

## 열-전기 병합 에너지 생산 겸 자체 냉각 온실

Jürgen Kleinwächter<sup>1)</sup>, 정 모<sup>2)</sup>, 김 종성<sup>3)</sup>

### Energy Generating Self-cooling Greenhouse

Jürgen Kleinwächter, Mo Chung, Jongsung Kim

**Key words** : Fluoropolymer Film (플로르폴리머 필름), Energy Generating Greenhouse (에너지 생산 온실), Solar Cooling (태양 냉방), Fresnel lens(프레스넬 렌즈), Light Solar Tracking System (경량 태양추적장치), Solar Cogeneration (태양 열병합 발전)

**Abstract** : An energy generating greenhouse based on fluoropolymer envelope and fresnel lens is proposed. The outstanding properties of the fluoropolymer films make them very suitable for large scale solar applications. Extremely high optical transmission over the whole solar spectrum, combined with mechanical strength, and durability allows us to design a highly optimized greenhouses for both plant growing and energy generation. Systems such as photovoltaic triple junction cells are especially attractive since they have up to 35% efficiency with much less cell material when the sun beam is focused with concentrators such as fresnel lenses. Cooling such devices will enhance the efficiency and provide useful thermal energy that could be further utilized for various applications depending on the local demands. This article introduces the basic ideas and principles of the energy generating greenhouses as a first step towards the actual deployment of such systems under Korean environment.

### 1. 서론

온실에서 작물을 재배하는 경우 온도, 습도, 일조량, 이산화탄소 농도 등의 주요 인자들을 최적화함으로써 작물의 성장을 촉진시키고 품질을 향상시킬 수 있다. 북반구에 위치한 나라에서는 서는 작물 재배 기간을 늘리기 위해 동절기에는 가열을 하여야 하지만 하절기에도 냉방을 해주어야 식물 성장을 지속시킬 수 있다. 이러한 이유에서 온실들은 늘 다량의 에너지를 소비하는 입장이었다. 본 여구에서 제안하는 새로운 시스템은 에너지 소비자에서 에너지 생산자로 변신한 신개념의 온실로서 태양이 주는 천혜의 에너지를 파장별 특성에 맞도록 재단하여 각 부품 별 성능을 향상시키는 물론 전체로서의 시스템 성능도 체계화한 특성이 있다.

태양에너지를 효율적으로 이용하기 위해서는 각 스펙트럼 영역별 특성을 파악하는 것이 중요하다. Fig.1에서 보는 바와 같이 태양복사 스펙

트럼을 가시광선을 중심으로 기능별로 3개의 영역으로 분류할 수 있다. 각 영역별 특징을 요약하면 다음과 같다.

#### ● 300-400 nm (자외선 영역)

농작물 재배 시 향과 풍미를 갖추도록 도와주는 매우 중요한 역할을 한다. 자외선을 차단한 온실에서 토마토를 재배하면 향이 약하거나 없게 된다. 전체 에너지의 약 5%를 차지하며 자연적 살균과 살충 작용도 한다.

#### ● 400-730 nm (가시광선 영역)

직달 성분의 경우 10만 lux가 넘는 강한 조명으로

1) BSR Solar Technologies, Lörrach, Germany.

E-mail : jkl@BSRsolar.com

Tel : +49(7621)95675-11 Fax : +49(7621)95675-29

2) 영남대학교 기계공학부

E-mail : mchung@yu.ac.kr

Tel : (053)810-2459 Fax : (053)810-4627

3) 한독실업

E-mail : handok@han-dok.co.kr

Tel : (053)593-8871-5 Fax : (053)582-5458

인간의 눈에 매우 해로워 약 1000 lux 이하의 산란 성분으로 약화시킨 후 눈에 들어오는 것이 좋다. 태양광선의 약 50%가 이 영역에 해당한다.

● 730- 3000 nm (적외선 영역)

열을 전달하는 광자를 지니고 있으며 전체 태양광선의 약 45%가 이 영역에 해당한다.

태양에너지를 효율적으로 이용하기 위해서는 이용 목적에 부합하도록 주변 환경이나 기기의 작동 조건을 조절하여 주는 것이 중요하다. 특히 온실의 경우는 재배하는 작물의 특성에 따라 온실 내부의 환경을 잘 조정하여 주는 것이 매우 중요하며 이러한 과정에서 다량의 에너지를 소모하게 된다. 본 연구에서는 온실 전체를 하나의 시스템으로 보고 작물의 성장, 품질 향상, 에너지 수급 등 주요 변수들을 주어진 조건 하에서 최적화하여 경제성을 극대화하는 것을 목적으로 한다.

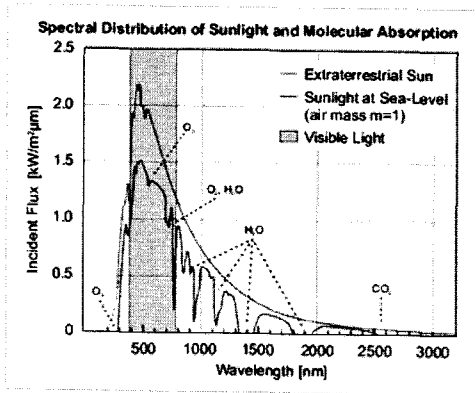


Fig. 1 Solar spectrum distribution

## 2. 기존 온실의 문제점

작물을 재배하는 온실을 에너지 소비자에서 에너지 생산자로 바꾸기 위해서는 태양에너지의 파장 별 특성을 잘 살려서 물리적으로 합당한 시스템 설계를 하여야 한다. 이러한 설계의 방향을 설정하는 데는 기존 기술의 문제점을 잘 파악하고 이를 개선할 수 있는 구체적 수단을 찾아내는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

### 2.1 온실 외피

국내에서 사용되고 있는 온실의 외피 재료로는 폴리에틸렌 계통과 유리가 가장 널리 쓰이고 있다. 이들이 공통적으로 갖는 문제점으로서 단파장 영역의 투과율이 낮다는 점으로 앞에서 지적한 바와 같이 작물의 품질을 저하시킬 뿐 아니라 자연적인 살충 효과도 얻지 못한다. 또한 폴리에틸렌의 경우 기계적 강도가 충분하지 못하여 태풍이나 설해에 취약하고 내구성도 떨어져 매년 또는 2-3년 주기로 교체하여 주어야 한다. 또한 시간이 경과함에 따라 재료가 열화 되는 특성도 있다.

## 2.2 온실의 과열

온실의 애초 목적은 동절기에도 식물 성장에 필요한 온도를 확보시켜주는 것이었으나 하절기에는 오히려 내부를 과열시켜서 작물 성장을 방해하게 된다. 일반적으로 식물은 주변 온도가 25℃를 넘으면 성장을 멈추는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 경우 전국적으로 온실의 과열 문제는 5-6월이 되면 발생하기 시작하며 온실 운영에 있어 가장 큰 애로 사항 중 하나로 남아 있다. 대부분의 경우 온실 벽을 개방하여 외부 공기를 유입하여 내부를 냉각시키면서 광선을 차단하기 위해 가벼운 재료의 차광막으로 덮는 방식을 많이 쓰고 있지만 이 방법은 식물 광합성에 필요한 광선도 같이 차단하는 관계로 바람직하지 않다. 그러나 냉방을 하면서 온실을 운영하기에는 에너지 사용 비용 부담이 너무 큰 실정이다.

일반적으로 식물은 태양이 공급하는 에너지 중 20-30% 내외의 에너지만 가지고도 충분한 광합성과 성장을 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 대부분의 온실에서는 에너지가 과잉 공급되어 실내의 과열을 초래하게 된다. 필요 이상으로 공급되는 태양에너지는 식물 성장에도 방해가 될 수 있으므로 온실에 공급되는 태양에너지를 적정 수준으로 유지하는 것이 매우 중요하다.

## 2.3 온실 내 과잉 에너지 처리

앞에서 언급한 것처럼 온실에 공급된 태양에너지 중 일부만 가지고도 식물이 성장하는데 충분하다. 따라서 대부분의 온실에서는 에너지가 과잉 공급되어 실내의 과열을 초래하게 된다. 과잉 공급된 에너지를 적절히 수집하여 다른 용도로 활용할 수 있다면 온실 운영에 필요한 열 및 냉방 부하를 경감시킬 수 있을뿐더러 나아가 부하의 일부 또는 전부를 감당할 수 있을 것이어서 에너지 경제성 향상에 크게 기여할 수 있게 된다.

대부분의 온실에 있어 과잉 에너지는 유용 에너지로 회수되어 이용되지 못하고 환기, 복사에 의한 재방출 되거나 소실되고 만다. 따라서 온실에 도달한 대부분의 태양에너지는 식물 성장에 기여하지 못하고 오히려 과열을 유발하는데 쓰인다. 본 연구에서는 이러한 유실 에너지를 가용 에너지 형태로 회수함으로써 온실을 에너지 소비자 입장에서 에너지 생산자로 탈바꿈시키려 한다.

## 3. 에너지 생산 온실

온실 내 작물 생산에 필요한 이외의 잉여 태양 에너지를 전기와 열로 동시 회수할 수 있다면 온실을 작물 재배에 필요한 최적 조건으로 유지하는데 필요한 에너지를 자체 수급할 수 있을뿐더러 가용 태양에너지의 양에 따라 태양광 발전 등을 통하여 부가적인 수익을 창출할 수 있게 된다. 우리나라의 경우 농업용 전기요금은 매우싼 반면 태양광 발전에 의한 발전 차액 보손액은 매우 높기 때문에 온실에서 태양광 발전에 의해 전기를 생산하는 것은 수익성이 매우 높다. 또한 이러한 태양광 발전은 저온에서 일어날수록 효율이 높기 때문에 냉각 시스템을 통하여 열에너지

를 수집하여 이용하면 태양광 열병합 발전을 한 결과가 된다. 이 경우 도달하는 태양 에너지를 거의 낭비 없이 모두 유용하게 이용할 수 있게 되어 열-전기 종합 효율을 매우 높게 가져 갈 수 있게 된다. 이러한 이상을 실현하기 위해서 다음과 같은 핵심 기술들이 동원된다.

### 3.1 핵심 기술

태양에너지 이용의 최적화를 위한 출발점은 태양에너지를 자연적으로 최대한 이용하는 것이다. 온실의 경우 도달하는 태양에너지를 식물 성장에 필요한 성분과 양을 작물에게 공급하고 나머지를 유용 에너지로 전환하는 것이 중요하다. 본 연구의 기본 개념은 Fig. 2에 나타낸 각 요소별 효율 특성을 잘 살려 전체 태양에너지 이용 효율을 극대화하는 것이다. 이를 구현하기 위해 Fresnal Lens를 이용한 반투과 집광 장치를 이용하여 태양광의 직달 성분은 좁은 면적에 집적시킨 후 전기나 열로 변환함으로써 에너지 변환 효율을 극대화한다. 한편 식물 광합성에 필요한 산란 성분은 자연스럽게 집광장치를 통과하여 작물에 도달하게 한다. 특히 태양 에너지가 넘치는 계절에는 직달 성분이 온실 내부를 필요 이상으로 가열시키는 것을 미리 차단함으로써 온실의 과열을 미연에 방지할 수 있다. 이 경우 냉방 부하를 현저하게 줄일 수 있게 되어 냉방이 가장 큰 문제인 우리나라 기후에서 에너지 절약 효과가 매우 크게 된다.

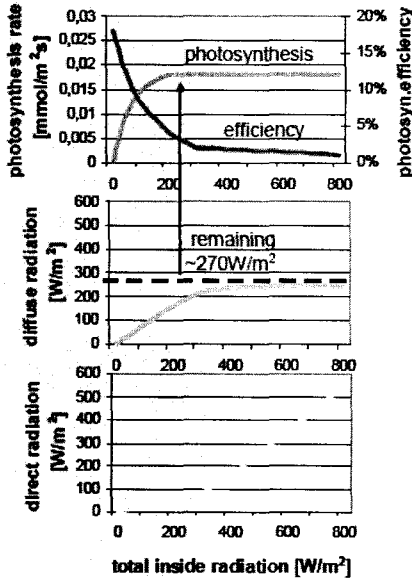


Fig. 2 Efficiency Variations

이러한 집광 시스템을 운전하기 위해서는 태양광 추적기 필수적일 수밖에 없으며 이 때 주요 장치들이 모두 온실 내부에서 작동해야 한다. 따라서 추적 장치의 경량화가 필요하다. 온실의 건설비를 최소화 하고 가용 태양에너지 성분을 손

실 없이 모두 온실 내부로 통과시키며 추적 장치 등 내부 기기를 건설하게 보호할 수 있는 기계적 강도와 내구성을 겸비한 온실 외피 재료가 바람직하다. 이런 조건들은 모두 구비한 신소재 온실 외피 재료로 이미 선진국에서 대량 생산에 공급이 가능한 Fluoropolymer film을 들 수 있다.

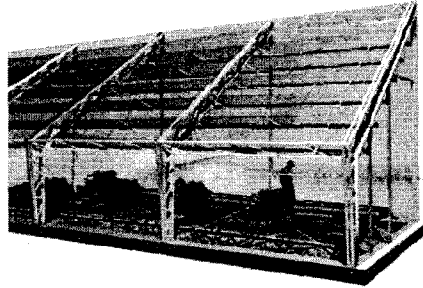


Fig. 3 Semi-transparent Greenhouse

일단 좁은 구역에 태양광이 집중되면 기존의 태양광 발전 소자보다 효율이 월등히 높은 신기술인 triple junction solar cell을 이용하여 전기로 변환한 후 전력 계통선에 연결 판매함으로써 발전차액 보전 제도에 의해 수익을 올릴 수도 있다. 또한 열 형태로 에너지를 수거하여 온실의 난방을 하거나 자체 축냉 기능을 보유한 간헐형 흡수식 냉동기를 사용하여 온실 냉방을 할 수도 있게 된다. 핵심 기술을 간략하게 소개한다.

#### 3.1.1 Fluoropolymer Film 외피

Fig. 4에는 Fluoropolymer 계통의 Miraflo와 그간 온실 외피로 국내에서 널리 쓰여 온 폴리에틸렌 필름과의 태양광 투과 특성을 비교하였다.

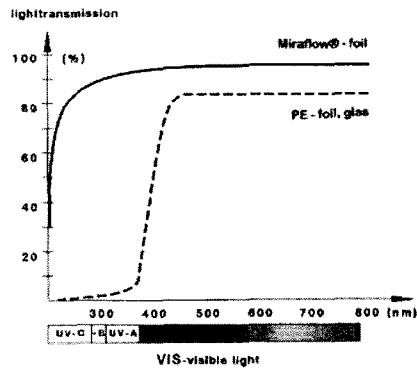


Fig. 4 Light transmission

그림에서 보듯 전 파장 범위에 걸쳐 투과성이 월등히 높을뿐더러 자외선 투과율도 매우 높다. 그 밖에도 기계적 강도가 매우 강하여 폭풍우나 외부 충격을 잘 견딜 수 있고 내구성도 뛰어나 30년까지도 성능 저하 없이 사용한 사례가 보고되고 있다. 최근의 제품들은 나노 기술의 응용으

로 표면이 자정 능력까지 갖춘 것도 등장하였다.

### 3.1.2 Fresnel Lens 이용 집광장치

Fresnel Lens가 갖는 기능은 Fig. 5에서 보듯 태양광의 직달 성분을 좁은 구역에 집적시키는 동시에 산란 성분은 그대로 통과시킴으로써 광합성에 필요한 에너지를 공급하는 것이다.

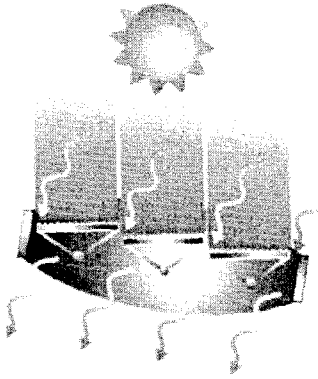


Fig. 5 Fresnel Lens for Beam Concentration

이 시스템의 또 다른 특징은 경량화가 가능하다는 것으로 온실 보호막 아래 설치하면 Fig. 6에 보인 것과 같이 기존 태양 추적 시스템에 비해 훨씬 가벼우며 저렴하고 안정된 태양 추적 장치를 구성할 수 있다는 점이다.

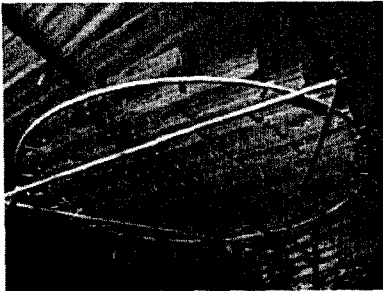


Fig. 6 Light weight Tracking System

### 3.1.3 Triple Junction Solar Cell

태양광을 좁은 면적 위에 집속시킬 수 있으면 Fig. 7에 보인 것과 같은 고효율 태양광 발전 시스템을 이용할 수 있다. 최근 기술의 발전으로 소량의 발전 재료를 투자하여서 최대 효율 35% 정도의 발전 효율을 구현 할 수 있게 되었다.

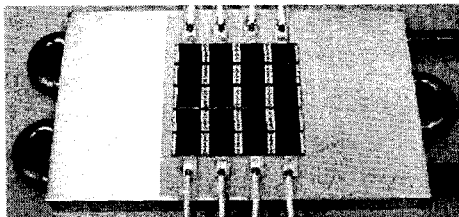


Fig. 7 Triple Junction Solar Cell for Sale

### 3.1.4 냉각겸용 열병합 발전

일반적으로 태양광 발전 소자들은 온도가 낮을수록 효율이 높으므로 냉각이 필수적이다. 이때 냉각수의 온도가 비교적 높기 때문에 회수 열은 난방이나 냉방에 재활용 가능하다.

### 3.1.5 간헐형 Ammonia 흡수식냉동기

집광형 태양광 발전 시스템을 냉각하면서 얻은 열이나 또는 Fresnel Lens로 부터 직접 수집한 열은 냉방에 이용하려면 고온용 축열조를 쓰면 된다. 특히 열이 냉방용으로 쓰일 경우라면 흡수식 냉동기를 간헐적으로 운전하면서 냉매에 냉열을 직접 축열하는 방식을 택하면 매우 효율적임을 밝혀냈다. 이런 경우 냉매의 가격이나 흡수 능력 등을 고려해 계산해본 결과 암모니아 사용 흡수식 냉동기가 리튬브로마이드 사용 냉동기보다 공간 이용 상, 가격 상 매우 유리함을 알 수 있었다.

### 3.1.6 기타 기술

이 밖에도 고온 Fig. 6에서 한 가지 예를 보인 것과 같은 경량 태양 추적 장치, 고온 축열 장치, 고효율 저속 Stirling 엔진, 태양 살균식 정수기, 태양 펌프 등 다양한 요소 기술들이 이미 개발 되어 있어 온실에서 생산한 열 또는 전기 에너지를 이용하여 장치를 구동하거나 또 다른 발전을 할 수 있다. 이러한 요소 기술들은 그 때 그 때 열 수요 요건과 입지 조건 등에 적합하도록 조합하여 이용하면 전체 시스템의 효율을 극대화 할 수 있을 것이다.

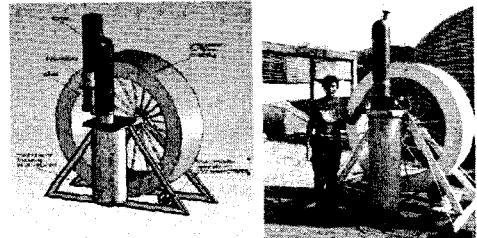


Fig. 8 Solar -powered Stirling Engine

## 4. 결 론

태양광 투과 특성과 기계적 강도, 내구성 등 태양에너지 이용에 타당한 조건을 갖춘 신소재 Fluoropolymer film을 이용하여 온실을 만든 다음 Fresnel Lens로 직사광선을 차단 집속함으로써 온실에 차광 효과를 제공하여 온실 과열은 방지함과 동시에 식물 성장에 필요한 에너지는 산란 성분을 통하여 충분히 제공할 수 있는 시스템을 소개하였다. 이러한 시스템의 도입으로 그동안 에너지 소비자로서 다량의 열과 냉방 에너지를 소비했던 온실을 에너지 생산자로 전환시킬 수 있게 되었다. 또한 국내의 발전 차액 보전 제도 등의 혜택을 받으면 작물 소득 외에도 에너지 판매 소득도 기대해 볼 수 있는 가능성을 열었다. 현재 이러한 기술을 적용한 파이롯트 시설이 독일에서 실제 운용되고 있으며 국내 적용을 위한 준비가 착실하게 진행되고 있다.