

## 생태마을적용 에너지시스템에 관한 연구

임상훈\*

한국에너지기술연구원\*

### A Study on the Alternative Energy System of Ecological Village

Lim Sang Hoon\*

Korea Institute of Energy Research\*

#### 1. 서론

태양에너지의 약 절반과 수많은 유해성 방사선의 대부분이 지구의 대기에 의해 산란되거나 흡수된다. 그리고 지구표면에 닿는 에너지의 90% 이상이 바다와 유기체들에 의해 흡수되는데, 인간이 직접 사용하는 태양에너지의 양은 극히 일부라고 할 수 있다. 식물과 몇몇의 박테리아 등은 태양에 의해 생존을 하는데, 그들은 광합성을 통해 태양에너지를 화학에너지로 바꾸어 저장한다. 이런 과정을 거쳐 생성된 화석연료의 탄소들은 수 백 만년 동안에 흡수된 것이지만 연소과정을 통하여 대기 중으로 한순간에 방출되고 있는 것이다. 이는 생물권에 탄소가 축적되어 탄소순환에 불균형을 초래함을 의미한다.

단순히 편리성과 쾌적성만을 고려한다면 태양에너지는 불연속적이며 에너지의 양이 일정하지 않다는 단점이 있다. 또한, 야간시간대에는 사용하지 못하며, 일기상태에 따라 일사량의 기복이 크다는 특징이 있다. 그리고 일교차 및 계절에 따른 온도차가 심하게 발생하는데, 이러한 환경을 극복하기 위해 인공적인 난방과 조명, 냉방기술이 발달하고 있는 것이다. 그리고 보다 쾌적하고 안락한 삶을 살기 위해서 운송수단 및 산업시설이 발달하였는데, 이러한 과정에서 자연자원을 고갈시키고 있으며, 오랜 기간 태양의 작용으로 탄소가 축적되어 생성된 화석연료를 자연환경을 쇠퇴시키고 파괴시키는 힘으로 바꾸기 시작했다. 비록 새로운 자원의 발견과 높은 에너지효율기기의 사용으로 화석에너지자원의 사용기간이 길어지겠지만 향후 멀지 않은 미래에 자원이 고갈될 것이다. 이러한 사실은 우리로 하여금 생태마을에 주목하도록 한다. 생태마을이란 자연에서 영감을 얻었으며 환경파괴를 최소화하기 위한 수법을 적용하고 마을주민들에게 쾌적감을 주는 마을을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 생태마을에 적용 가능한 각종 에너지시스템에 대하여 살펴보았다.

#### 2. 생태마을적용 에너지시스템

##### (1) 태양열(Solar Thermal)

태양열시스템은 자연형 시스템과 설비형 시스템으로 구분되는데 먼저 자연형 시스템은 태양열의 집열, 저장, 이용하는 방식에 따라 기본적으로 직접획득형, 간접획득형, 분리획득형의 3가지로 분류하며, 구조형태상의 분류로서 직접획득형, 축열벽형, 축열지붕형, 부착온실형, 자연대류형, 2중외피구조형이 널리 사용된다. 한편, 설비형 태양열시스템은 크게 집열부·축열부·이용부와 기타 순환시설, 보조열원 및 제어장치로 구성되어 있다. 일반적으로 집열기로 얻는 열량과 건물의 난방부하 및 기타 열부하가 항상 평형상태가 되도록 기계적인 장치를 이용한다.

설비형 태양열 시스템은 크게 열전달 매체에 의해 액체식과 공기식으로 분류된다. 액체식은 집

열매체로 물이나 부동액을 이용하며 공기식은 공기를 집열매체로 사용한다. 이러한 설비형 태양 열시스템의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 것은 집열부의 집열기로서, 흔히 건물 옥상이나 지붕에 설치된다. 일반적으로 집열판이라고도 부르며, 이러한 집열기에는 열을 유체로 전하기 위한 흡열판이 있다. 또한 뒷면과 끝부분이 철저하게 단열되고 단일 또는 이중의 투명커버(유리 또는 비닐류 등)를 이용한다.

또한, 태양열발전시스템의 구성은 집열시스템, 열전달시스템, 축열·열교환시스템, 터빈, 발전시스템 등으로 되어 있다. 여기서 먼저, 집열시스템이란 태양에너지를 소정의 집열온도로 효율이 좋게 집열하는 것을 말하며, 열전달시스템은 집열된 열에너지를 효율이 높게 축열·열교환시스템으로 수송하는 것이다. 그리고 축열·열교환시스템은 열수송시스템에 의해 수송된 열에너지를 축열하고, 다시 여기서 열교환하여 발전시스템에 공급하는 시스템이고, 터빈과 발전시스템은 전기에너지로 이를 전환하는 시스템을 말한다. 이러한 태양열발전시스템의 방식을 크게 양분하면, 곡면집열형 태양열 발전시스템과 타워(Tower)집열형 태양열발전시스템으로 나눌 수 있으며, 이를 분산형과 집중형 발전시스템이라고도 할 수 있다. 타워집열형 태양열 발전시스템은 여러 개의 평면경(헬리오스타트)군에 의하여 이 군의 중앙부에 위치하는 타워의 정상에 있는 리시버(Receiver)에 태양에너지를 집열하여 이 열에너지로 발전을 하는 시스템을 말한다.

## (2) 태양광발전(Photovoltaic)

태양전지는 개발 당초 일반적인 전원으로서 이것을 널리 이용하려고 생각하였으나, 현재로서는 대부분 우주공간에서 인공위성의 전원으로 사용되고 있다. 지구상에서는 송배전이 곤란한 해상, 산간, 벽지 등에서 극히 적게 이용되고 있는 데 이는 아직까지 태양전지 가격이 비싸기 때문이다. 이와 같이 태양전지는 우주용과 지상용으로 크게 나뉘며 우주용과 지상용에서는 태양광 스펙트럼(Spectrum)분포의 차이, 우주공간에서의 방사선에 의한 손상 등 환경의 차이에 의해서 소자구조 그 자체가 다르나, 태양전지를 사용한 발전장치의 설계기준에 대해서도 차이가 있다. 즉, 우주용태양전지에서는 내방사선특성, 경량, 높은 공간인자, 고신뢰성이 요구되나 지상용태양전지에는 오히려 경제성이 요구된다. 이외에도 천후, 일조시간 등 지상에서의 태양일조의 변화를 고려한 설계가 필요하다.

## (3) 풍력발전(Wind Power)

기원전 3600년경, 이집트에서 지하수를 끌어올리거나 농경지에 물을 댈 때 풍차를 이용한 것이 인류최초의 풍력이용기록이며 유럽형 풍차의 기원이라고 알려져 있다. 이러한 풍력에너지는 오래전부터 바람이 갖는 운동에너지를 동력원으로 하여 풍차에 의한 제분, 양수, 관개 또는 소규모 발전과 범선 등에 활용되어 왔다. 풍력은 대기오염, 연료소비, 등을 가져오지 않으나 소음 및 때로는 근거리에서의 TV수신에 지장을 줄 수도 있다. 또한 풍력은 풍속과 풍향에 커다란 함수관계를 가진다. 그런데, 풍력에너지는 일정한 풍향에서 에너지를 저장하기 수월하므로, 풍력에너지의 가장 효율적인 생성은 강하고 일정한 바람이 부는 지역이 될 것이다. 그러나 풍력은 태양열 또는 태양광에너지와 같이 에너지밀도가 낮고, 풍속과 풍향이 항상 일정하지 않다는 단점을 지니고 있다. 풍력발전은 풍차가 바람을 받아 그 힘으로 발전기를 돌리게 되어 있으며, 용량에 따라 100kw미만은 소형, 100kw~1,000kw는 중형, 1,000kw이상은 대형으로 구분되는데, 오늘날 대부분의 풍력발전은 소형과 중형을 이용하고 있다. 풍력은 양수발전으로도 사용가능한데, 이는 바람이

잘 통하는 언덕위에 풍차를 설치하여 바람이 많은 날 생성된 풍력을 저장고의 댐아래에서 위로 물을 양수하는데 사용하고, 후에 물은 수력을 생성하기 위해 저장고위로 방출하는 것을 말한다.

#### (4) 지열(Geo Thermal)

우리 인간이 생활하고 숨 쉬고 있는 지구는 내부로 들어갈수록 온도가 높아져 지표에서 약 6,370km되는 지구의 중심 속은 수천도의 고온이다. 지구의 중심부는 지핵이라고 하며 우리가 살고 있는 가장 바깥 부분 즉, 지각은 육지에서는 30~40km, 해저에서는 5km정도의 두께이다. 이 지각부분에서는 100m 깊이 내려갈 때마다 평균 3℃ 정도 온도가 상승하는데, 이 지표에서 지하로의 심도에 따라 온도가 상승하는 비율을 지온준배라고 한다. 지각과 지핵 사이에 있는 것이 맨틀(mantle)이며 지표에서 약 2,900km의 깊이까지인데, 이 맨틀의 지각 가까운 부분이 열로 용해되어 마그마(magma)가 되고, 이것이 지표로 분출되면 화산이 된다. 마그마는 지각의 틈을 따라 지표 가까이 수천 km내지 수십 km까지 이동 집결되며, 그 온도는 섭씨 수백 도에서 1,000도 가량이 된다. 지열은 지각 중에 함유되어 있는 방사능 물질의 붕괴 또는 맨틀에서의 열대류에 의해 암반 중에 보존되어 있는 열, 또는 지하에서 지구 과학적인 작용을 통하여 발생하는 열이라고 볼 수 있다. 이러한 지열은 가정, 공장, 온실 등에서의 공간난방과 온천 등에서는 직접 열로서 이용 가능하며, 지열을 이용하여 터빈을 돌려 전기를 일으키는 지열발전의 경우, 화석연료나 핵연료를 사용하는 발전소보다 저렴한 가격으로 전력을 생산할 수 있다.

#### (5) 해양에너지(Ocean Energy)

향후 21세기의 에너지원은 원자력과 신·재생에너지가 50 : 50으로 역할분담을 이룰 것으로 전망되는데, 특히 화석연료의 사용은 배장량과 지구환경문제 등으로 필연적으로 줄게 되고 또 줄어야 할 것이므로 새로운 에너지원의 개발이 시급하다. 따라서 지구에너지를 해양에서도 찾아야 할 것이고, 해양은 많은 양의 우라늄자원이 있으므로 우라늄이 육지에서 생산하기 어렵게 되면 바다에서 우라늄을 추출하는 것이 훨씬 경제적이 될 수 있으며, 이를 위해서 해양에너지관련 발전소 건설시, 미리 우라늄 추출플랜트를 고려한 설계를 하여야 할 것이다.

그러나 무엇보다도 해양에서 얻는 해양에너지는 21세기에 가장 주목을 끄는 자연에너지로서, 이에겐 간만의 차이를 이용하는 조력에너지, 파도의 힘을 이용하는 파력에너지, 해수면과 심층의 수온의 차이를 이용하는 해양온도차에너지, 하천과 해양이 접하는 하구에서의 염분농도의 차이를 이용하는 에너지 등이 있고, 이외에도 해안지역에 거대한 바이오매스 농장을 만들고 조류양식을 통하여 에너지를 얻는 방식 등(미국 캘리포니아에서 실험농장이 가동 중)도 있다.

#### (6) 바이오에너지(Bio Energy)

바이오매스(biomass)는 에너지로 이용할 수 있는 식물과 동물 등 생물의 집합체를 가리키는 것으로 넓은 의미로는 동식물에서 발생된 폐기물을 함유하기도 하는데, 바이오매스 에너지(바이오에너지)는 이 유기체가 지니고 있는 에너지 자체와 이의 유용에너지로의 변환 및 이용 등을 의미한다. 바이오매스는 대기 중의 탄소가스를 식물체 중에 흡입시켜 유기물로 고정화할 수 있다. 따라서 바이오매스를 연료 및 화학연료로 변환하여 이용해도 대기중의 탄소가스 밸런스에 영향을 주지 않으며 재생에너지 중에서 오직 바이오매스만이 유기질이고 가솔린과 같은 액체연료 혹은 알콜과 같은 화학연료를 만들어 낼 수 있다. 에너지 변환에는 나무를 잘라 연료로 태우는

간단한 것을 위시하여 사탕수수 등의 작물을 발효과정을 거쳐 액체연료화 하는 것 등이 다양하게 포함된다. 바이오매스 자원을 크게 분류하면 에너지 자원으로서의 식물 즉 감자류와 같은 농작물, 수목, 해초 등의 탄화수소 식물, 농업과 임업 그리고 축산업에서의 폐기물로 나눌 수 있다.

#### (7) 소수력발전(Small Hydropower)

소수력에 대한 정의는 명확하지 않으나 일반적으로 설비용량으로 구분하여 3,000kw급 이하의 수력발전소를 칭한다. 이러한 소수력은 낙차에 따라 20m 이하를 저낙차(Low Head), 20m~150m를 중낙차(Medium Head), 150m이상을 고낙차(High Head)로 구분하고, 설비용량에 따라서는 100kw미만의 마이크로수력(Micro hydropower), 100kw~1,000kw의 미니수력(Mini hydropower), 그리고 1,000kw이상의 소수력(Small hydropower)으로 세분될 수 있다. 또한 발전방식에 따라서는 수로식, 댐식, 터널식으로 나눌 수 있는데, 수로식은 자연유하식(Run-of-river type)이라고도 하며, 하천을 따라서 완경사의 수로에 댐을 설치하고 하천의 급경사와 굴곡 등을 이용하여 수로에 의해서 낙차를 얻는 방식으로, 수로식은 일반적으로 하천경사가 급한 상·중류에 적합한 형식이며, 댐은 월류식으로 채택되는 경우가 많다. 수로식 발전소의 일반적인 경로는 ①댐 → ②취수구 → ③침사지 → ④수로 → ⑤수압관로 → ⑥발전소 → ⑦방수로이다. 댐식 소수력발전소는 저수식(storage type)이라고도 하며 주로 댐에 의해서 낙차를 얻는 형식으로, 발전소는 댐에 근접해서 건설하고 일반적으로 하천경사가 작은 중·하류의 유량이 풍부한 지점이 유리하다.

#### (8) 태양로

태양로란 태양광선을 집중시켜서 시료에 쪼이게 하여 고온을 얻는 장치이다. 집광방법 중의 하나로서는 렌즈에 의한 것인데, 이미 18세기 프랑스의 과학자 라보아제(Lavoiser)가 오목렌즈를 사용해서 태양광선을 모아 백금, 기타의 물질을 녹인 사실이 알려져 있다. 그러나 렌즈에 의한 집광은 빛의 손실이 많고 고도의 빛의 집중을 달성하기 어려우므로 근래 태양로에서는 거의 사용되지 않고 있다. 그런데, 독일의 스트라우벨(Straubel)은 1933년 방울면경을 아래쪽으로 향하여 고정시키고, 헤리오스타트라고 불리우는 방향조절이 가능한 평면경으로 햇빛을 위쪽으로 돌려보내게 한 태양로를 제작하여 효과를 보았다. 그리고 프랑스 국립과학연구소의 오테요에 위치한 헤리오스타트를 이용한 태양로는 피레네산맥에 있는 해발 1800m높이의 작은 마을에 건립된 것으로, 이 태양로는 고온공업용으로 트롬(Trombe)이 설계하여 1970년에 완성된 것으로 태양로의 성공 사례라고 볼 수 있다.

#### (9) 태양증류기

태양열이용 증류기는 19세기부터 시작된 응용법으로, 가장 간단한 형태의 증류기는 지금도 사용되고 있으며 얇은 물반이에 소금물이나 검정색의 물을 담아 경사진 유리 덮개를 얹은 옛날 설계의 기본을 그대로 유지하고 있다. 태양복사가 물반이의 물을 가열하여 증발시키며, 증기가 차가운 유리부분에 닿아 응축되고 신선한 물이 되어 방울져서 유리매벽을 흘러 내려온 다음 밑모서리에 설치된 홈통에 모여진다. 좋은 날씨에는 하루에 약 $4\text{kg}/\text{m}^2$ 의 물을 채수할 수 있다. 그러나 이 채수기의 유리판이 파괴되기 쉬우므로 플라스틱을 사용하고자 하면 플라스틱이 물에 잘 젖지 않으므로 표면에 특수한 화학처리를 하여 표면이 물에 잘 젖도록 하든지, 아니면 이를 맺은 물방울이 미끄러짐이 나빠 도중에 밑으로 떨어지지 않도록 지붕의 경사를 크게 해주지 않으면 안 된다.

다. 세계의 여러 지역에서 음료수의 부족은 큰 사회문제로 부각되고 있으며, 우리나라도 1995년 봄, 남부지역에서 극심한 가뭄현상으로 인해 식수뿐만 아니라 공업용수의 부족으로 일부 공장에서 작업을 중지하는 사태까지 있었다. 따라서 값싸고, 대규모의 태양증류시설을 쉽게 운반·설치하여 작동할 수 있도록 하는 기술의 개발이 무엇보다도 필요한데, 태양증류기판 해수 및 오염된 물에서 식수는 만드는 장치를 말한다. 옛날에는 나무를 태워 물을 증류하기도 하였는데, 오늘날에는 쿠웨이트, 사우디 등 석유가 풍부한 지역은 석유를 태워 해수를 증류하기도 하며, 일부 국가에서는 원자력을 사용하기도 한다. 이와 같이 증류에는 물에 열을 가해주어야 하기 때문에 열원이 필요한데, 이에 앞서의 방식처럼 태양열을 이용하는 방법과 이외에도 태양광 정수시설을 이용하여 적극적으로 태양에너지를 활용하는 방법이 있다.

#### (10) 건조기

태양열을 이용한 공기가열기, 즉 태양건조기는 전 세계에서 임업작물 및 수산물 그리고 농작물 건조에 많이 쓰이고 있다. 재래적 방법으로 나무나 채소, 과일, 수산물 등을 자연에 그대로 노출하여 건조하면, 비, 먼지, 곤충, 동물, 어린이들로부터 오염 및 세균의 전염으로 비보호되어 그 질이 현저하게 떨어져 폐기하여야 될 경우도 있을 수 있으며, 또한 건조하는데까지의 소요기간도 많이 걸리기 때문이다. 따라서 태양건조기를 사용하게 되는데, 이에 는 재료가 직접 태양열을 받는 방법과 순환공기로 가열하여 건조하는 방법이 있다. 직접 재료에 태양열을 받게 하면, 식물의 경우 세포의 잔여 염록소를 분해하여 푸른색의 과일에서는 적당한 색으로 변하게도 하지만 수분의 증발이 더디고 때로는 과열 때문에 손상을 주기도 한다. 순환공기로 가열시에는 직접 태양에 재료가 노출되지 않으므로 세포의 손상이 일어나지 않고, 순환공기가 재료의 수분을 흡수하므로 건조를 더욱 더 촉진하는 이점이 있으나 덜 익은 과일일 경우 모양이 일그러지는 경우가 있다.

#### (11) 하천수, 태양연못

지구온난화를 방지하기 위해 화석에너지 소비량을 줄이는 것이 중요한 과제로 되어 있는데, 1993년 일본 건설성의 하수열이용연구회의 조사에서 하수열을 지역냉난방에 이용하면 30%의 에너지 절약 효과가 있다는 것이 판명되었다. 하수나 하수처리수는 일 년 내내 온도변화가 적고 안정되어 있기 때문에 최근 하수처리장내의 공조열원에 이용하는 예가 늘고 있다. 일본에서는 상업 지구의 장래계획을 모델로 하여 에너지 절약효과를 계산한 결과 종래 시스템에서의 연간 에너지 사용량에 비해, 하수열 이용시스템의 경우는 약 30%의 에너지를 절약할 수 있음을 밝혔다. 이 하수열의 지역냉난방 이용시스템에서 열공급설비의 비용은 종래 시스템과 큰 차이가 없으나, 열원수 배관에 비용이 들기 때문에 인구가 집중되어 있는 지역에서는 열원과 실제로 이용하는 시설과의 거리가 가까운 경우 경제성이 높다고 한다. 또한 소금물 염도차의 특성을 이용하여 태양 에너지를 연중에 걸쳐 대량 흡수, 저장할 수 있는 시스템으로 태양연못이 있는데, 이 태양연못에서 얻은 열로 냉난방 및 급탕에 이용하기도 한다.

#### (12) 공업적 이용

태양열을 산업공정에 쓰이는 공정열로 대체 이용하는 방법에는 크게 분류하여, 태양에너지로부터 얻은 열을 집열기를 통하여 가열된 온수를 직접 공정에 공급하여 이용하는 공정열수(Process Hot Water)시스템과 건조 및 탈수용으로 사용되는 공정열공기(Process Hot Air) 및 공정증기

(Process Steam)시스템으로 구분되어진다.

첫 번째인 공정열수시스템은 대부분이 사용온도 범위가 50℃~100℃로써 식품의 요리, 세척, 표백, 금속의 양극산화 및 염색 공정, 그리고 보일러 급수의 예열 등에 사용되고 있으며, 산업공정열에서 열수의 직접사용량은 적지만 태양열을 이용한 시스템을 적용하기에는 경제적인이며 태양에너지 이용 효율도 높다. 이 열수의 사용은 직접 공정에 이용하는 것 외에도 보일러 급수 예열용으로도 사용되며, 대부분 산업체에서는 보일러 예열용 급수는 고온의 폐열을 회수하여 재사용되어 진다. 두 번째인 공정열 공기시스템은 주로 건조 및 탈수 공정에 사용되고 있으며, 보통 공정온도가 180℃이하인 경우에 쓰이는데, 공기식 집열기에 의해 가열된 공기를 공정에 직접 공급하거나 액체식 집열기를 이용하여 태양열을 집열하는 두 종류의 방법이 있다.

### 3. 결론

마을계획에 있어서 에너지의 논점에는 두 가지 측면이 있다. 즉, 어떻게 효율적으로 사용할 것인가와 어떤 형태의 에너지를 취해야 하는 가 이다. 태양에너지는 그 자체뿐만 아니라, 이용형태를 변환하더라도 오염이 없다. 그리고 무한한 에너지이기 때문에 고갈의 염려가 없는 에너지이다. 태양열은 직접적으로 마을 내 각종 건물의 난방에 사용할 수 있고, 집열기를 통하여 보다 높은 온도의 열을 얻을 수도 있다. 또한 태양전지를 이용하여 전기를 발전하기도 한다. 바이오메스, 풍력, 수력에너지의 형태로 변환되기도 하는 태양에너지는 연소, 발전기, 열펌프와 같은 설비를 통하여 동력화 된다. 마을에서는 많은 에너지를 소비한다. 각종 시설 및 건물의 재료와 구성요소와 시스템을 만드는데 사용되는 에너지를 통합에너지(Embodied Energy)라고 한다. 또한, 각종 시설 및 건물재료와 구성요소를 건설현장으로 수송하고 분배하는데 드는 에너지를 그레이에너지(Grey Energy)라고 하며, 각종 시설 및 건물의 시공에 필요한 에너지를 유도에너지(Induced Energy), 각종 시설 및 건물을 운영하고 거주자의 설비와 기구에 필요한 에너지를 운영에너지(Operating Energy)라고 한다. 마을의 각종 시설 및 건물의 유지, 개조와 마지막 단계인 폐기에도 에너지는 소비되는데 이러한 모든 영역에서 생태마을에서는 에너지소비를 줄여야 한다.

에너지 사용을 최소화하기 위한 방법을 고려할 때, 가장 우선적으로 고려해야 할 사항으로는 재료의 생산에 있어서 에너지가 적게 드는 에너지를 선택하는 것이다. 그리고 폐기물과 같은 재활용된 재료의 사용도 고려해야 한다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-11578-0) 지원으로 수행되었음

### 4. 참고문헌

1. Lim, S. H., Lee, S. W. and Lee, J. W., 2001, Ecological Architecture, Gowon. |
2. Laura C, Zeiber, "The Ecology of Architecture', whitney Library of Design, 1996.
3. Crosbie, Michael. Green Architecture : A Guide to Sustainable Design. Washington, DC : AIA Press, 1994
4. Dodge, Sue E. "Green by Design," National Parks Magazine. September/ October 1994