

에너지독립하우스 이야기



Profile

최우석
패시브기술연구소 박사

에너지독립하우스에서 산 지 이제 만 4년 반이 넘었다. 원자력 전기와 화석연료로부터 독립하여 내 집에 내리찍는 햇빛만으로 살아보자는 꿈을 100%는 못 되어도 90% 가량 이루고 있다. 이 지면을 빌어 에너지독립하우스의 지난 4년 이야기를 대강이나마 정리해보고자 한다. 에너지독립 실현과 실내 쾌적성, 이 집에서의 삶, 그리고 그 밖의 고민거리 등을 적어보겠다.



그림 1. 에너지독립하우스 1호와 2호 사진

에너지독립하우스

에너지독립하우스란 원자력 전기와 화석연료 없이 자기 집에서 얻은 태양에너지와 기타 재생가능에너지만으로 필요한 에너지 살림을 모두 다 해나가는 집을 말한다. 흔히 말하는 제로 에너지 하우스는 태양광 전기 발전량과 계통전기 소비량을 대차대조표상에서 가감하여 순 획득을 달성할 수 있는 넷제로(Net-Zero)에너지 건축물을 가리키는데 에너지독립하우스는 이와는 다르다. 해가 날 때 뿐 아니라 해가 나지 않는 밤이나 궂은 날에도 저장해둔 태양 전기로 에너지 살림을 꾸려서 원자력 전기와 화석연료 전기로부터 실질적으로 독립하는 것을 목표로 하는 것이다. 이를 위해 에너지독립하우스는 두 가지 기술적인 요건을 갖추지 않을 수 없다. 하나는 패시브하우스 건축이고 다른 하나는 에너지독립시스템이다.

• 패시브하우스

한 집의 지붕과 벽 정도의 면적에서 얻는 햇빛 전기만 가지고 독립적인 에너지 살림을 꾸리려면 쾌적한 실내 여건을 만드는 데에 아주 적은 에너지만 필요로 하는 패시브하우스(passivhaus; passive house)로 건축물을 만들

어야 한다. 통상 패시브하우스 건축 표준은 난방에너지 요구량이 순수바닥면적(treated floor area) 기준으로 평방미터당 연간 15kWh 이하이고, 1차에너지 요구량이 평방미터당 연간 120kWh 이하인 건축물을 가리킨다.¹⁾ 에너지독립하우스 1호는 난방에너지요구량이 평방미터당 연간 7kWh인 패시브하우스이고, 나란히 선 2호는 14kWh인 패시브하우스이다. 연간 난방에너지요구량의 총량이 각기 737kWh, 1321kWh에 지나지 않는다. 이 값은 주로 겨울철 3개월에 집중되는데 월별 요구량이 가장 큰 1월에는 각각 308kWh와 477kWh가 필요한 것으

로 계산된다. 석유로 환산하면 약 30리터와 50리터 정도에 불과한 양이다. 이처럼 겨울철 월별 난방에너지요구량이 적다면 연면적 100m² 정도의 작은 주택에서도 건축물의 지붕과 벽면 등을 이용하여 에너지독립을 이룰 수 있다. <그림 3>에서 보듯 서울과 인근 지역에서는 남향 경사 15~30도 태양광발전지판 1kWp당 약 70kWh의 1월 발전량이 예측된다. 이를 고려하면 두 집 합쳐서 대략 11kWp의 태양광 발전 설비를 갖추면 1월 난방에너지요구량만큼의 발전을 할 수 있다는 결론을 얻게 된다. 통상 태양광발전지판 1kWp의 면적이 6m² 내외이므로 한

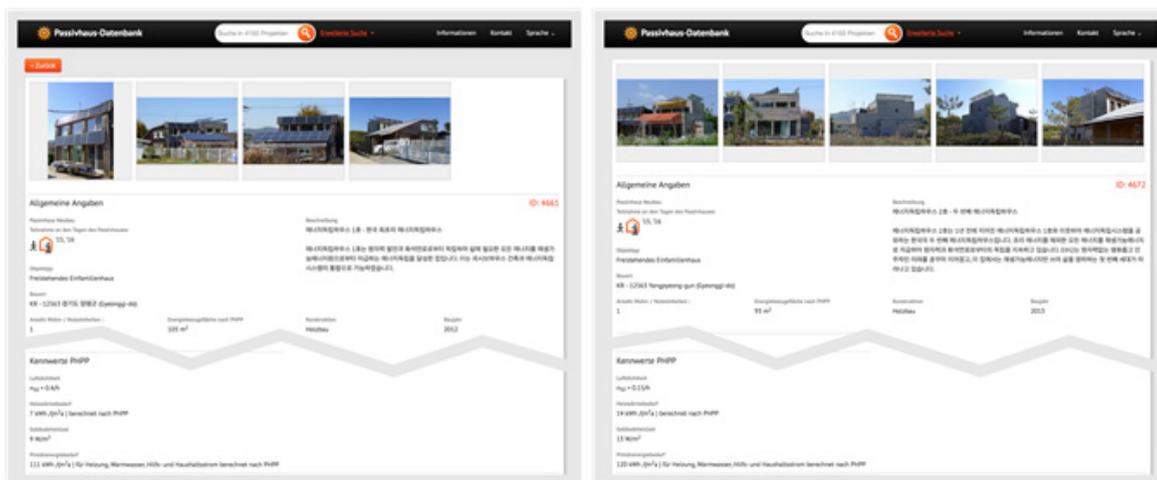


그림 2. 패시브하우스 데이터베이스(<http://www.passivhausprojekte.de>)에 수록된 에너지독립하우스 1호와 2호 개요

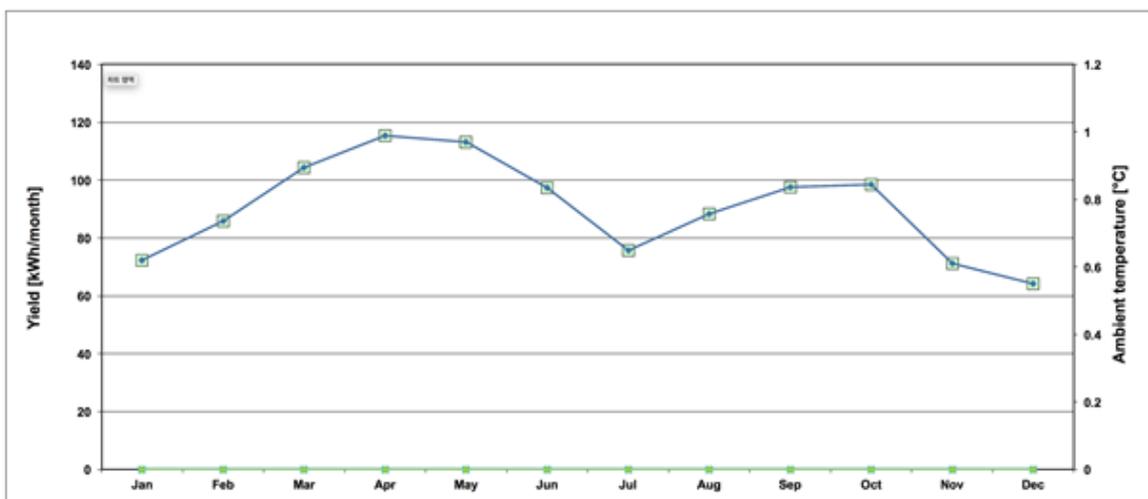


그림 3. 서울 지역 연중 태양광 발전 패턴 - 1kWp당 월별 발전량 (PHPP 9 시뮬레이션 결과)

1) 2015년부터 기존의 화석연료 1차 에너지(PE) 기준을 재생가능에너지 1차 에너지(PER) 기준으로 대체하면서 패시브하우스의 정의가 바뀌었으나 이는 소개하지 않기로 한다. 참고문헌 1번과 2번을 참고하기 바란다.

가구당 5.5kWp의 전지판을 설치하는 데에는 33㎡ 정도의 지붕면과 벽면이 필요하다. 난방에너지를 포함하여 전체 필요한 에너지총량을 공급하려면 물론 더 넓은 설치면적이 필요하지만 연면적 100㎡ 건물의 바닥면적은 최소 50㎡ 이상이라는 점을 고려하면 별문제가 없다. 패시브하우스는 이처럼 에너지독립의 초석이 된다.

• 에너지독립시스템

에너지독립하우스 1호와 2호에는 태양광전지판과 태양광 인버터, 배터리, 배터리 인버터로 구성된 에너지독립시스템이 갖추어져 있다. 초기에는 각기 별개의 독립 시스템을 운영하다가 2014년 여름에 두 집의 시스템을 하나로 통합하였다. 현재에는 에너지독립하우스 1호에 5.5kWp, 2호에 5.3kWp 규모의 태양광 전지판이 설치되어 각각 5kW 용량의 SMA 태양광 인버터 SunnyBoy 5000에 연결되어 있다. 이 두 개의 태양광 인버터는 SMA의 8kW 용량 배터리 인버터 SunnyIsland와 연결되어 태양광 전기를 공급하고 있고 배터리 인버터는 두 집의 전력요구에 대응하면서 심방전도가 높은 48V 621Ah 용량(10-Hr Rate; 100-Hr Rate일 때 36kWh)의 Trojan 배터리 세트를 관리하고 있다. 이 밖에 1호에는 0.53kWp 용량의 전지판이 0.5kW 용량의 WVC 마이크로인버터와 시스템을 이루어 추가로 연결되어 있다.

에너지독립 살림

에너지독립하우스의 목표는 원자력으로 오염된 전기를 무차별적으로 공급하는 한전과 연결을 끊고 스스로 발전한 독립 전기만 가지고 사는 것이다. 이를 위해 에너지독립하우스 1호는 난방, 냉방, 온수, 환기, 조명, 조리, 전기 기기 등 모든 에너지 살림을 전기로 한다.

2호는 가족의 선호에 따라 조리는 LPG 가스로 하고 그 나머지 모듈을 전기로 운용한다. 바닥난방과 같은 거창한 난방설비를 빼서 건축비를 절약하는 동시에 원칙적으로 '독립전기'만 가지고 모든 에너지 살림을 살 수 있게 하였다. 그런데 태양광발전은 날씨와 계절별로 변동이 크기 때문에 태양 전기 중심의 에너지독립을 위해서는 세 가지를 고려해야 한다. 연중 일사량이 가장 적을 때에 충분한 전기를 얻을 수 있게 겨울철을 기준으로 설비량을 갖출 것과 변동에 대응할 수 있게 넉넉하게 에너지저장설비를 갖

출 것, 그리고 저장된 전기가 부족할 때를 위한 비상에너지설비를 갖출 것이 권장된다. 하지만 여기에는 돈과 공간이 필요하고 넉넉하게 갖출수록 경제성과는 거리가 멀어진다. 빠듯한 예산으로 집을 지은 에너지독립하우스 1호와 2호의 에너지독립시스템은 넉넉함보다는 경제성을 따랐다. 덕분에 <그림 3>에서 보듯 계절별로 소비량이 발전량을 웃도는 때가 상당히 있다. 2015년 1월부터 2017년 8월까지를 살펴보면 두 집의 합산 월평균 발전량은 757kWh이고 소비량은 702kWh이다. 하지만 겨울철 12~2월 3개월 평균은 발전량 746kWh, 소비량 865kWh로 소비량이 더 많다. 이 때문에 에너지독립하우스에는 발전량이 부족한 계절과 궂은 날, 그리고 여러 가지 비상 상황에 대비한 비상에너지설비가 필요하다. 비상설비가

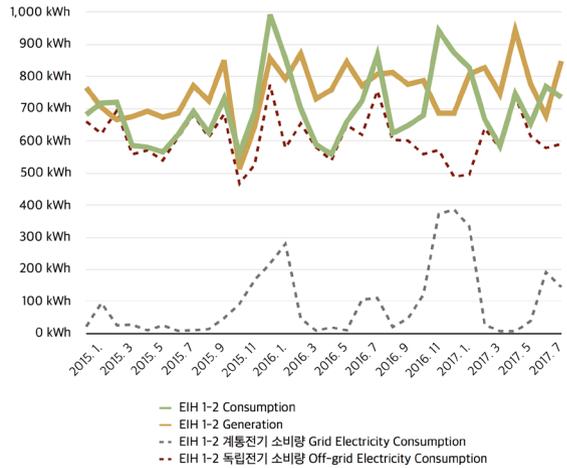


그림 4. 에너지독립하우스 1, 2호의 전력소비량과 발전량

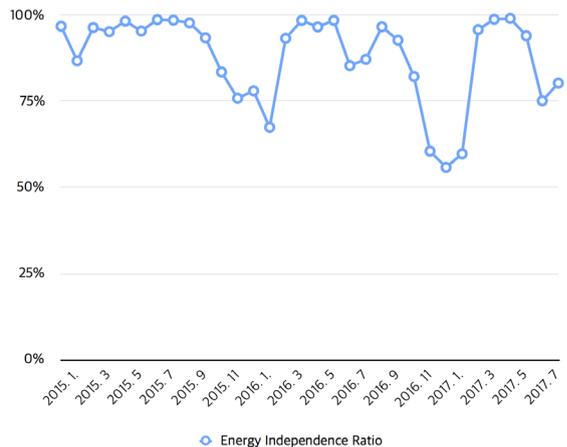


그림 5. 에너지독립하우스 1, 2호의 에너지독립률 추이 2015.1 ~ 2017.8

없으면 정전을 피할 수 없다. 문자 그대로의 에너지독립을 위해서는 이 역시 바이오매스 등의 재생가능에너지를 이용한 발전설비가 되어야겠는데 비용 부담이 아주 크다.

아쉬운 대로 값싼 화석연료 발전기를 쓰자고 해도 너무 불편이 커서 쓸 만하지가 못하다. 이러한 사정 때문에 애초 취지가 부분적으로 훼손됨을 무릅쓰고 당분간 한전의 계통 전기를 비상설비로 쓰기로 하고 2015년 1월부터 에너지독립시스템에 한전 계통 망을 연결하였다. 물론 양쪽의 전기가 섞이거나 넘나드는 것은 아니다. 독립전기가 있을 때는 계통망 연결이 끊겨 있다가 독립전기가 떨어질 때만 연결되는 방식이다.

이때부터 '독립 전기'로 살아가는 비율인 에너지독립률을 셈하고 있는데 2017년 8월 현재까지 연평균 88%를 기록하고 있다. 보통 월평균 90% 이상을 유지하고 있고, 겨울철과 장마철에 90% 아래로 내려가는데 지난겨울에 관리상의 실수로 배터리 용량이 크게 줄어 독립률이 많이 떨어졌다. 기왕에 설치되어 있었던 48V 207Ah 용량(10-Hr Rate)의 배터리 1열이 손상을 입어서 전체 저장 용량이 현재의 621Ah로 크게 줄어들었다. 현재 우리 집에서 쓰고 있는 납축전지는 주기적인 물 보충 등 사용자 관리가 꽤 필요하고 그만큼 손상의 위험도 적지 않다. 앞으로 테슬라의 Powerwall과 같은 가정용 리튬이온전지를 에너지저장설비로 이용하게 된다면 에너지 독립률의 저하는 손쉽게 막을 수 있으리라 생각한다.

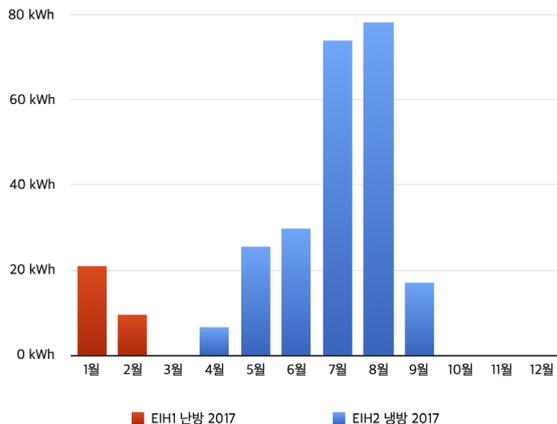


그림 6. 에너지독립하우스 1호의 냉난방에너지 소비량

난방냉방에너지와 실내 쾌적도

그동안 패시브하우스에 적당한 값싸고 효과적인 난방과 냉방장치를 찾기 위해서 작은 전기난방기기 중심으로 여러 가지를 시험해보았으나 에너지독립하우스 1호에서는 2016년에 이르러 적은 용량의 히트펌프가 가장 적절하겠다고 결론을 내리고 냉방 능력 3kW, 난방 능력 3.8kW의 LG 벽걸이형 냉난방기를 설치하였다. 올해 1월부터는 손쉽게 에너지사용량을 계량할 수 있는 스마트 플러그를 달아서 난방 및 냉방에너지 사용량을 파악하고 있는데 9월 20일까지의 사용량은 <그림 6>과 같다. 1~2월 난방에너지사용량은 약 30kWh였고, 7~8월 두 달의 냉방에너지사용량은 약 150kWh였다. 1월 하순에 보름간, 7월 초순에 7일 정도 집을 비우지 않았다면 각각 50kWh, 180kWh 정도 되었을 것

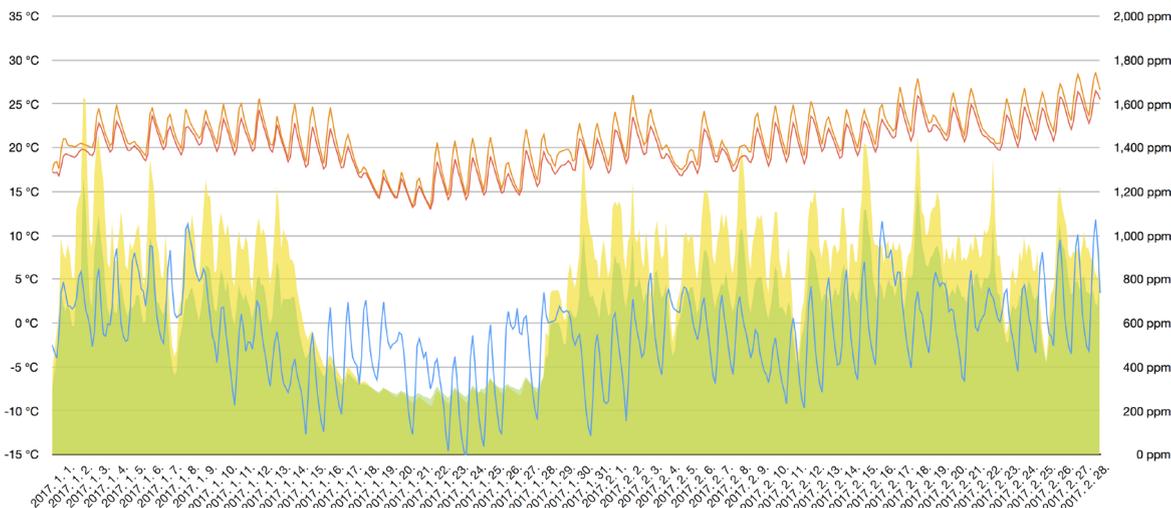


그림 7. 에너지독립하우스 1호의 2017년 1~2월 실내의 기온과 실내 CO2 농도

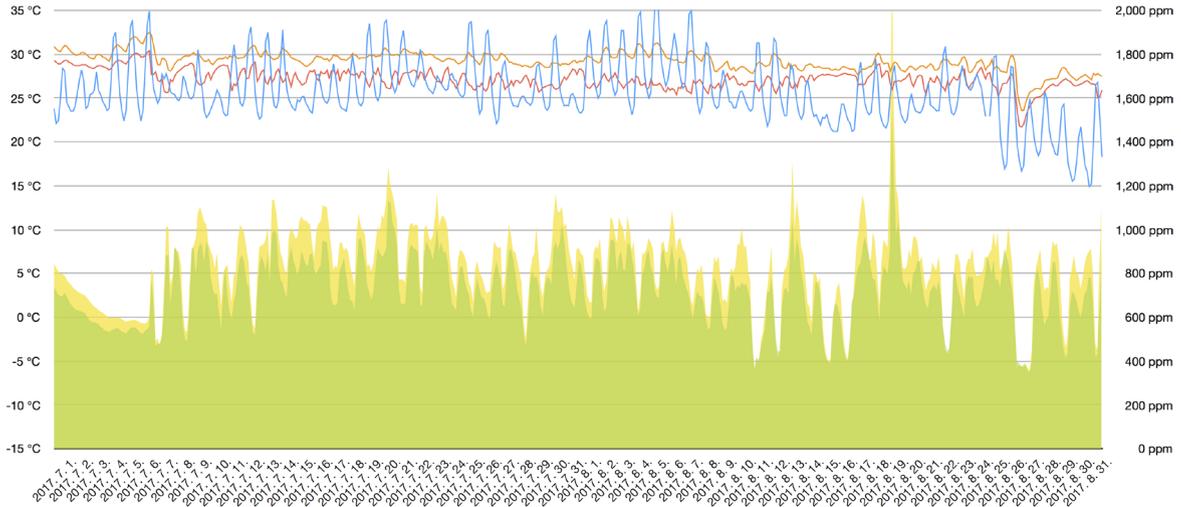


그림 8. 에너지독립하우스 1호의 2017년 7~8월 실내의 기온과 실내 CO2 농도

같다. PHPP의 시뮬레이션으로는 겨울철 실내기온 20°C 이상을 유지할 때 1~2월의 난방에너지요구량이 443kWh, 여름철 실내기온 25°C 이하를 유지할 때 7~8월의 냉방에너지요구량은 738kWh로 나오는데 일반주택뿐만 아니라 PHPP 계산 값에 비해 볼 때도 비교적 작은 값이다.

이는 에너지독립하우스 1호에서 겨울철 20°C 이상, 여름철 25°C 이하를 엄격하게 유지하지 않은 까닭과 COP 3 이상의 히트펌프로 냉난방을 한 이유, 그리고 효과적인 여름철 햇빛 차단과 겨울철 햇빛 유입 등이 복합적으로 작용한 탓일 것이다. 여하튼 우리 가족 기준으로는 겨울철 18~20°C 이상이면 별반 춥지 않고, 여름철 27~28°C 이하이면 그다지 덥지 않은데 <그림 7>과 <그림 8>에서 보듯 주생활 공간인 1층에서 이러한 쾌적성을 대체로 이룬 결과가 위의 냉난방에너지 소비량이다. 에너지독립하우스 2호는 1호에 비하여 냉난방에너지 소비량이 더 많지만 역시 PHPP 시뮬레이션 수준을 웃돌지는 않는다. 에너지독립하우스 1호와 2호에서는 이처럼 4계절 실내 쾌적성을 해치지 않으면서 연평균 90% 내외 수준의 에너지독립을 유지하고 있다.

에너지독립하우스에서의 삶

이제 생활 이야기를 해보자. 에너지독립하우스에서 사는 것은 일반 주택에서 사는 것과 그다지 다르지는 않다. 다른 것이 있다면 늘 해를 바라보며 살림을 한다는 정도이

다. 날이 맑은 낮에는 에너지가 드는 일들을 많이 하고, 굵은 날에는 에너지 살림을 긴축하려 애쓰는 것이다. 낮에 태양 전기로 온수를 만들어 두었다가 저녁에 쓰고, 빨래나 청소, 큰 요리 같은 일도 어지간하면 맑은 날 낮에 하려 한다. 물론 밤에도 저장된 전기로 불 켜고 컴퓨터 쓰고 음악 듣고 음식 데우고 차 마시는 일들을 다 하지만 할 수 있는 한 에너지가 많이 드는 일은 낮에 되게끔 피를 낸다. 타이머나 원격 스위치 같은 보조 기기들을 활용하면 어느 정도까지는 때에 맞춰 에너지 살림을 할 수 있다. 내 집에 떨어지는 햇빛만으로 살아간다고 늘 빠듯한 것도 아니다. 겨울철과 장마철 이외에는 도리어 풍성하게 내리쬐는 햇빛을 다 담아낼 수가 없다. 부하만큼만 발전이 되기 때문에 배터리가 만충전 되고 나면 발전량이 뚝 떨어진다. 이럴 때는 전기소비량이 큰 전기오븐 요리도 하고, 탕 요리도 하는 등 에너지 사치도 부린다. 반면 겨울철과 굵은 날에는 에너지 긴축이 필요하다. 맑은 날이면 겨울이라 해도 전혀 에너지가 부족하지 않지만 흐린 날은 저장된 에너지에만 오롯이 의존해야 할 때가 많다. 이런 날에는 며칠 미뤄도 상관없는 빨래 같은 일은 하지 않는다. 거창한 요리도 맑은 날을 기다리고 될 수 있는 대로 간단한 요리를 한다. 에너지독립 살림은 내게 주어지는 햇빛을 현명하게 갈무리하고 적시에 활용하는 지혜로운 삶이지 궁핍한 삶과는 거리가 멀다. 현대적으로 해를 바라보며 사는 삶이라 하고 싶다.

패시브하우스에서의 삶

이런 정도밖에는 생활면에서 별반 다를 것이 없다. 그보다는 패시브하우스여서 여느 집과 다른 점들이 더 있기는 하다. 한 가지 도드라진 것은 실내에서 도무지 바깥 기온을 가늠하기가 어렵다. 숫자로 찍히는 온도 정보를 보고 외출 옷을 챙겨 보지만 막상 문밖에 나갔다가 생각보다 춥거나 더워서 다시 들어오는 경우가 한두 번이 아니다. 바깥 온도에 크게 영향을 받지 않는 패시브하우스이기 때문에 생기는 일이다.

작년 올해 들어서 창을 거의 열지 않는다는 점도 좀 특별한 것 같기는 하다. 창을 열면 앞뒤로 맞바람이 치게 잘 배치되어 있지만 말이다. 패시브하우스에는 꽃가루 수준까지 거를 수 있는 열회수환기장치가 반드시 설치되는데 덕분에 환기장치가 가동되는 실내의 공기 질이 바깥 공기 질보다 더 좋은 수준을 유지하는 탓이다. 작년 올해 보듯이 거의 여름철을 빼면 연중 미세먼지가 하늘을 뿌연게 덮고, 봄가을에는 꽃가루 등의 알레르기 유발물질들도 많다. 여름에는 바깥 공기의 습도도 고통스럽다. 환기장치가 없다면 이런 불리한 점을 감수하고라도 이산화탄소 농도를 낮추기 위해 창을 열어 환기하지 않을 수 없겠지만 연중 실내 이산화탄소 농도 600~1000ppm 사이를 유지하고 있으니 굳이 창을 열 필요가 느껴지지 않는 것이다. 앞서 난방에너지 소비량 기록에서도 보이듯이 겨울철 난

방을 잘 하지 않는 것도 패시브하우스의 다른 점이다. 해가 나는 날은 전혀 난방이 필요 없고, 흐린 날에도 난방해야 하는 날이 얼마 되지 않는다. 통상 일반 주택에서는 겨울철 난방비 때문에 겨울철이 다른 계절보다 경제적으로 더 부담스럽게 느껴지는 경우가 많지만 적어도 난방비 측면에서 패시브하우스는 다른 계절과 겨울철 차이가 크지 않다.

패시브하우스의 특징 중 하나는 변동이 심한 바깥에 비하여 실내의 온도 변동, 습도 변동, 이산화탄소 농도 변동이 크지 않다는 것이다. 이러한 점이 패시브하우스에서의 일상도 매우 쾌적할 뿐만 아니라 좀 더 안정적으로 만들어 주는 게 아닌가 한다.

에너지독립하우스, 현재의 고민

에너지독립하우스를 짓고 사는 이유는 특별할 게 없다. 적은 에너지로 더 쾌적하게 살 수 있는 집에 살고 싶었고, 원자력과 화석연료 없이 남에게 폐 끼치지 않고 내게 주어진 햇빛만으로 살고 싶었다. 90% 내외의 에너지독립을 완전에 가깝게 이루려면 개선할 점들이 더 있지만, 지금까지 비교적 성공하고 있다고 자평한다. 그러나 크고 작은 고민도 있다. 우선 작게는 한국에서 가정용 리튬이온 배터리와 독립형 시스템을 손쉽게 구할 수 있게 되기를 희망한다. 새로운 배터리를 도입하면 더 적은 용량과 더 작은 설치 공간으로 더 많은 전기를 저장하고 더 효율적으로 이용할 수 있을 것이다.

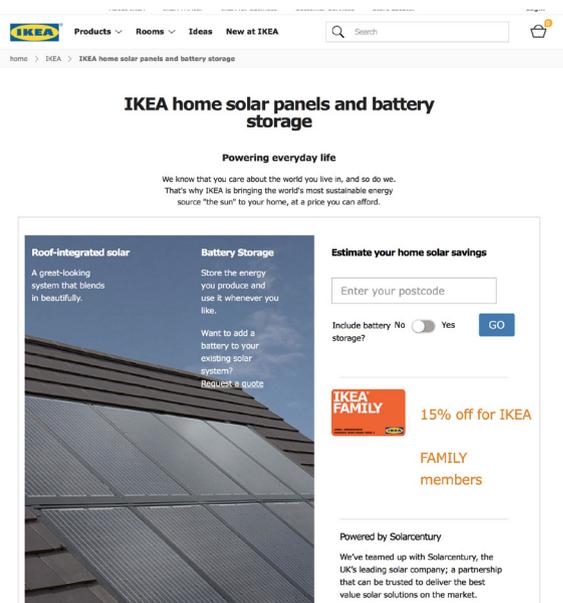


그림 9. 테슬라 에너지 사업 홈페이지(왼쪽)과 이케아 가정용 태양광+저장설비 사업 홈페이지(오른쪽)

이미 세계는 이 새로운 시장을 놓고 치열하게 각축을 벌이고 있다. 테슬라는 Powerwall이라는 가정용 배터리와 태양광발전시스템을 하나로 묶어 사업을 벌이고 있고, 얼마 전에는 이케아 역시 태양광+저장설비의 꾸러미를 제공하는 시장을 선점하기 위해 뛰어 들었다. LG와 삼성은 이미 몇 년 전부터 인버터회사인 SMA와 손잡고 유럽에 가정용 리튬이온전지를 공급하고 있다. 하지만 한국에서는 이러한 제품을 구매하기는 커녕 구경조차 하기가 어렵다.

태양광발전은 이제 낯설지 않은 단계까지 왔지만 집마다 배터리를 갖추어 태양 전기를 저장한다는 발상은 아직 생경하기 때문이다. 화석연료와 원자력을 넘어서 재생가능 에너지로 미래를 열기 위해서는 분산형 발전설비가 널리 보급되는 것과 동시에 분산형 에너지저장설비까지 결부되어야 한다.

나아가 한국전력의 계통 망을 이용하여 작지만 다양한 재생 가능 전기 거래가 한시바빠 자유롭게 일어나기를 희망한다. 독립형 태양광발전시스템의 가장 큰 단점은 햇빛이 비치는 만큼 발전을 할 수가 없다는 것이다. <그림 10>에 보이듯이 ‘계통연계형’ 태양광발전시스템이 종 모양 곡선을 그리면서 최대를 발전할 때 ‘독립형’ 태양광발전시스템에서는 배터리가 만충전된 뒤로는 태양이 비추어도 발전이 일어나지 않는다.

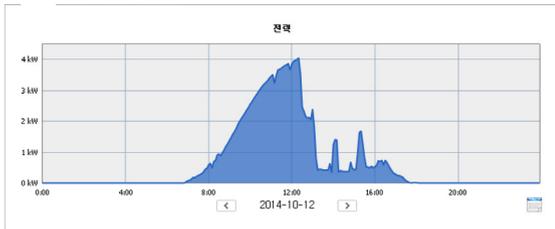


그림 10. 에너지독립하우스의 전형적인 봄가을 맑을 날 하루 발전 패턴

부하가 있어야 전기가 생산되기 때문이다. 이 때문에 에너지독립하우스에서는 태양으로부터 얻을 수 있는 전기를 한참이나 연지 못하고 있다. 만약 전기의 판매를 한전이 독점하지 않고 한전의 계통 망을 이용하여 개인과 개인 사이, 작은 재생 가능 전기 판매업체와 개인, 또는 집단 사이에 자유로운 전력거래가 가능하다면 에너지독립하우스도 에너지독립을 이루고도 남는 전기를 팔아 수익을 올릴 수 있다. 겨울철 에너지 살림을 중심으로 발전설비량이 설계되기 때문에 필연적으로 다른 계절에는 필요

한 양을 훌쩍 넘는 전기를 생산할 수가 있다. 현재 한전에서 참여형 소비자(prosumer) 제도를 도입하겠다고 며 시험 운영을 준비하고 있는 듯한데 아주 가까운 거리에 국한하여 허용한다면 생색내기에 그치고 말 것이다. 독립형 태양광발전시스템의 깨끗한 전기를 같은 지향을 하는 사람들과 함께 쓸 수 있는 날이 오기를 기다린다. ●●

참고문헌

- Passive House Institute (2015), Passive House requirements. http://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- Passive House Institute (2016), Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, version 9f, revised 15.08.2016. http://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf