

KICSEW

서울 에너지드림센터-Net Zero Energy Building

(공사명: 에너지제로하우스 건립공사)

- 김영주** Parsons Brinckerhoff 건축기술팀 팀장, 상무
- 공홍만** Parsons Brinckerhoff 엔지니어링팀 팀장, 상무
(에너지제로하우스 Project Director)
- 이원기** 현) Parsons Brinckerhoff 친환경파트장, 이사
(에너지제로하우스 Project Manager)
- 양승호** 현) Parsons Brinckerhoff 도렴24현장 CM단장, 이사
(에너지제로하우스 품질관리총괄단장)
- 김보원** 현) Parsons Brinckerhoff 건축기술팀, 대리
(에너지제로하우스 건축품질관리담당)



1. 추진과정 및 개요



그림 1. 서울 에너지드림센터 전경

에너지제로하우스 건립공사(공식명칭: 서울에너지드림센터)는 서울 마포구 상암동 평화의 공원 내에 위치해 있으며, 2008년 7월 15일 신재생 에너지랜드마크 우선사업 추진계획(시장 제 386호)으로 시작되었다. 전임 서울시장 재직 당시 독일 국책 연구기관인 프라운호퍼 연구소의 방문을 계기로 “친환경적이며 에너지 사용량 제로 건물의 구현”이라는 목표를 가지고 2008년 11월 5일 기본 및 실시설계 용역을 착수 하였고, 2009년 12월경 공사계약 및 착공을 하였다. 그로부터 2년 후, 골조공사 이후에 기존 실시설계에 상당부분 오류가 발견되어 공사가 잠정적으로 중단되었다. 2011년 초에 프라운호퍼 연구소는 잘못된 설계를 바로잡고 제로에너지 구현을 위한 공사 품질관리를 하고자 파슨스브링커호프(이하 PB)를 파트너로 선정하였다. 2011년 5월 말, PB를 대표자로 독일 컨소시엄(이하 독일 팀)을 형성하여 새롭게 계약을 체결하였다. PB가 이끄는 독일 팀의 주요업무는 설

계변경과 더불어 제로에너지를 달성하기 위한 공사 품질관리였다. 2012년 4월 Blower Door Test 합격과 함께 임시사용승인을 받았으며, 2012년 4월부터 7월까지 TAB, 모니터링 등 건물 안정화 기간을 거쳐서 최종 에너지시뮬레이션을 결과로 제로에너지 목표 달성 여부를 확인하고 사용승인을 받아 준공을 득하였다(추후 1년 또는 2년 동안의 모니터링 프로젝트가 있을 예정임).

서울에너지드림센터의 용도는 전시시설 및 사무시설을 포함하는 폐기물처리시설 부속시설이다. 이유는 공원대지의 주변 녹지화 및 공원 조성 후 주요사업에 착수였으나 이전의 대지 자체가 폐기물 처리장으로 쓰였기 때문으로 추측된다. 건축 연면적은 3,700 제곱 미터로 약 1000평 정도 규모의 건물이다. 건물은 지하1층, 지상3층의 철골구조로 구성되었으며, 주요마감은 인조대리석과 삼중유리를 포함한 커튼월 마감이다. 건물은 지열을 이용한 바닥 복사냉난방 시스템으로 일반 건물의 냉난방 시스템 보다 효율적이며 에너지요구량 또한 절감한다. 그리고 태양광 발전시스템으로 전기에너지를 자체 생산하여 건물에 소요되는 에너지를 대체하며 잉여전력을 한전으로 공급한다. 제로 에너지를 구현하기 위한 자세한 내용은 다음과 같다.

2. 제로에너지 개념

제로에너지를 달성하기 위해서 Fraunhofer ISE(에너지 시뮬레이션), solidar(코디네이터), Marzahn & Rentzsch(구조설계), GAP(건축설계), 그리고 solares bauen and M&R(기계설계)로 구성된 독일 팀은 최초 설계

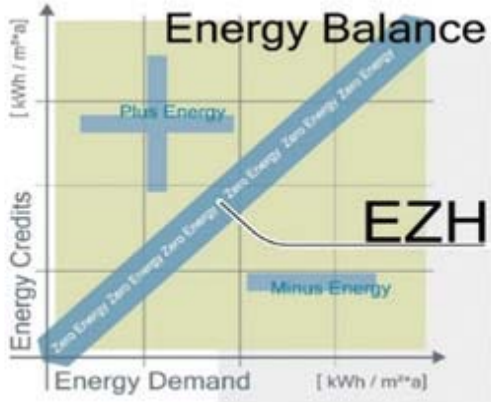


그림 2. 제로에너지 개념

부터 기본 패시브하우스 개념을 적용 하였다. 비록 패시브하우스 인증은 받지 않았지만, 패시브하우스 기준을 따라서 디자인하고 기밀성과 열관류율 등의 성능을 만족하였다. 제로에너지의 기본 개념은 건물 외피의 고기밀, 고단열과 고효율 장비를 사용하여 에너지 저감을 하고 나머지 필요 에너지요구량은 신재생에너지로 대체한다. 즉, 태양광 발전 시스템을 사용하여 자체 생산한 전기에너지가 건물에 필요한 에너지요구량을 대체하는 것으로, 전기 에너지발전량과 에너지소비량의 합이 제로가 되는 개념이다.

3. 주요 기술요소

건물의 에너지요구량을 줄이고 제로에너지를 구현하기 위해서 사용된 주요 기술요소는 다음과 같이 정리된다. 건축적 요소인 고성능 외피(고기밀·고단열 외벽/지붕, 고성능 창호, 외단열 벽체 등)는 1차적으로 조명부하와 냉·난방부하 등의 에너지요구량을 절감한다. 시스템적 요소라 할 수 있는 고효율 냉·난방 시스템, 고효율 환기 시스템, 자동조명제어시스템, 그리고 건물자동화 시스템은 2차적으로 에너지요구량을 절감한다. 그리고 건물운영에 필요한 에너지요구량은 신재생에너지인 태양광 발전 시스템으로 대체한다. 다음은 건물에 적용된 주요 기술요소를 차례대로 나열했다.

3.1 고단열 성능

본 건물은 고성능 외피가 적용되어 단열에 심혈을 기울였다. 적용된 단열재로는 경시지붕/벽체에 암면단열재, 중정



중정 (외단열 시스템) 경시지붕 (암면 단열재)

그림 3. 적용된 단열재

외벽에는 진공 단열재, 건물바닥에는 압출 보온판, 그리고 건물지붕에는 폴리우레탄 폼 등의 단열재가 설치 되었다. 적용된 단열재 모두는 독일 패시브하우스 기준의 열관류율 $0.15W/m^2$ 이하를 만족하였다. 또한 고성능 창호로서 건물에 적용된 T43의 삼중유리도 독일 패시브하우스 기준인 $0.80W/m^2$ 이하를 만족하였으며, 커튼월 프레임에 포함된 창호시스템도 독일 패시브하우스 기준인 $1.0W/m^2$ 이하를 만족하였다. 열교를 최소화 하기 위해서 기둥과 바닥이 만나는 접합부위 또는 Joint 부위에는 EPDM 가스켓 설치를 하였다. 건물의 모든 단열성능은 최종적으로 에너지시뮬레이션을 통해서 증명되었다.

표 1. 삼중유리 성능표

종 류	열관류율 (U)	일사차폐계수 (SHGC)	가시광선투과율 (TVIS)	비 고
Type 1 : 수평피창, 중정	0.66	0.57	0.67	DIN Standard
Type 2 : 외부커튼월	0.69	0.26	0.56	DIN Standard



그림 4. T43 삼중유리(좌, 중), 기밀테이프(우)

3.2 고기밀 성능(Blower Door Test)

건물의 기밀 또한 Blower Door Test를 통하여, 고기밀 건물이라는 것이 입증되었다. Blower Door Test 국내업체에 의뢰하여 사전 테스트에 통과 하였고, 독일 전문가의 최종 테스트에서는 독일 패시브하우스 기준인 $n50 = 0.60h^{-1}$ 이하를 만족하였다. 기밀확보를 위해서 창호와 벽체 연결부

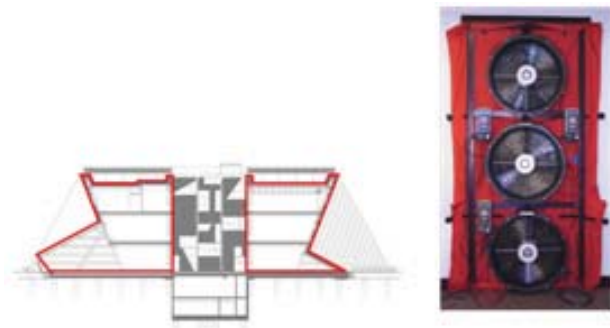
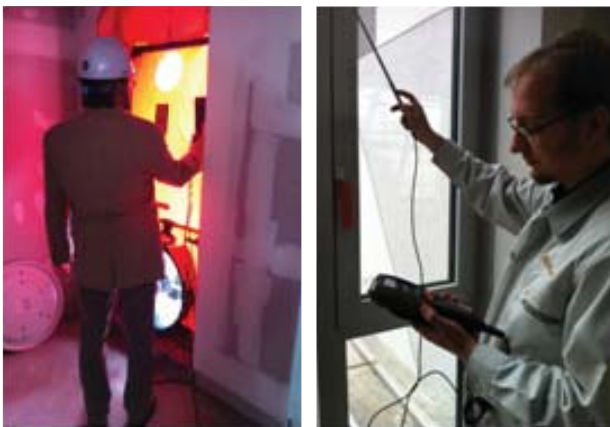


그림 5. 기밀면적 및 측정장비

위에 1차적으로 내·외부 기밀테이프를 부착했고 2차적으로 기밀방습지를 설치하여 습기조절과 함께 기밀을 확보하였다. 특히 경사지붕 내부에 뚫린 수만 개에 이르는 볼트 구멍도 가스켓과 기밀테이프로 밀폐하였다. Blower Door Test 측정방법은 1단계에 50Pa의 압력을 지속적으로 감압 그리고 가압하여 실시하였고, 2단계에는 10~25Pa의 저 압력으로, 3단계에는 70~100Pa의 고 압력으로 감압 그리고 가압하여 실시하였다. 사용된 침기도구는 손, 열선풍속계, 그리고 포그머신으로 외기를 파악하는 데 사용되었다. 단 적외선 카메라는 실내·외 온도 차이가 8도 이하임을 감안해서 사용되지 않았다.



6. BDT 팬 가동(좌) 및 열선풍속계 측정(우)

Test Results at 50 Pascals:	Depressurization	Pressurization	Average
V50: Airflow (m³/h)	5763 (± 0.8 %)	2162 (± 0.3 %)	6972
n50: Air Changes per Hour (1/h)	0.34	0.24	0.46

그림 7. 국내 BDT 결과(n50 = 0.46h-1)

Certificate

for achieved quality of airtight building envelope

Object / Building

Energy Dream Center
Mapo-gu, Sangam-dong
Seoul
Republic of Korea

tested at: 12.04.2012

measurement airtight quality of building envelope according to DIN EN 13829, method A when the measurement the following airtightness was reached, based on the building volume

$n_{50} = 0,34 \text{ 1/h}$

when building a passive house (German Standard) the following airtightness has to be reached

$n_{50} \leq 0,6 \text{ 1/h}$

The specifications and rules of German Passive House Institute (PHI) are fulfilled.

16.04.2012

Kurt Mayer / 0187 11874444

Silke von Baum GmbH
Ermey No.40/46 Str. 2
79110 Freiburg

그림 8. 최종 BDT 결과(n50 = 0.34h-1)

3.3 지열 시스템

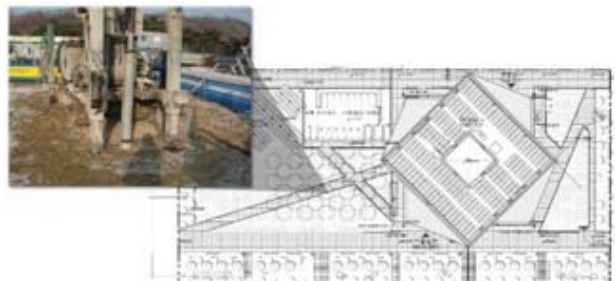


그림 9. 지열천공깊이 50m x 37공

건물의 냉·난방에너지는 지열에너지를 사용하며, 냉난방 에너지를 위해서 지열천공은 50m 깊이로 총 37공을 뚫었다. 독일에서도 패시브하우스 일반주택 같은 경우에는 150m 깊이로 파는데 이는 최적의 열원을 얻기 위해서이다. 그러나 지열을 직접 냉방과 난방에너지로 사용할 경우에 50m 깊이가 가장 적합하다는 사실을 독일 전문가로부터 알 수 있었다. 실제로 독일에서도 냉난방을 요구하는 상업시설의 건물은 50m 깊이의 지중온도가 적용된다고 한다.

지중으로부터 얻은 열에너지는 복사 냉·난방 시스템, 급탕 그리고 가슴에 사용되며, 50m 깊이의 37개 천공으로부터 얻은 열에너지는 버퍼탱크 총 5개(난방 3개, 냉방 2개)에 저장되어 Heating 시즌과 Cooling 시즌에 따라서 운영된다. 참고로 37개 천공의 열에너지는 14공은 난방, 14공은 급

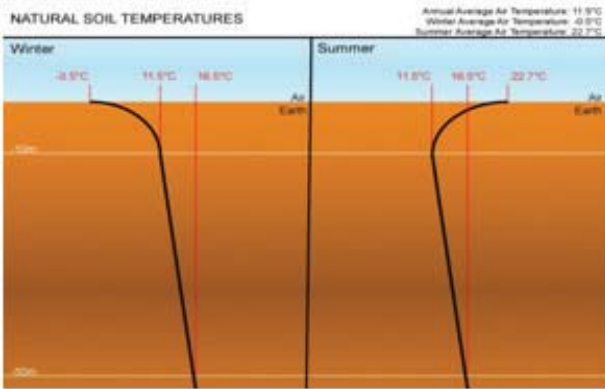


그림 10. 50m 깊이 지중온도(초기)

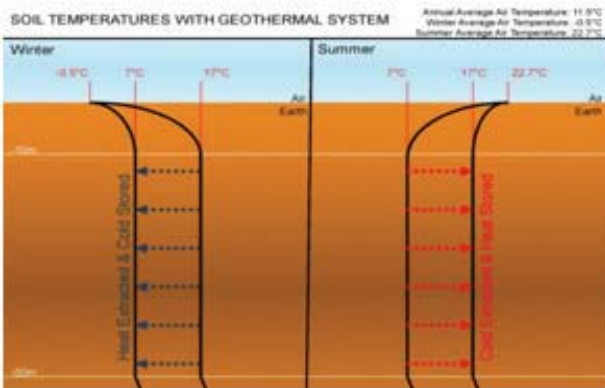


그림 11. 50m 깊이 동절기(좌)와 하절기(우)

탕, 그리고 나머지 9공은 공조기로 사용되며, 총 37개 천공은 냉방으로 사용된다.

- Heating 시즌: Heating 시즌에는 열에너지를 지중으로부터 추출하며 히트펌프(3대)를 통해 온수를 난방, 급탕 그리고 가습에 사용한다. 이렇게 사용되는 온수는 1, 2층의 복사 난방 뿐 아니라 3층의 팬 컨백터에 공급되어 실내온도를 22°C까지 달성한다. Heating 시즌 초반의 지열 난방 시스템은 최대 50W/m의 용량으로 50m 깊이에서 17°C의 지중온도로 시작된다. 지열 난방 시스템이 운영되는 Heating 시즌 동안에는 지열천공 주위의 지중온도가 7°C로 내려간다.

- Cooling 시즌: 지열 냉방 시스템은 저 에너지 컨셉의 아이디어를 준수하여 Cooling 시즌 동안 지중에서 추출된 열에너지로 실내 목표 온도인 24°C를 달성한다. 이는 지열 난방 시스템과 비교했을 때 매우 작은 온도 변화이지만, 시스템의 최대용량이 20W/m인 점을 감안하면 그 효율성이 뛰어나다. 건물 냉방에는 직접 지열수를 사용하며 열 교환기를

통하여 지열 천공의 지열수 온도를 복사냉방과 팬 컨백터에 사용되는 물에 적용한다. Cooling 시즌 초반에는 7°C가 되는 반면에 Cooling 시즌 동안에는 지열천공 주위의 온도가 17°C로 올라간다. 지열 냉방 시스템은 필요 시에 터보칠러로 보완 가능하다.

3.4 복사 냉·난방 시스템

난방을 위한 열에너지를 추출하기 위해서 열 교환기가 사용된다. 이러한 열에너지는 히트펌프 3대를 통해서 바닥 복사 난방에 사용된다. 마찬가지로 냉방을 위한 열에너지도 지중에서 직접 14~16°C 지열수를 열 교환기를 통하여 건물의 냉방에 직접 공급한다. 지중온도가 17°C이상의 경우 터보칠러로 버퍼탱크에 공급하여 건물의 부족한 냉방을 공급한다. 이러한 직접냉방 방식은 국내의 지열히트펌프를 사용한 냉·난방 방식보다 더 많은 에너지 절감을 가능하게 한다.

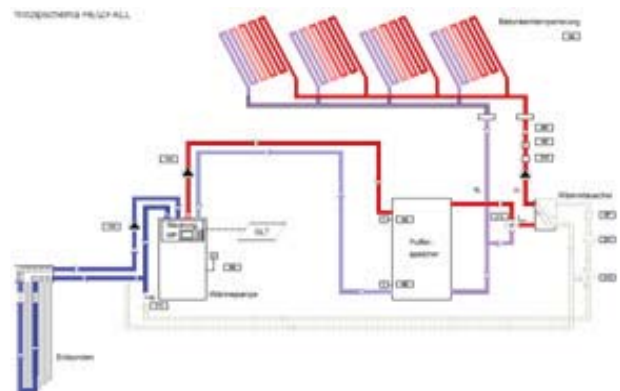


그림 12. 복사난방 시스템

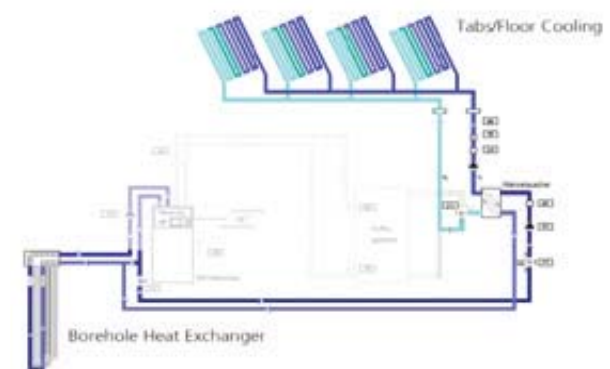


그림 13. 복사냉방 시스템

3.5 환기 시스템

건물에 사용되는 공조기는 전외기 방식의 환기 시스템으로 리쿠퍼레이터가 적용되었다. 이 말은 즉 Heat Recovery와 Adiabatic Cooling 장치를 의미한다. Heating 시즌에는 Heat Recovery를 하여 외기의 차가운 온도를 내부의 따뜻한 온도로 교환해 주며, Cooling 시즌에는 Adiabatic Cooling으로 더운 외기를 차가운 온도로 낮추고 습도 또한 조절해 준다. 운전모드는 아래참조.

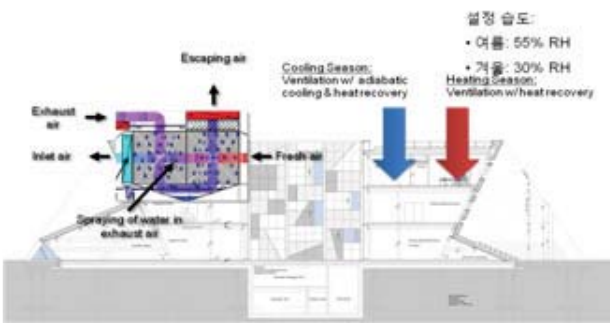


그림 14. 환기 시스템

실내의 쾌적성은 습도조절에 의해 결정되며, 환기속도는 난방 또는 냉방 에너지가 아닌 위생 공기변화속도에 달려있다. 환기속도는 1차적으로 인원수에 의한 스케줄에 의해서 제어된다. 1일 인원수는 최대 600명 정도 계산되었으며, 그 이상이 되면 환기속도가 각 실에 있는 CO₂센서에 의해서 2차적으로 조절된다. 또한 환기 시스템의 에너지요구량을 줄이기 위해서 봄·가을 같은 간절기에는 개폐가 가능한 창문으로 자연환기를 한다.

3.6 조명 시스템

- 자연채광: 중정과 경사지붕/벽체의 하얀 인조 대리석은 모두 자연채광을 최대한 활용하여 조명부하를 줄이기 위한 디자인적 요소이다. 건물의 한 가운데 중정은 일사조명을 1층 아래까지 깊숙이 사용하기 위함이다. 경사지붕/벽체의 하얀 인조 대리석은 60%이상의 빛 반사율을 가지고 있어 유리를 통하여 빛을 실내로 유입시키며, 천장과 내벽의 하얀색 마감은 실내로 유입된 일사조명을 실내 곳곳으로 확산시킨다. 이로서 조명부하를 줄이는 역할을 하는 것이다. 또한 고도가 낮은 동절기에는 경사지붕/벽체가 복사열을 취득하여 난방부하를 줄이는 역할을 한다.

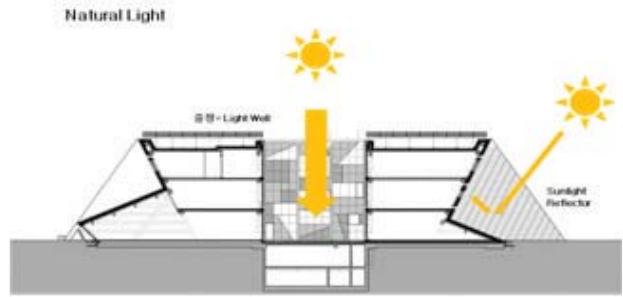


그림 15. 자연채광

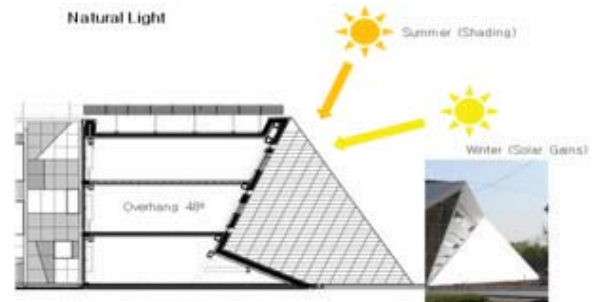


그림 16. 차양

- EVB(External Venetian Blind) 전동블라인드: 외벽과 중정창호에 설치된 EVB 전동블라인드는 하절기에 유입되는 일사를 차단하여 냉방부하를 감소하고 사용자의 필요에 따라 열고 닫히며 유입되는 태양 빛 조절이 가능하다. 또한 슬릿의 각도 조절로 실/공간 깊숙이 태양 빛을 유입하여 일광 사용을 증가시킨다. 옥상 층의 동서남북 4면에 포토센서가 설치되어 있으며, 윈드센서도 설치되어 강한 바람이 불거나 태풍이 오면 자동으로 EVB 블라인드는 닫힌다.



그림 17. External Venetian Blind

- 자동조명제어 시스템: 실내의 전시공간에 사용되는 조명 또한 일광에 따라서 밝기조절이 가능한 Dimming 시스템을 도입했다. LED 조명에 Dimming을 설치하였고, 제1센서가 방향 별로 설치되어 밝기를 조절한다(건물 자동화 시스템 참조).

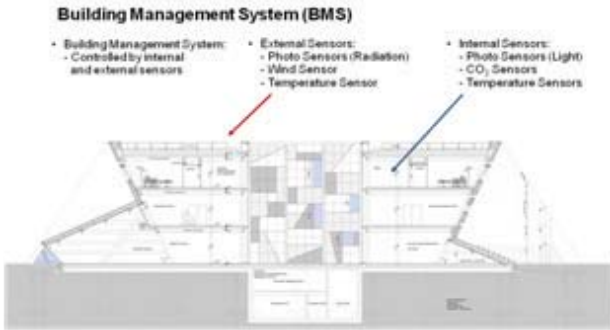


그림 18. BMS

3.7 태양광 발전 시스템

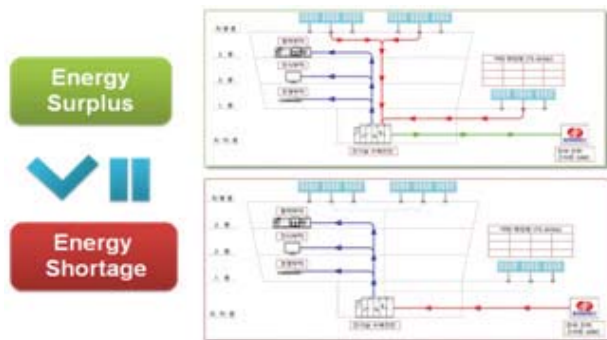


그림 19. On-grid System

앞서 언급한 바와 같이, 태양광 발전 시스템을 통하여 자체 발전된 전기에너지는 건물운영에 필요한 전기에너지로 쓰이고 남은 전력은 한전으로 공급해 준다. 또한 태양광이 발전되지 않은 동안에는 한전에서 부족한 전력을 거꾸로 공급받아 쓰는 On-grid System이다. 즉, 자체 축전기에 전기에너지를 충전해서 건물운영에 필요할 때 쓰는 Off-grid System과 다른 방법이다. 연간 건물에 소요되는 에너지요구량은 계산결과, 274,100 kWh이고, 이에 필요한 전기에너지 설치용량은 272 kWPeak정도 이다. 이 계산은 단위면적당 연간 총 에너지요구량 80 kWh/m²에 공조면적 3407m²를 곱하여 나온 수치이며, 혹시 모를 경우를 대비해 안전율 10,000 kWh를 포함했다. 여기다가 PV패널 연간 발전시간 1011ha를 곱하면 PV패널 설치용량인 272 kWPeak가 나온다. 1011ha는 하루 평균 3-4시간 정도 발전하는 태양광을 시뮬레이션 결과로 얻어낸 발전 시간이다.

4. 준공후기



그림 20. 독일전문가 현장방문

어떤 건설 프로젝트도 쉽게 진행되지는 않는다. 하나같이 힘들고 어려운 과정을 거쳐 하나의 완성된 건축물로 탄생하는 것이 일반적인 프로젝트 진행 과정이며, 에너지제로하우스 건립공사(공식명칭: 서울 에너지드림센터)도 결국은 이러한 범주에 속하는 하나의 건물일 뿐이다.

그러나 다른 프로젝트에 비해 좀 어려웠다고 생각되는 부분은 프로젝트 진행과정 중에 우여곡절이 너무 많아 향후 예측이 불가능 했다는 점이 아닐까 생각한다. 여타 프로젝트의 경우 공사비, 공기, 품질, 안전 등 프로젝트 목표치를 초기에 설정해 놓고 이 범주 안에서 프로젝트를 만들어 가지만, 이 프로젝트는 시작부터 끝까지 어떻게 결말이 날지 예측 불허였고, 설사 예측을 하더라도 빗나가는 경우가 많았다. 죽자고 달려드는 수 밖에는 달리 도리가 없었다.



그림 21. 서울 에너지드림센터 정문

이 프로젝트에 참여한 모든 인원들은 하나같이 이 프로젝트를 성공적으로 완수하기 위해 혼신의 힘을 다 하였고, 이것이 결국 발주처인 서울특별시의 인정과 신뢰를 받아낸 당연한 결과가 아니었나 생각한다. 독일 프라운호퍼 연구소 등의 컨소시엄뿐 아니라, 국내 친환경 사업의 선두주자 격인 (주) 건축사사무소 TOP의 도움에 진심 어린 감사의 말을 전하고 싶다.

Reference

Energy Dream Center Seoul- A Zero Energy Building Final Energy Simulation Report July 2012, 2012

- 김영주 e-mail : kim.youngjoo@pbworld.com
- 궁흥만 e-mail : kung.hm@pbworld.com
- 이원기 e-mail : lee.lk@pbworld.com
- 양승호 e-mail : yang.sh@pbworld.com
- 김보원 e-mail : kim.bowon@pbworld.com