로 활용하기 위한 신·재생에너지 융복합 엔지니어링에 대해 설명한다.

서론

2010년 10월 정부는 대통령의 주재 하에 '미래를 여는 힘 - 태양·바람·물'이라는 주제로 제9차 녹색성장위원회를 열고 오는 2015년까지 세계 5대 신·재생에너지 강국으로 도약하기 위해 민·관 합동으로 총 40조원을 투자하기로 하는 '신·재생에너지 강국 도약 방안'을 발표했다. 또한 2012년부터 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS)를 시행해 2022년까지 총 49조원의 신규시장을 창출하고 지역사회 주도형(Community Ownership) 프로젝트도 시범 추진하기로 하였다.

그러나 신·재생에너지에 대한 연구 및 사용은 태양전지, 연료전지, 풍력발전, 태양열, 지열 등 각 목적물에 대한 단편적이고 집약적인 연구가 주류를 이루어 왔으며, 지속적이고 안정적인 대체 열원이나 전원으로의 활용적인 측면에서는 각 목적물이 지닌 한계로 인해 초기 투자비용 대비 회수율이 아직까지 큰 효과를 나타내지 못하고 있는 실정이다.

18세기 산업혁명 이후 현재까지 현대 문명의 대부분은 석유산업에 기반을 두고 발전했으며, 에너지와 관련된 고도의 엔지니어링 기술 역시 석유산업을 기반으로 축적되어 왔다. 에너지 산업은 단편적인 제품 개발로는 본연의 목적을 달성하기 어려우므로 신·재생에너지 산업도 단편적인 제품 개발이나 한

두 제품의 융복합으로는 안정적인 대체 에너지 확보가 어렵다.

따라서 본 고에서는 신·재생에너지 각각의 시스템이 지닌 한계를 극복하고 안정적으로 에너지를 공급할 수 있는 신·재생 에너지 엔지니어링의 개념을 소개하고자 한다.

신·재생 엔지니어링의 개념

우리가 사용하는 에너지원은 열원, 전력원 그리고 이들을 생산하는 데에 필요한 연료원으로 대별할 수 있다.

지금까지 석유를 이용하는 엔지니어링의 대부분은 유정을 개발하여 원유를 생산하고 이를 몇 가지 등급으로 나누어 연료원으로 변환하는 기술과 이들 연료원을 이용하여 열이나 전기 등의 동력을 발생시키는 기술로 집약되어 발전해 왔으며, 이들 엔지니어링 기술이 뒷받침이 되어 석유를 사용하는 것이 석탄이나 목재를 사용하는 것 보다 훨씬 편리하게 원하는 동력을 원하는 시간에 원하는 장소에서 생성하여 이용할 수 있는 것이다.

에너지 통계연보에 의하면 현재 신·재생에너지의 75% 이상이 폐기물로부터 생산된 에너지이며, 신·재생에너지 가운데 바이오 에너지로 분류된 바이오 가스, 임산연료, 목재, 펠릿 및 우드칩 등을 합하면 거의 80%가 폐기물을 사용하고 있는 실정이다.

이 폐기물들이 열원이나 전력원을 생산하는 연료원에 해당하며, 열원은 지열, 태양열 등이 그리고 전력원은 태양전지, 풍력발전, 연료전지 등이 이에



해당한다.

이렇듯 신·재생에너지의 80%가 폐기물에 집중된 까닭은 아직까지 필요량을 충당할 만큼 열원이나 전력원을 태양이나 지열 그리고 바람 등의 자연에너지로부터 직접 취득하는 데에는 제품의 크기와 가격 등에 문제가 있을 뿐만 아니라 필요한 시간대에 필요한 장소에 직접 공급해 주기 위한 저장장치를 마련하는 비용적, 공간적, 시간적 제약 때문이며, 석유만큼은 아니지만 열원이나 전력원으로 변환이 비교적 석유에 가까운 폐기물을 이용하는 것이 소비자의 요구 대처에 용이하기 때문이다.

따라서 신·재생에너지는 필요한 시간에 필요한 장소까지 열이나 전기 또는 연료를 소비자가 원하는 형태로 제공할 수 있는 엔지니어링 기술이 확립되어야 만 비로소 기존의 석유를 포함한 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원으로서의 역할을 수행할 수 있는 것이다.

HI-GESS

전술한 바와 같이 신·재생에너지가 기존 화석연료를 대체하거나 일부를 감당하기 위해서는 신·재생에너지원간의 유기적인 융복합을 통해 안정적인 에너지 공급이 이루어져야 하기 때문에 에너지 사용이 밀집되어 있는 건물에 적용할 경우를 가정하여 열원과 전력원 그리고 연료원을 어떻게 구성하는 것이 효율적인 방법인지에 대해 생각해 보았으며, 그 결

과로 얻어진 성과물을 HI-GESS(Hybrid & Integrated Green Energy Supply System)라 명명하였다.

열 원

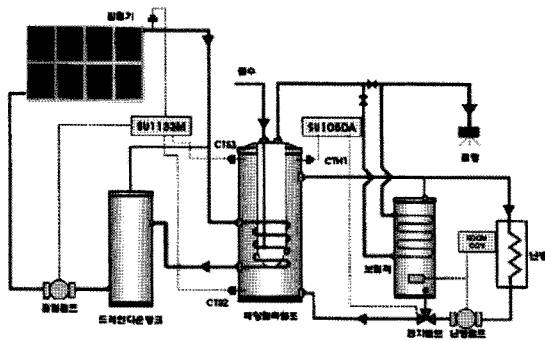
태양열원 급탕시스템은 그림 1에 나타난 바와 같이 진공관형 집열기와 축열조를 기본으로 구성되어있다. 축열조에는 상부, 중부 및 하부에 열교환기가 설치되어 있으며, 하부 열교환기에는 집열, 중부 열교환기는 지열원 열펌프를 이용한 급탕보완, 상부 열교환기에는 급탕 순환배관의 손실 열량 보안을 위해 설치되었다. 이 외에 집열계통의 온도 상승 시 열매체의 팽창에 따른 과열 압력을 흡수하고 밀폐계통의 일정한 압력유지를 위하여 팽창탱크가 설치되어 있고 별도의 보충수를 공급할 수 있도록 구성되었다.

지열원 열펌프 시스템은 그림 2에 도시한 것과 같이 지중열교환기, 열펌프, 버퍼탱크로 구성되어 있다.

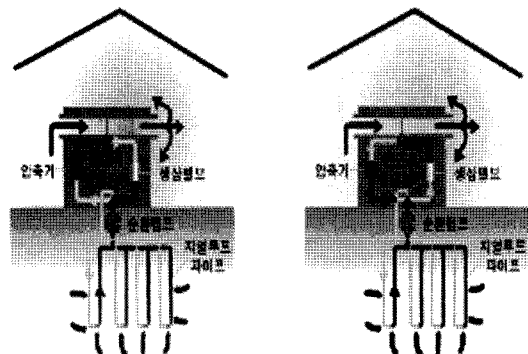
그러나 태양열과 지열만으로는 안정적인 열원의 확보가 불가능하기 때문에 이를 해결하기 위하여 폐열시스템과 조합한 열원 시스템을 구성하였다.

전 원

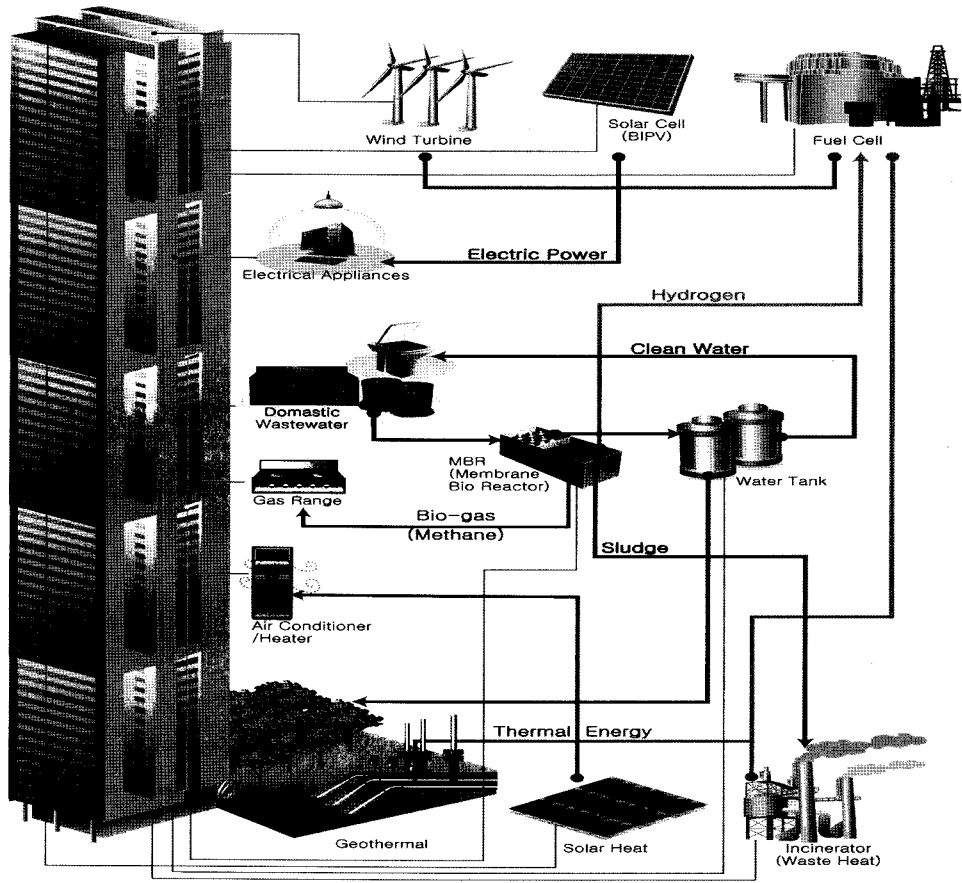
전원시스템을 구성하기 위해 태양전지와 풍력발전설비를 구성하였으며, 보다 안정적인 전원확보를 위해 연료전지와 복합하는 시스템을 구상하였다. 연료전지의 경우 열이 발생하기 때문에 이 열을 열원부



[그림 1] 태양열 급탕시스템 개요도



[그림 2] 지열원 열펌프 시스템



[그림 3] 신·재생에너지 융복합 플랜트 HI-GESS의 개념도

로 이송하여 시스템을 구성하게 된다.

연료원

연료전지와 폐열시스템의 연료원을 확보하기 위하여 생활에서 발생하는 유기물을 처리할 수 있는 MBR(Membrane Bio Reactor)을 구성하였다. MBR에서는 유기물의 발효 시 생성되는 메탄가스를 분해하여 연료전지에 수소를 공급하며, 남은 메탄가스는 연료로써 소용처에 공급하게 된다. 또한 발효 후 발생한 폐기물은 폐열시스템의 연료로 공급하며, 발생하는 수분은 정재하여 재 활용하게 된다.

이러한 신·재생에너지 복합플랜트인 HI-GESS의 개념을 그림 3에 수록하였다.

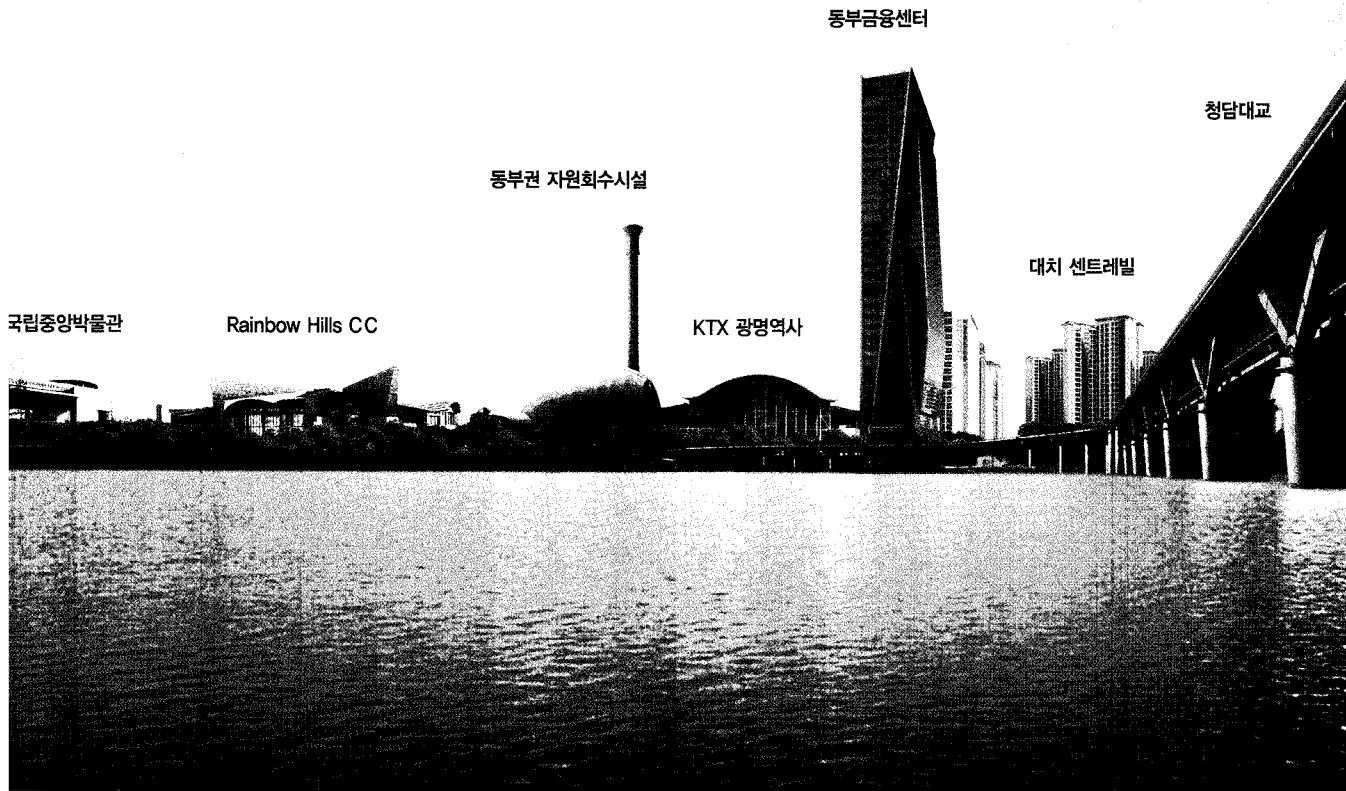
열원 용량설계

그림 3에 나타낸 HI-GESS에 대해 열원 별 용량을 설계하였다.

열원용량 산정의 개념

필요한 에너지 가운데 열원 용량을 산정하기 위해서는 건물부하를 예측하는 것이 중요하다. 건물부하는 외기온도 영향을 많이 받기 때문에 외기온도에 따라 부하를 계산하고 열펌프와 같은 열원설비도 외기에 따라 COP가 달라진다. 따라서 외기온도의 함수로 건물부하 및 열원설비 COP를 반영하여 최종적인 에너지 소비를 계산하고자 하였다.

“세상을 아름답게 하는 힘!”



동부금융센터, 대치 센트레빌, KTX 광명역사, 국립중앙박물관, 청담대교..
그 이름만으로도 대한민국의 자랑이 되는 시공물들이 있습니다.
동부건설의 최신 공법과 세계적인 기술력이 탄생시킨 아름다운 시공물들이
하나씩 늘어갈 때마다 세상은 더 아름다워집니다.

세상을 아름답게 하는 힘!
동부건설의 앞서가는 기술력과 만나십시오.



산업용 CO₂ HEAT PUMP SYSTEM

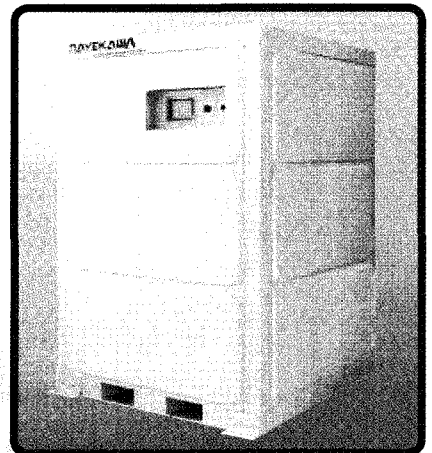
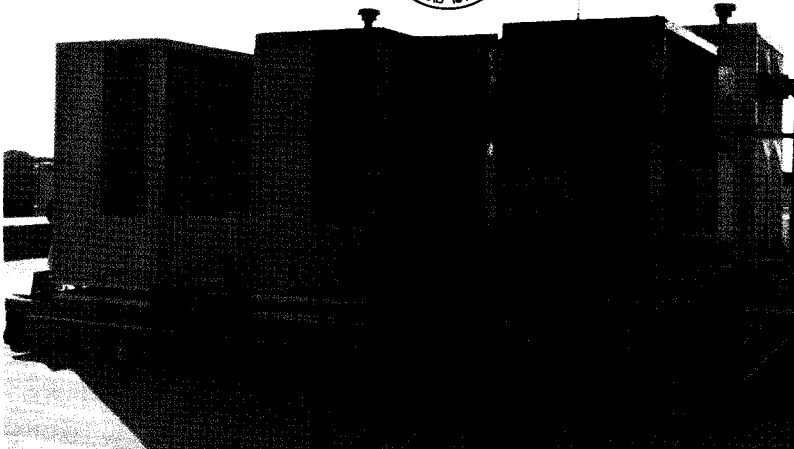
급탕 런닝코스트 · CO₂ 배출량 대폭 삭감!

일본 제7회 전력 부하 평준화 기기 · 시스템표장 『개단법인 HEAT PUMP 축열 센터 진흥상』 수상

공기열원 ECO CUTE



ECO CUTE
수열원형 LINE UP

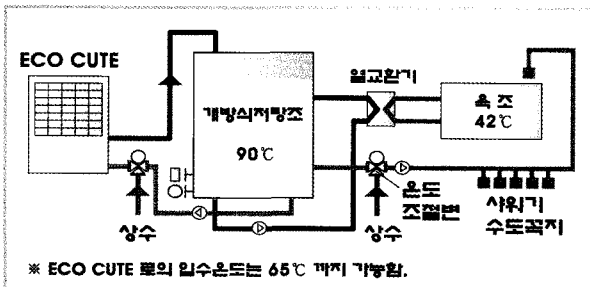


ECO CUTE의 적용 분야 및 특징

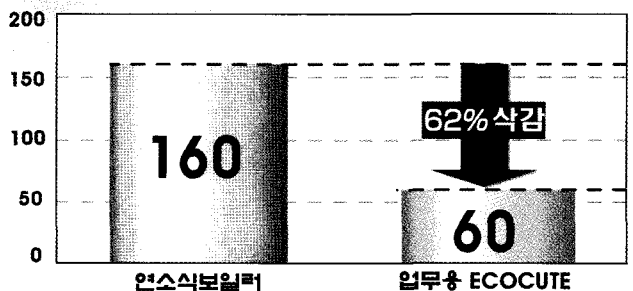
적용분야 : 병원, 호텔, 복지시설, 스포츠센터, 사우나시설, 식품공장, 골프장클럽하우스 등

- 급탕능력 국내 최대급 (공기열원 80kW, 수열원 90kW)
- CO₂배출량은 연소계 기기 대비 극소량. 중유사용 보일러대비 60%이상 삭감 가능
- 순환운전가능 (ECO CUTE 입수 온도65℃, 90℃ 출탕가능)
- 용도에따라 저탕조용량, 급탕시스템의 맞춤 설계 가능
- 온수보일러 대용의 친환경기기로써 중·대형 급탕 설비에 적용할 수 있음

ECO CUTE SYSTEM FLOW

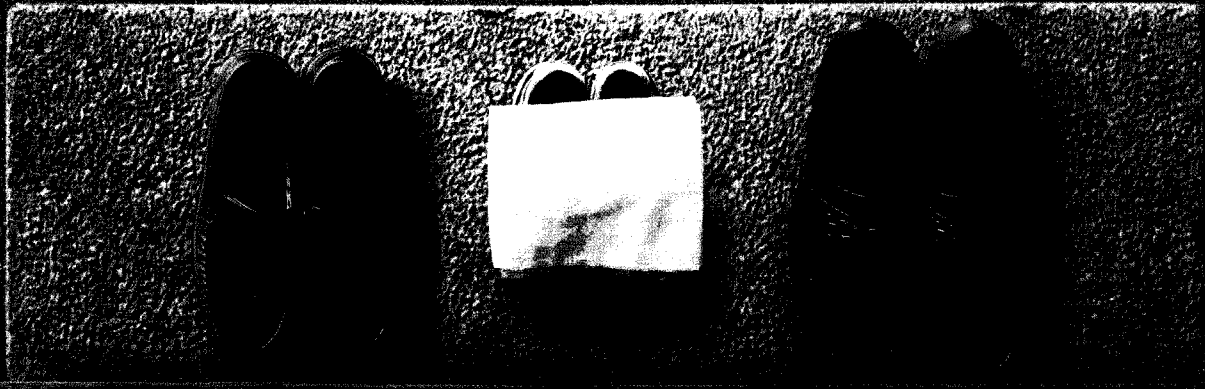


CO₂ 배출량 삭감에의 대치 (t-CO₂/년급)

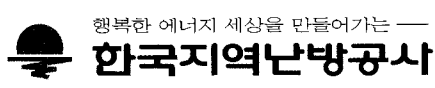




어머니의 따뜻한 사랑처럼...



추운 겨울, 자식들 발 시릴까 걱정되어
 손수건을 신발 위에 덮어 주시곤 하셨던 어머니
 자신보다 늘 자식이 먼저였던 당신...
 더불어 사는 것이 진정한 행복이라던 당신의 말씀처럼
 한국지역난방공사는
 어려운 이웃들에게 '사랑'을 실천하고 있습니다.

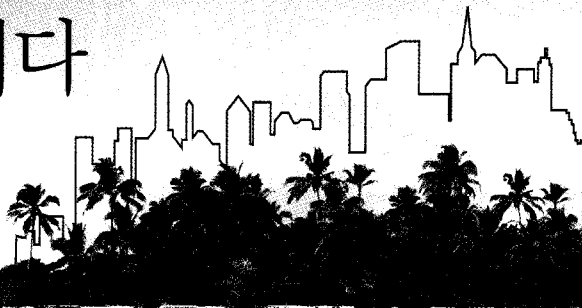


제3회 대학생 광고공모전 : 가작 수상작 이찬호, 전기환 (수원대학교)



모든 사람이 꿈꾸는 내일- 롯데건설이 함께 합니다

가던 길만 가는 기업은 가던 길만 압니다
가지 않은 길을 가는 기업이 있기에 꿈 같은 미래도 가능하지 않을까요?
관광, 유통, 주거시설은 물론 토목, 플랜트, 해외분야까지 -
롯데건설은 꿈을 현실로 만들기 위해 다른 사람들보다 먼저 시작하고 있습니다



롯데건설 한국서비스대상
9년 연속 수상!(2002~2010)
아파트 부문 大賞

한진중공업 (주) 2397 대우건설 (주) 2397 대우건설 (주)



'해'와 무리를 뜻하는 '모'가 하나된 '해모로'는 자연과 햇살이 가득한 한진중공업의 새로운 고품격 아파트입니다.

해모로아파트
분양 안내

- 서울 광진 해모로 리버뷰 분양 문의) 02)573-3931
- 부산 정관신도시 계약금 1% 특별 분양 문의) 051)702-3434



해가 지지 않는 아파트

해모로



한화건설의 꿈으로 세계를 그려갑니다

국내외 대규모 주택사업에서 토목, 건축, 플랜트 사업에 이르기까지 -
세계 정상을 향한 한화건설의 도전은 계속됩니다



Build the Great

SK건설이 전세계에 플랜트를 수출합니다

자국의 국을 위해 대외관공을 떠납니다
비대한 공에서 끌어질수록
공정함을 더욱 상해는 SK건설
공정함을 넘어 공중 공중에서
공정함을 넘어 공중 공중에서
공정함을 넘어 공중 공중에서
공정함을 넘어 공중 공중에서



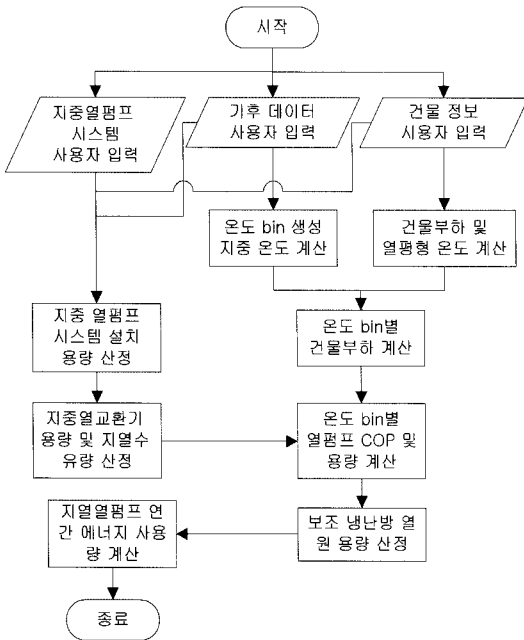
전세계 20여개국에 진출한 SK건설

세상과 꿈이 만나 내일로 뻗어 갑니다

세상 어디에선가 지금도 새로운 길이 생기고, 내일의 도시가 세워집니다.
시간이 흐를수록 가치를 더해가는 세상, 벽산건설이 디자인합니다.

내일을 디자인하는 사람들 - 벽산건설

DESIGN+tomorrow



[그림 4] 건물 부하 모델에 의한 지중 열펌프 용량 산정

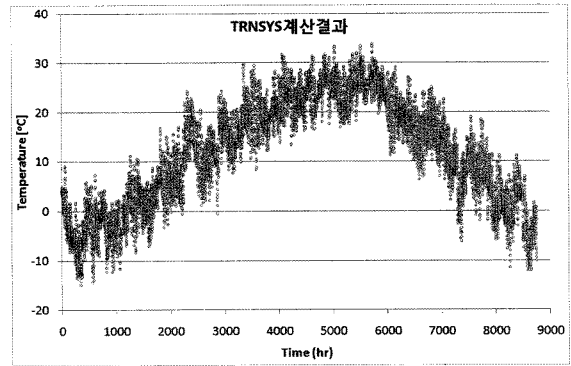
건물부하모델로부터 지중 열펌프 용량을 산정하고 연간 소비에너지를 계산하는 프로그램의 순서도를 그림 4에 나타내었다.

온도 bin을 한시간 단위의 외기온도를 1도 또는 2도의 bin별로 연간 발생 시간 수를 할당 한 것이며, 건물부하는 외기온도의 함수로 그리고 연간 외기온도는 시간별 빈도수로 나타나게 된다.

시간별 외기온도

전 세계적으로 통용되는 표준 기후데이터는 모두 월별 데이터만 존재하며, 여기에 사용된 기후데이터는 1994년 3월 미국 국립 신 · 재생 에너지 연구실(NREL)에서 완성한 NSRDB Version 1.1 데이터베이스로부터 추출한 TYM2로 이 데이터를 이용하여 월별 건물부하를 계산하는데 사용하였다.

그러나 시간별 외기 데이터가 있어야 온도 bin 생성이 가능하므로 월별 데이터에서 시간별 데이터 생성방법을 제시한 Papakostas et al의 논문^[10]을 참조하였으며, source code인 TRNSYS의 Type 54를



[그림 5] 서울지역 월간 데이터로 시간별 온도를 생성한 사례

C# 언어로 번역하여 자체 프로그램을 제작하였고, 이를 이용하여 서울지역 월간 데이터로 시간별 온도를 생성한 사례를 그림 5에 나타내었다.

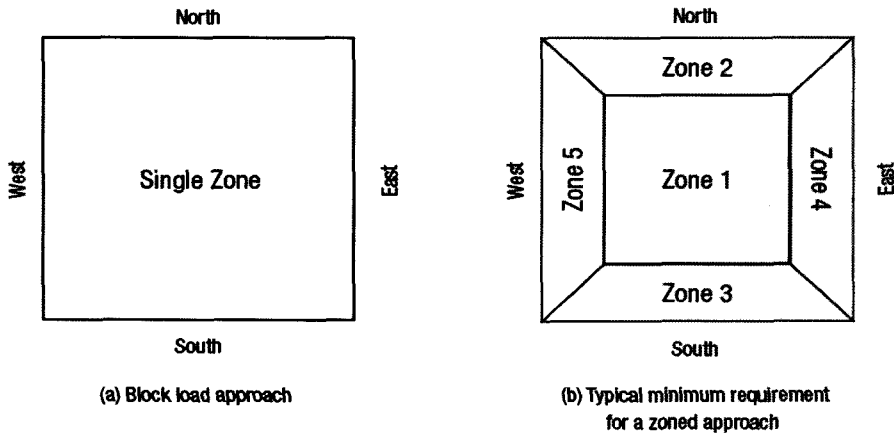
건물부하 모델

건물을 여러 개의 개별 공조구역으로 나누어 모델링하는 것은 입력 데이터와 건물 모델 자체가 복잡해 지므로 다양한 건물부하 모델 중 Descriptive data method를 사용하였으며 그림 6과 같이 전체 건물을 하나의 공조구역으로 가정하였다.

건물 부하산정을 위해서 ASHRAE(1985)에 제시된 수정 빈법(modified bin method)과 같이 건물의 가열 및 냉각부하 요소들과 외기온도 간의 관계식을 수립하였으며, 건물 부하 계산을 위해 고려한 건물 열전달 주요 경로는 다음과 같다.

- 1) 전열 손실 (전도 및 대류)
- 2) 일사 취득량 (현열)
- 3) 내부 열취득 (현열)
- 4) 신선 외기 부하 (현열)
- 5) 신선 외기 부하 (잠열)
- 6) 재실자 부하 (잠열)

계산 과정에서 건물 외피와 관련된 열관류율은 국토해양부의 "친환경 주택의 설계 및 성능 평가지침"^[12]에 제시된 값을 사용하였으며, 창 및 문의 단열성능은 "건축물 에너지 절약 설계 기준"을 적용하였다.



[그림 6] 건물부하 모델링을 위한 공조구역 설정 종류

창호를 통한 일사 취득량은 외기온도와 선형적인 상관관계가 있다고 가정하였으며, 일사 취득량을 계산하기 위해 ASHRAE의 냉각부하인자(CLF; cooling load factor)^[ASHRAE, 1985, ch. 26]에 근거하여 계절별 일사 취득량을 계산하였고 방향 및 월별 최대 일사 열 취득인자는 “HVAC Systems Design Handbook”에서 발췌한 데이터를 방향 및 월별로 프로그램에 DB화하여 저장하고 내삽법으로 방향에 맞게 적용할 수 있도록 하였다.

내부 열취득 열원은 외기와 무관하다고 가정하였으며, 조명기구, 컴퓨터, 복사기 등의 장비 및 재실자로부터의 열 취득 상수들은 AHSRAE (1985)와 PMSK (1991)로부터 인용하여 사용하였다.

신선외기 유입에 의한 부하는 현열과 잠열로 나누어지며, 현열은 외기와 배기간에 약 50%의 열교환이 이루어진다고 가정하였고 일인당 순 유효공기량을 10 l/s/인으로 가정하게 되는 경우 일사 취득량을 벽체와 창호의 전열 손실을 통해 열평형을 대부분 맞추게 되며 이 경우 냉난방이 필요 없는 열평형 온도가 지나치게 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 실제 프로그램에서는 열전달 경로 별 경험적 비중을 감안하여 신선외기에 의한 현열변화에 영향을 주는 체적유량은 10 ~ 20 l/s/인 사이에서 탄력적으로 조정해야 했다.

신선외기 유입에 의한 잠열은 공조부하에 영향을

미치는 잠열부하만을 고려하였으며, 외기 도입량과 외기 및 실내 기류의 절대습도를 이용하여 계산하였다.

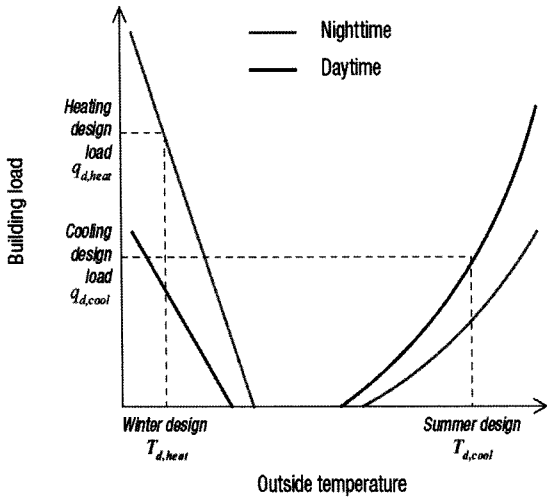
내부 재실자에 의한 열 취득은 ASHRAE 2009에서 제시한 상업용 건물 재실자의 업무 특성에 따른 내부 열취득에 관한 자료를 바탕으로 사무실에서 가벼운 노동을 하는 경우 잠열부하를 45 W/인 등 설정된 상황에 맞는 값을 적용하였다.

앞에서 설명한 6가지 열전달 경로의 부하 성분으로부터 외기온도의 함수로 건물 부하에 관한 최종 관계식을 얻었으며, 이 관계식을 이용하여 각 온도 빈별로 건물 에너지 사용량을 평가하고 겨울 및 여름 설계 외기온도에서의 건물 설계 부하를 산정하는데 사용하였다.

지열 열펌프

지열 열펌프의 경우 주간 운전시간용(daytime hours)과 야간 운전시간용(night time hours)의 두 종류의 빈(bin)을 필요로 하며, 계절별 잠열 및 일사 부하성분이 달라지기 때문에 여름과 겨울의 부하계산을 구분해야 한다. 이러한 4가지의 다른 조건에 대한 결과의 예를 그림 7에 나타내었다.

건물부하 모델에서 난방용과 냉방용 다항식 계수를 구분하여 선택하려면 난방 및 냉방을 가동하고 정지하는 건물 균형 온도(building balance tem-



[그림 7] 상업용 건물에서 외기온도와 건물 부하의 관계

perature)가 추산되어야 하는데, 이 균형온도들은 그림 7에서 각 그래프가 x 축과 만나는 점에 해당하며 균형온도는 2차 다항식에 대한 근의 공식을 이용하여 구할 수 있다.

그러나 여기에서 계산한 균형온도는 추정값이므로 실제 이 값을 알기 위해 시행착오법을 사용하며, 이는 난방부하와 냉방부하에 대해서 각각 온도 빈별 빈도를 갱신하고 난방 시 초기 균형온도보다 갱신된 균형온도가 높을 경우 그 차이에 해당하는 온도 빈은 삭제하는 과정을 냉방에 대해서도 같은 과정을 반복함으로써 수렴값을 찾는다.

건물의 총 냉난방 에너지 수요는 각 온도 빈과 균형온도 별 온도 발생 빈도시간을 해당 온도의 부하값과 곱한 결과를 합산하여 얻게 된다.

구해진 에너지 수요를 바탕으로 지중 열교환기의 크기를 결정하게 되는 데 이는 열교환기의 길이를 구하는 것이며, 본 고에서는 IGSHPA(1988)의 결과를 참조하여 냉방과 난방 각각의 경우에 대한 열교환 길이를 구하는 방법을 사용하였다.

이렇게 구한 냉난방 각각의 열교환 길이 가운데 비용과 성능을 고려하여 둘 중 하나를 선택하게 되며, 나머지 부족한 부분에 대해서는 보조 냉방이나 난방 장치를 사용하게 되는데 이때 폐열이나 태양열 등의

설비 설치를 고려하여 결정한다.

전력원 설계

대상 목적물에 공급해야 할 전력량이 결정되어 있고 이 가운데 일부분을 앞서 산정한 연료전지를 통해 공급하며, 나머지 부족한 전력량은 태양전지와 풍력발전기를 통해 공급하게 되는 데 이때 태양전지와 풍력발전 각각의 부담율은 열원에서와 마찬가지로 목적물 주변의 환경적 요인과 설치조건, 초기 투자비 등을 충분히 고려하여 결정한다.

그림 3에 나타낸 HI-GESS에서는 풍력발전, 태양전지 및 연료전지의 복합형으로 전력원이 구성되어 있으며, 사용 형태는 상용전원 대체용으로 설계되었다.

간단한 용량 결정의 예를 들기 위해 복합형의 최소 발전에 요구되는 부하 수요를 20 W로 가정하고 풍력발전기의 경우 회전속도 1,500 rpm일 때 20 W의 출력을 내며, 전압변환손실을 20%, 그리고 하루 8시간 동안 정상 가동한다고 하면 풍력발전기에서 생산해야 할 하루 전력 생산량을 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$20 \text{ W} \times 8 \text{ h} \times 1 \text{ 대} \times 1.25 = 200 \text{ W(h day)}$$

여기서 회로손실을 5%로 가정하면, 풍력발전기 1대당 생산해야 할 하루 전력생산량은 다음과 같다.

$$200 \text{ W(h day)} \times 1.25 = 210 \text{ W(h day)}$$

태양전지를 선택하기 위해 기상 분석 자료 중 태양열 복사가 가장 낮은 값으로 예를 들어 12월 평균 364 MJ/m²을 사용하고 전압변환 손실과 회로 손실량을 풍력발전과 동일하게 사용한다면, 마찬가지로 210 W(h day) 이상을 생산할 수 있는 광전판을 사용해야 한다.

$$210 \text{ W(h day)} \times 30 \text{ day} \times 3.6 \text{ MJ/kWh} / 364 \text{ MJ/m}^2 = 62.3 \text{ W}$$

여기에 광전판의 안전율을 1.2로 적용하면, 광전판

의 출력은 다음과 같이 결정된다.

$$62.3 \text{ W} \times 1.2 = 74.76 \text{ W}$$

따라서 이 값으로부터 충전제어기(charge controller)를 선정하기 위해 25℃에서 1,000W/m² 이라 가정하면

$$74.76 \text{ W} / 24\text{h} = 3.115 \text{ A (at 24 V)}$$

이므로 3.2 A(24 V)용 충전제어기를 선정하면 된다. 여기에서 주의할 점은 제어기 선정 시 온도보상(temperature compensation)이 이루어져야 하며, 과충전, 과방전 및 역 충전 방지장치가 마련되어야 한다.

가장 일사량이 낮은 겨울철에는 1 ~ 3일 동안 지속적으로 일사량이 요구량에 미치지 못할 경우도 발생하므로 이때에도 지속적인 전력공급을 위해 축전지 용량을 선정해야 하는 데 하루에 시간당 필요 전력량이 210 W(/h day)였으므로 이를 이용하여 축전지 용량을 계산하면 다음과 같다.

$$1 \text{ day} \times 210 \text{ W(/h day)} = 210 \text{ W/h} = 8.8 \text{ Ah at 24 V}$$

이때 축전지를 85%까지 방전 가능한 deep cycle battery를 사용한다면

$$8.8 \text{ Ah at 24 V} / 85\% = 10.35 \text{ Ah (at 24 V)}$$

이므로 1일을 여유 용량으로 설계한다면 10.35Ah(at 24V), 2일의 여유용량이 필요할 경우에는 20.7Ah(at 24V) 그리고 3일일 경우에는 31.05Ah(at 24V) 용량의 축전지를 사용하면 된다.

이 밖에 arrester 또는 surge arrester 선정은 상황에 맞게 설정하면 되며, fan의 선택에 따라 달라지지만 기동전력이 최소한 소요전력의 2배 이상이 소요되므로 장기간 안정적인 운전을 고려하여 적어도 하나 이상의 DC/AC inverter의 사용이 요구된다.

결론

본 연구에서는 그간 각 단위 분야별로 수행되어 오던 신·재생에너지를 융·복합하여 보다 안정적으로 열 및 전원을 공급할 수 있는 신·재생에너지 융복합 엔지니어링에 대해 검토하였다.

이 복합플랜트 연구를 통하여 신·재생에너지에서 감당해야할 열원, 전원 및 bio-mass 분야별 설계용량을 산출할 수 있는 HI-GESS 프로그램을 개발하고 있으며, 이를 가동했을 때의 경제성 분석과 CO₂ 절감량에 대한 고찰이 수행될 예정이다.

후기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#09 첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. K. Papakostas, A. Bentoulis, V. Bakas, N. Kyriakis, "Estimation of ambient temperature bin data from monthly average temperatures and solar clearness index. Validation of the methodology in two Greek cities", Renewable Energy 32 (2007) pp. 991-1005.
2. 국토해양부, 친환경 주택의 설계 및 성능 평가 지침, 2009. 10.
3. 김태형, 김창완, 김진, 채상훈, 금재성, "녹색에너지의 안정적 공급을 위한 복합 플랜트 연구", 2010년 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 750-755.
4. 김태형, "신·재생에너지 융복합 설계", 2010년 자동제어부문 학술강연회, 대한설비공학회.
5. 서정아, 신영기, 김태형, "신·재생 열원설비 최적설계를 위한 고려사항", 2011년 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 54-56. 