

Solar Technology에 있어서 플라스틱의 이용 Application of Plastics in The Solar Technology

金殷泳 · 李德媛

서 론

석유나 natural gas 석탄등의 1차적 energy 원의 고갈과 이에 따른 값의 폭등 및 대기 오염에 대한 법규제가 점점 강화됨에 따라 직접적인 energy 근원으로서의 solar energy 개발에 대한 관심이 커지고 있다. 지구 표면에 내려 쏘이고 있는 그 energy의 양은 약 $1.2 \times 10^{14} \text{kw}$ 나 되며¹⁾ 이는 현재 세계 energy 생산량의 약 1,500 15,000배에 달하는 무진장의 energy이다.

이러한 solar energy의 강도는 계절, 일기 및 지역에 따라 현저한 차이가 있다. 예를 들면 더운 지방인 Texas, Morocco 등의 지방에서는 0.2kw/m^2 나 되며 온대지방에서는 약 0.13kw/m^2 정도 (여름에는 약 0.2kw/m^2 겨울에는 0.06kw/m^2)로서 그 정도의 차이가 크다.

이러한 solar energy의 이용에 있어서 각나라는 엄청난 연구비를 들여서 energy 개발을 촉진하고 있다. 그 예로서 미국에서의 1975년의 경우에 약 89(백만)달러가 이 분야의 개발 연구비로 책정되었으며 독일의 경우에서도 약 12(백만)달러의 연구비가 투자되고 있다. 이러한 solar energy를 열적 energy로, 즉 heat energy로 전환시켜 사용함에는 지역적 위치와 계절적 조건에 따른 태양 energy의 intensity에 따라, 그 차이가 심하나, 온수 난방 시설 및 실내수영장 온수 등에 이용되는 정도(약 80°C)의 저온도 범위에서는 solar energy를 이용하는 예는 이미 많이 볼 수 있다²⁾. Solar technology 부분에서 플라스

틱 이용도가 높은 것은 높은 온도를 요구하지 않는 저온도 범위의 조업이므로, 플라스틱 자재가 갖는 가장 큰 단점인 열에 약한 점이 여기서는 큰 문제가 되지 않고, 플라스틱이 손쉽게 성형가공 될 수 있다는 장점으로 solar energy 장치 및 설비에 큰 경제성을 갖고 있기 때문이다. 또 플라스틱 재질의 개발로 말미암아 우수한 자재 특히 보온 및 단열 자재분야의 발포된 우수한 물성을 지닌 플라스틱 자재가 개발 되므로써, solar technology에서의 플라스틱 이용도는 최근 더욱 증가되고 있다. 중요한 플라스틱 이용 부분은 주로 absorber와 collector의 insulation 및 그 덮개, pipe, storage system등이라고 보겠다. 다음 표 I은 solar technology의 부품으로서의 합성수지와 기타 기존 자재들의 장단점을 나타내었다. 특히 stress를 많이 받는 부분을 지금까지는 금속 자재로 사용 하였으나, 플라스틱 물질 중에서도, UV-radiation에 강하며 내열성 및 내후성이 좋은 종류의 플라스틱으로 점점 대체되고 있는 실정이다.

그림 1은 이러한 collector를 간단히 나타내었다. 즉, solar radiation ϕ ,이 높은 흡착도 (adsorption degree)를 갖는 absorber 표면으로 내려쬰다면, 이 흡착된 solar energy는 이 absorber (a) 내의 흐르는 carrier (액체나 기체)를 가열해줌으로써 heat energy로 바뀌며, 이 heat energy를 보유한 carrier는 storage system (d)에서 물과 열교환이 일어나게 되어 물은 가열 된다. 또 이 carrier로 직접 물을 사용하면 이 heat transfer가 필요없이 직접 사용되는 예를 볼 수 있다. Absorber 앞에 여러개의 투명한 cover를 덮고, 또 collector 뒷면을 발포된 insulation material로

*한국 과학 기술연구소 합성수지 연구실 (Un Young Kim & Duck Won Lee Korea Institute of Science and Technology, Plastics Laboratory)

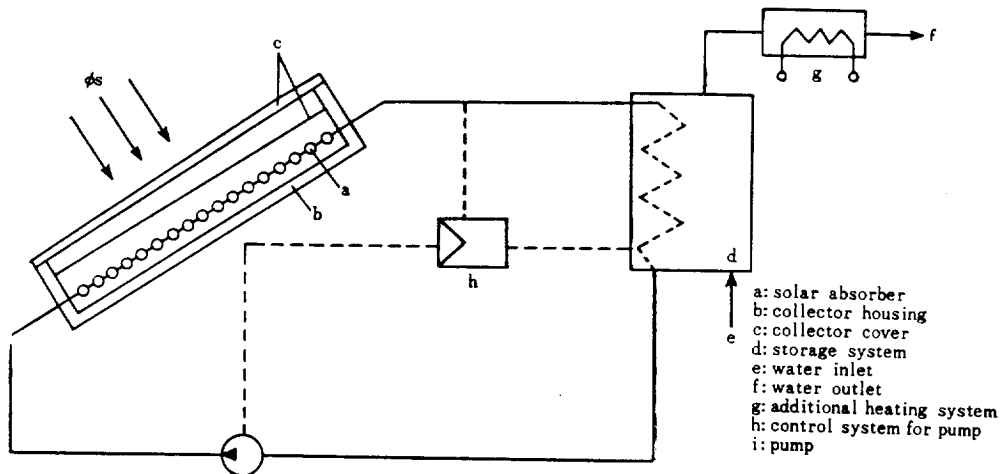
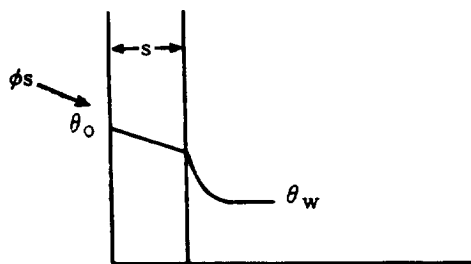


그림 1. Solar heating system.



- S: thickness of wall
- ϕ_o : solar radiation intensity
- θ_o : surface temperature
- θ_w : carrier temperature
- λ : thermal conductivity of wall
- α : surface coefficient of heat transfer

그림 2. Solar absorber의 열전도 (radiation intensity = constant).

Overall heat transmission;

$$q = K(\theta_o - \theta_w)$$

$$K = \frac{1}{\frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}}$$

$\phi_s, V_o, V_w, V_i = \text{constant}$

삼으로써 (b) 그 열손실을 막을 수 있다.

다음은 solar technology에서 플라스틱을 이용할 수 있는 중요한 부분만을 예를 들어 설명하고자 한다.

1. absorber

Absorber의 자재는 carrier의 흐름으로 인하여 생기는 마찰, 압력 및 부식등의 내부응력 (inte-

rnal stress)을 받는 한편 UV-radiation이나 기타 gas로 말미암은 외부응력 (external stress)으로 인하여 craze 현상을 초래해서는 안된다. 그러므로 그 자재의 선택에는 각별한 주의가 필요하다. 이러한 자재로는 금속 및 플라스틱 자재물 생각할 수 있으며, 플라스틱 자재를 사용할 경우 금속 (V2A-steel, aluminium, copper)에 비하여 그 열전도도가 좋지 못하다는 단점이 있다. 그러나 이는 다음과 같은 이유로서 크게 문제되지 않으며 또 absorber의 design에 의하여 어느 정도 보정될 수 있어, 그 이용이 점점 활발해지고 있다.

Solar-radiation의 intensity는 시간에 따라 (a) 일정한 이상적인 조건과 (b) 일정치 않은 일반 조건으로 나누어 생각할 수 있다. (a)의 경우

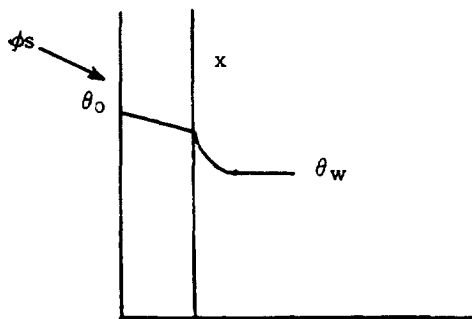


그림 3. Solar absorber의 열전도 (radiation intensity $\neq$ const).

heat transmission;

$$\frac{dQ}{dt} = a \frac{d^2\theta}{dx^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \phi's \\ \theta'o \\ \theta'x \end{array} \right\} = f(t) \quad \begin{array}{l} a: \text{ diffusivity} \\ x: \text{ heat capacity} \end{array}$$

solar radiation이 일정한 intensity로 내려조이기 때문에 radiation 흡수표면(adsorption surface)과 carrier 사이의 열이동량이 시간에 따라 일정하게 되어, carrier의 온도 변화가 없게 된다. 이때 벽의 열전도도(thermal conductivity)를 λ 라 하고 벽과 carrier사이의 열이동 계수(heat transfer surface coefficient)를 α 라 하면 다음 그림 2와 같은 식으로 표시할 수 있다³.

Absorber 내의 carrier의 흐름과 같이 천천히 흐르는 laminar flow 경우 Schenkel¹의 실험에 의하면 absorber 벽두께가 얇을 때, 즉 1.0-1.5 mm 정도이며, absorption과 carrier의 간격이 극히 적을 경우에 total heat transfer는 파이프 자질의 열전도도에 영향을 거의 받지 않는다. 열전도도가 copper에 비하여 나쁜 플라스틱이라도 그 차이는 1% 밖에 안된다고 한다. 이때 플라스틱 absorber의 design에 극히 주의해야 할 점은 가능한 한 carrier가 전 absorption surface에 접촉되어야 하며, channel과 channel의 사이를 적게 하면 효과적이다.

(b)의 경우 solar radiation의 intensity가 시간에 따라 일정치 못한 경우, 즉 그 heat transfer되는 energy양이 시간에 따라 변하게 된다. 그러므로 시간에 따른 벽 주위의 온도 구배와 이에 따른 온도 차이가 생기게 된다.

이것은 다음 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. (diffusivity)는 heat carrier 범위에서 heat transfer coefficient로 나타낼 수 있고, 그러므로 플라스틱의 diffusivity가 금속에 비하여 적지

만(V2A-steel=0.019, Al=0.206, Cu =0.378, PE-HD=0.00096 PP=0.00051, PVC=0.00045 m²/h) 이와 같은 laminar flow의 조건에서 전자(a)의 경우와 같이 큰 영향을 주지 않는다³.

이상과 같은 이유로서 플라스틱의 absorber 재료로서의 단점은 큰 문제가 되지 않는 반면, 금속 자재에 비교 할 수 없이 많은 장점을 갖고 있다. 플라스틱중에서도 중요한 재료로서는 주로 polypropylene(PP)을 들 수있고, 이외에 high density polyethylene(HDPE)이나 cross-linked polyethylene 및 polyvinyl chloride도 약간 사용되는 예를 볼 수 있다.

이중에서도, polypropylene이 absorber 재료로서 이상적인데 이는, 쉽게 blow molding이나 thermoforming 할 수 있어 가공이 용이하다는, 경제적인 면을 떠나서도 다음과 같은 여러 장점을 들 수 있다.

1. 내약품성이 우수하며, carrier로 직접 물을 사용할 수 있어 heat exchanger가 필요치 않아 열적 손실이 적으며, 이물을 가정용 및 실내 수영장 온수로 직접 사용하여도 인체에 전혀 해롭지 않다.
2. lime이나 기타 용해된 물질의 퇴적(scaling)을 막아 carrier와 벽사이의 열전도도를 감소시키지 않는다.
3. 금속과 비교하여 비중이 극히 적어 건축에 유익하다.
4. 금속자재로 absorber를 제작 하였을 때 표면에 absorption 도료를 coating 하여야만 한

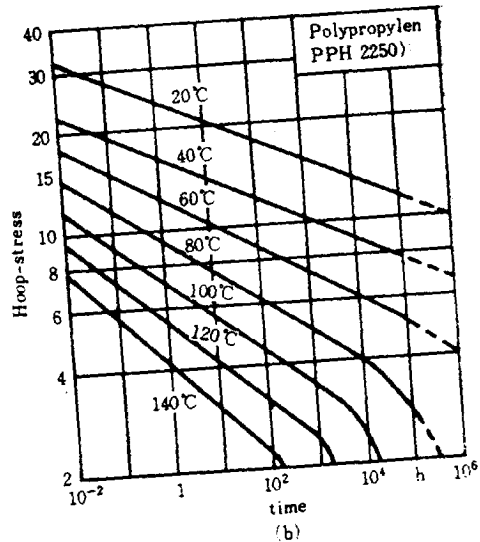
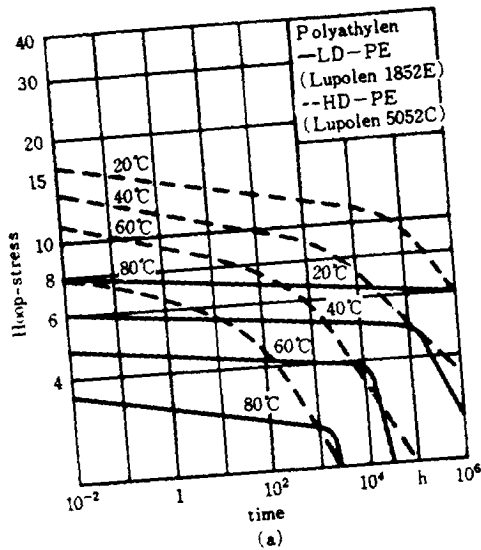


그림 4. Creep curves at various temperatures for LDPE, HDPE and PP-homopolymer pipes subjected to internal pressure.

다. 그러나, 플라스틱의 경우 높은 absorption capacity (약 97%)를 갖는 absorber를 직접 제작함으로써 (carbon black blending) coating 조업 및 그 부착 문제가 필요 없게 된다.

플라스틱 absorber 자재로서 또 고려해야 될 조건은 열 안전성이다. 즉 오랜 시간에 걸쳐서 사용 온도에서 요구되는 기계적 강도를 갖을 수 있어야 한다. absorber가 들어 있는 collector의 설계를, 그림 1과 같이 덮으므로써 그 solar radiation 및 convection 손실을 최소한도로 막을 수 있으며, 이로 인하여 absorber의 온도는 최소 80°C부터, 최고 138°C까지 상승하게 된다. 그러므로 absorber 자재는 이 온도에서 장시간 사용하여도 지장이 없을 정도로 그 열 안전성이 크게 요구된다. heat transfer 견지에서 보면, 이미 언급한 바와같이 absorber는 그 벽 두께가 가능한 한 얇아야 하나, 또 주어진 내부 압력 과 온도에 장시간 견디어 내려면 두꺼울수록 좋다. 그러므로 이러한 서로 상반되는 조건을 잘 참작하여 그 최적 조건을 찾아야 한다. 흔히 absorber의 수명을 조업온도 60°C에서 10⁴ 시간(햇빛비치는 시간)으로 규정하고 있으며, 이

것은 지역에 따라 다소 차이가 있다. 이러한 stress에 견디는 자재의 기계적 강도 시험으로는 long-term test (ASTM D1598, D2837)로서 파이프 사용 온도 및 시간에 따른 Hoop stress 감소를 나타 내었다. 그림 4는 각 absorber 자재의 creep curve로서 그림 (a)는 LDPE와 HDPE의 creep curve로서 그림 (b)는 PP-homopolymer의 경우이다. 파이프이며 (b)는 PP-homopolymer과 그림에서 보는 바와 같이 PP-homopolymer과 이프는 80°C-100°C의 온도 범위에서 LDPE와 HDPE보다 사용 시간이 훨씬 증가됨을 볼 수 있다. absorber 자재의 강도를 알기 위하여 long-term test 대신에 short-term-pressure test를 하는 경우도 있으며, 이는 absorber의 압력을 보통 사용 압력보다 수배증가시켜 시험 함으로써, absorber가 사용 압력에서 장시간 견딜 수 있는가의 여부를 검토하는 것이다. 그 예로서 absorber 자재를 PP-homopolymer를 사용 하였을 경우 그림 4에서 보는바와 같이 상온에서 10⁻²시간 동안 갖는 Hoop stress (33N/mm²)가 10⁴시간 동안 갖는 Hoop stress (6N/mm²)보다 견디려면 이때 갖는 Hoop stress (6N/mm²)보다 약 5.5배 이상 될 수 있어야만 한다. (그림 4b참

조) 이외에도 60°C 이상의 온도에서는 장시간 동안 사용할 경우, 플라스틱에 따라 서서히 분

해(degradation)되는 과정도 생각할 수 있으므로 열전도도 및 기계적 강도등의 요구 조건을 참작

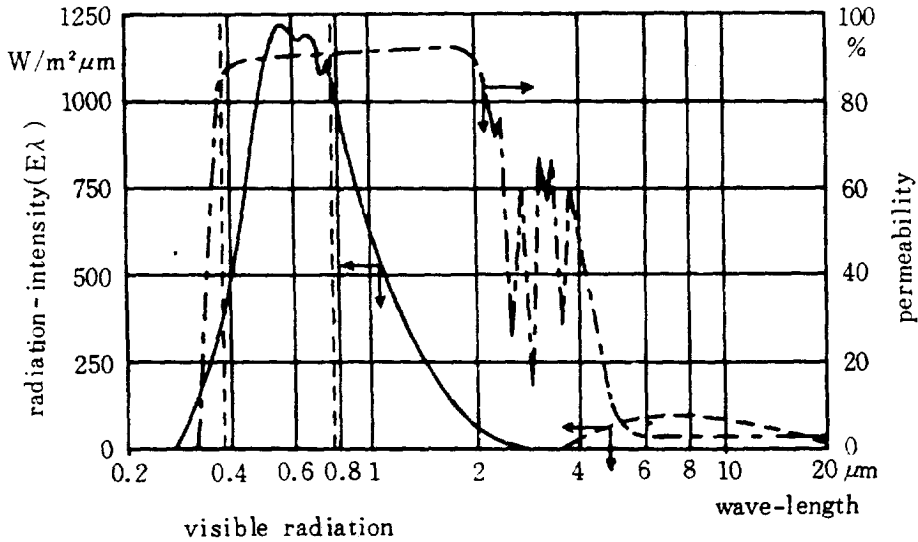
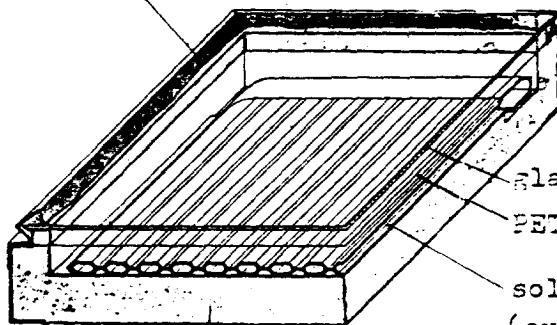


그림 5. Radiation conditions in a solar collector;

- : solar radiation
- - - : permeability to radiation of PETP-film of 100 μm gauge
- : natural radiation black body

sealing compound
silicone rubber



glass cover

PETP-film cover

solar absorber

(extrusion blow molded)

PP-resistant to high temperature

insulation and support

PUR(PIR) foam with

aluminium foil in

support (galv. sheet steel)

그림 6. Solar collector, with blow molded absorber that can withstand only low pressures, with parallel flat channels, minimum possible wall thickness, and containing a thermal fluid; the support consists of a steel sheet frame stiffened with PUR foam; the cover is a plate glass, plastics film composite (IKT/Solarheitz technik).

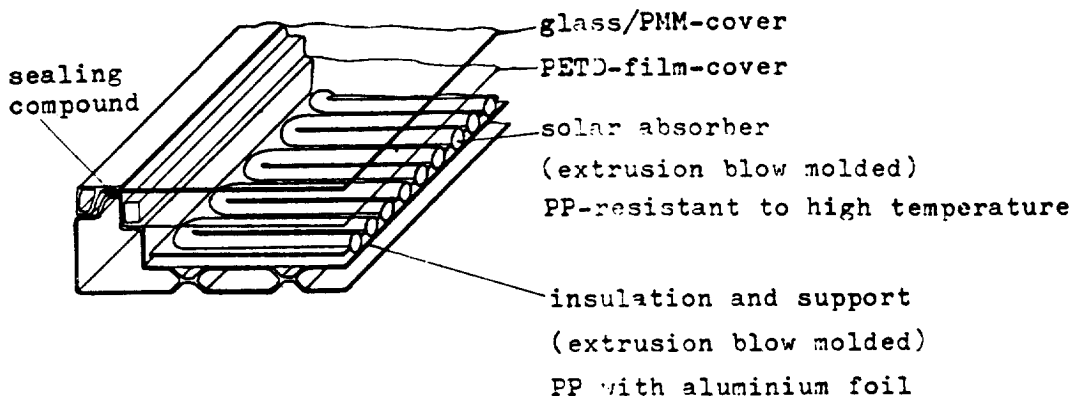


그림 7. Solar collector, with blow molded absorber that can withstand high pressures, consisting tubular channels with a high capacity for the thermal fluid; the support consists of a blow molded tube (also filled with if necessary).

하여 최적 두께를 고려하여야 함은 물론이지만 조업을 저압인 대기압력 (hydrostatic pressure) 으로 하는것이 이상적이라 하겠다.

플라스틱 absorber의 absorption degree를 높여 주기 위하여 pigment로서 carbon black을 사용하는데, 이는 플라스틱 UV-radiation 및 열 안정성을 증가시켜 주어 여러 면으로 유익하다. 이 carbon black의 함량이 증가 할수록 위의 성질이 증가되나 PP-homopolymer의 경우 1.5wt-% 이상에서는 오히려 UV-radiation stability를 감소시키는 경향이 있어 적당치 못하다 PP-homopolymer를 absorber 자재로 사용 하였을 때 유일한 단점은 온도가 빙점 이하로 내려가면 brittle 한 성질이 있어 기계적 강도가 저하되므로, 여기에 elastic 한 성질을 주기 위하여 PP의 copolymer (polyolefine)를 사용함으로써 이러한 단점을 보정해 줄 수 있다.

I. 기타 보조물 및 absorber 덮개

Radiation, convection 및 기타 열손실을 막기 위하여 collector 관주의 insulation과 collector 앞 부분의 덮개가 필요하게 된다. collector의 양 옆의 insulation (그림 (b)의)은 건축 자재에서 많이 사용하는 polyurethane, polyisocyanate, crosslinked polyethylene, polyvinylchloride 등의 발포플라스틱을 사용하면 효과적이다. 햇빛이 비치는 앞 부분의 구조는 특수하여 absorber와 colle

ctor 덮개 사이에 여러층의 공기층 (air cushion)을 형성하여 그 열효율을 한층 더 높일 수 있도록 하게 되어 있다. 이러한 공기층의 두께는 대개 10-15mm가 적당하고 이는 collector의 경사도에 따라서 다소 차이가 있다³⁾. 공기층의 수가 많을수록 insulation 효과도 비례하여 좋아지나, 이에 따라 radiation 손실도 증가되어 각층마다 4%정도의 손실이 있다. 공기층을 만들기 위한 자재 선택에 주의해야 할 점은 열적 전지에서 가장 중요한 가시광선 (visible light)과 적외선 (infrared radiation)을 완전히 통과할 수 있어야 한다. 이러한 자재로서 polyvinyl fluoride, tetrafluoroethylene-propylene copolymer, tetrafluoroethylene-ethylene copolymer, polymethylmethacrylate, polycarbonate, glass fiber reinforced polyester 등을 들 수 있다. 이러한 자재들은 먼지의 축적을 피하기 위하여 미리 정전기처리 (antistatic treatment) 한 후에 사용하여야 한다. 구조학적인 전지에서 보면 이들 덮개판은 넓은 면을 덮어야 되므로 약간 물결 모양이나, 약간 둥근형인 것이 적당하다. 주의해야 할점은 이 wave가 커짐에 따라 공기층이 커지며 이로 말미암은 convection으로 인한 열적 손실이 커질 수 있다.

Collector의 덮개 자재로서 유리판은 경제적인 면에서 우수하다고 생각되며, 파손되기 쉬운 단점이 있다. 이때 유리 판 밑에 PETP (polyethylene terephthalate) film을 대는 것이 효과적인

데 (그림 7), 이는 유리 판을 보호하는 의미도 있으며, 또 공기층을 만드는 역할도 하여 그 insulation 효과도 있다. 이러한 PETP-film (100 μm)은 그 solar radiation의 permeability 역시 그림 5에서 보는 바와 같이 우수하며 더우기 blackbody에서 나오는 far infrared 범위의 nat-

ural radiation까지 막아주는 역할을 하여 그 radiation loss가 극히 적다. 그 이외에도 PETP-film은 유리판의 열적 stress를 막아주는 역할을 하는등, 여러 면에서 유익하다고 보겠다.

그림 6과 7은, 이러한 solar collector의 예들이다.

표 1. Solar Technology 부품으로 합성수지와 기존소재와의 장단점의 비교

건 측 부 품	기존소재. 장, 단점	합성수지 장, 단점
틀, 프레임 (1,200mm)	나무 : 쉽게 탄다. 재료는 값이 싸나 수공비가 비싸다. Alu : 타지 않는다. 재료 및 수공비가 비싸다. 무게가 합성수지 (PVC)보다 무겁다.	PVC : 탄다. 값은 나무와 경금속 사이 값싸게 (thermoplastic)성형 할 수있으며 urethane 수지혹은 phenol발포체등은 특히 단열 효과가 좋다.
absorber	금속 : 타지 않으며 높은 열전도도를 가졌으며 높은 온도에 안전하나 제조 작업을 합리적으로 할 수없어 (땀질등)값이 비싸며 무게가 무겁고 부식되기 쉬우며 흡수도를 높이기 위하여 특별한 처리가 요구된다(칠).	polyolefine : 타기 쉬우며 열전도도가 낮으나 이것은 filler(예 : 금속, 분말등)를 섞어 가공함으로써 증가시킬 수 있다, 사용온도는 최고 100°C 정도이며 합리적으로 제조 할 수 있으며 (blow molding) 가공 하기 쉬워 유리하다. 열이 용도를 항상 시키기 위하여 여러 형태로 성형가공이 가능하다. 무게가 가볍고 부식이 되지 않는다. 열전도도를 높이기 위하여 까만색의 pigment를 넣어 가공할 수 있다. 특수 수지를 사용하면 경우에 따라서 타지도 않고 사용 온도를 150°C 정도 까지 올릴 수 있다.
collector 상부	glass : 타지 않으며, 보통 유리판 정도는 가격적으로 적당하나 우박등에 견디기 위해서는 4mm 정도의 두꺼운 판이어야 하며 이 정도의 무게는 합성수지에 비하여 3 배쯤 무겁다. 열전도에 의한 열손실이 합성수지 보다 크다. (예. 유리 : PMMA=4.4 : 1)열팽창률이 적고 infrared 흡수가 합성수지 보다 좋다.	PMMA(사출성형) : 탄다. 3mm 두께를 가진판 정도이면 우박에도 잘 견디며 단열효과가 유리에 비하여 월등히 우수하며 무게가 가볍고 쉽게 성형 가공할 수 있으며 내노화성 및 내후성이 좋으며 열 팽창률이 유리에 비하여 크다(10배) PC (사출성형) : 잘 타지 않는다. 사용온도 115°C 까지 올릴 수 있으며 내충격강도가 좋으나 값이 PMMA 에 비하여 약 3배 비싸다.
collector 하부	glasswool : 타지 않는다. 틀 혹은 프레임이 필요하다. 열전도도가 약 0.05W/mK	PF (phenol formaldehyde(발포체) : 잘 타지 않는다. 열전도도가 0.028-0.031W/mK 이며 틀이나 프레임이 필요없다,

이상 언급한 이외에도 파이프나 저장 탱크 및 기타 solar energy technology에 있어서 플라스틱은 사용온도가 이와같이 낮은 경우에 다른 자재와 비교 할 수 없을 정도로 많은 이점을 갖고 있다.

- Kollekoren. Heizung, Luftung, Haustechnik 27 (1976) 5, 156/157, 6 206/211.
- 2) H. Grallet Solarthermische Heizungssystem Oldenbourg Verlag, München 1977.
- 3) W. Ratzel, Kunststoffe 68 (1978) 10, 611.

인 용 문 헌

- 1) G. Schenkel, Kunststoffe für Solarenenergie

폴리머 技術 뉴스

중금속 제거용 폴리머

수용성이 좋은 일부 폴리머로 금속이온과 선택적으로 결합하여 Polymercomplex를 형성하여 폐수에서 독성물질 혹은 중금속을 제거할 수있다. 이것은 이온 교환수지를 사용하는 것보다 훨씬 빠르고 효과적이라 한다.

이러한 폴리머는 polyethyleneimine, polyvinylsulfonic acid, polyacrylic acid 등으로서 thiourea, 8-hydroxyquinoline, iminodiacetic acid, hydroxyaniline 등을 chelating group으로 갖는 물질이다.

한 구체적 예로 thiourea를 chelating group으로 갖는 polyethyleneimine은 수은과 선택적으로 반응하여 폴리머 1g당 수은 1g을 반응 시킬 수 있어 폐수의 1~100ppm 정도의 수은을 99.9%까지 제거할 수 있다고 한다.

종래에 활성탄에 흡착시킨 것보다 효과적이며 특히 결합된 수은은 전기분해로 회수할 수 있어 경제적이다.

이 외에도 acrylic acid를 base로 한 폴리머는 plutonium을 선택적으로 99.7%까지 흡수한다고 한다. (殷)

[C & EN Sept. 18, 1978]