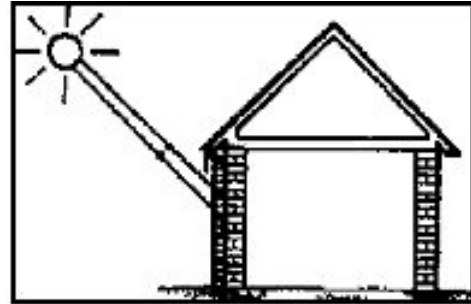
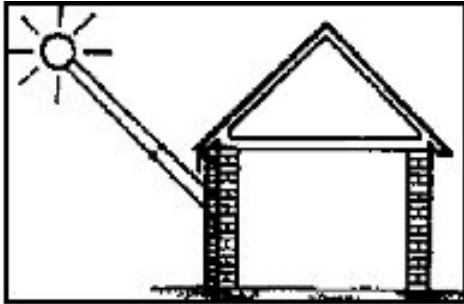


Transparent Insulation (TIM)

투명 단열재



Transparent insulation applied directly to the pre-blackened wall of a building can trap the solar heat absorbed on the wall, so that almost all of this absorbed heat is conducted into the building.

Transparent insulation applied directly to the pre-blackened wall of a building can trap the solar heat absorbed on the wall, so that almost all of this absorbed heat is conducted into the building.

Definition

Transparent insulation is applied to windows and to mass walls in order to gain heat from solar radiation and to increase the building insulation.

정의

투명단열재는 태양에너지로부터 축열하고, 건물의 단열성을 향상시키기 위해 창문이나 구조체에 적용하는 것이다.

Building Use

- lowrise office
- lowrise apartment
- retail
- institutional

Building Type

- new

Development Status

- mature technology

사용건물

- 저층 사무실
- 저층 아파트
- 소규모 상점
- 교육기관

건물종류

- 신축

개발단계

- 성숙된 기술

Description

One use of transparent insulation is to increase the insulating properties of exterior walls or glazings. On sunny days, a building wall becomes a solar absorber and a heat storage device. Solar radiation falling on the insulation is transferred to the building interior and warms the interior wall. On cloudy days, heat losses are minimized through the effect of the insulation layer. An important benefit of transparent insulation is increased interior wall temperatures, and thus increased thermal comfort and decreased wall condensation and mold growth.

개요

투명단열재의 사용 목적은 외벽과 창문의 단열 성능을 증가하는 것이다. 햇빛이 비추는 날, 건물 벽체는 일사에너지 흡수체와 축열체가 된다. 단열재에 비치는 태양복사에너지는 건물 내부를 통과하고, 내벽을 따뜻하게 한다. 흐린날에, 열손실은 단열층의 영향으로 인해 감소된다. 투명단열재의 중요한 잇점은 내벽의 온도와 열쾌적도를 증가시키고, 벽체의 결로와 곰팡이 증식을 감소시킨다.

Many different materials are used for transparent insulation. Organic plastics such as polycarbonate honeycombs and acrylic foam are used, as are inorganic glass-fibre materials or aerogel. These materials are applied behind single glazing or between double glazings. Because some of these materials decrease solar transmittance to about 65%, They are not appropriate to use with windows where a view is desirable.

If an air space is left between the insulation layer and the wall, it is possible to ventilate the system and use the heated air to warm the building interior. In some cases, the air enters interior rooms directly, in other systems, heated air enters a storage area. In yet other applications, heat is transferred by way of pipes laid along the exterior wall behind the insulation.

Information Sources

Solar Energy Houses; Strategies, Technologies, Examples, International Energy Agency, James and James Publishers Ltd., London UK, 1997.

Benefits

- increases insulation on glazings and exterior walls
- increases thermal comfort
- decreases surface condensation and mold growth
- delays solar heat gains and thus complements solar gain through windows

Limitations

- different wall performances, perhaps leading to insulation overheating may require solar shading during summer months
- some materials may have to be installed with framing, thus increasing building

많은 여러 재료들이 투명단열재로 사용된다. 벌집 모양의 폴리카보네이트와 아크릴 폼과 같은 유기질 플라스틱들이 사용하고, 비유기질인 유리섬유 혹은 에어로졸 등도 사용한다. 이 물질들은 싱글 유리 뒤쪽이나 이중유리사이에 설치한다. 이 물질들이 태양열 투과를 약 65% 정도 줄이기 때문에 조망이 좋은 장소의 창문에 사용하는 것은 적절하지 못하다.

만약에 공기층이 단열재와 벽체사이에 있다면, 가능하면 건물 내부를 따뜻하게 하려면 데워진 공기를 이용하거나, 시스템을 환기시킨다. 몇가지 경우에서, 공기가 직접적으로 실내로 들어오거나, 다른 시스템으로 데워진 공기는 축열벽으로 들어간다. 다른 방법으로, 열은 단열재 뒤쪽으로 외벽에 설치된 파이프에 의해 전달되어진다.

출 처

Solar Energy Houses; Strategies, Technologies, Examples, International Energy Agency, James and James Publishers Ltd., London UK, 1997.

장 점

- 유리창과 외벽의 단열 성능이 증가
- 열 쾌적성이 증가
- 표면결로와 곰팡이 증식을 감소
- 유리창을 통한 일사 열획득 지연 및 일사를 보충

문제점

- 단열재의 과열을 일으키는 다른 벽체 성능은 여름철에 차양이 필요
- 다른 재료들은 아마도 골조가 세워지고, 건설되면서 설치

Application

Transparent insulation materials are most appropriate for moderate and cold climates with strong solar radiation. In addition to being used to increase building solar gains (and reduce losses), transparent insulation is also used to improve the performance of solar collectors for heating.

Experience

Transparent insulation is more commonly used in Europe than in North America; specifically, TIM were used in several of the houses within the International Energy Agency Task 13. Some of these houses used transparent insulation over solar collectors; other use transparent insulation over thick masonry, south-facing walls.

Example Buildings

Advanced Glazings
65E Memorial Drive
P.O. Box 277
North Sydney NS
Canada B2A 3M3
tel 1 902 794 2899
fax 1 902 794 1869
www.advancedglazings.com

적용 방안

투명단열재는 대부분 강한 태양복사에너지가 있는 온대 및 한대기후에 가장 적절하다.

건물의 일사량을 증가하는 데에 사용하고, 난방을 위해 집열판의 성능을 증가하는 데에 사용된다.

사 례

투명단열재는 특히 북미보다는 유럽에서 많이 사용되고 있다.

투명단열재는 International Energy Agency Task 13내의 몇몇 주택에서 사용되었다.

적용된 몇몇 주택은 집열판에 투명단열재가 사용되고, 얇은 벽돌, 남쪽에 면한 벽체에 투명단열재를 사용한다.

건물 사례

Advanced Glazings
65E Memorial Drive
P.O. Box 277
North Sydney NS
Canada B2A 3M3
tel 1 902 794 2899
fax 1 902 794 1869
www.advancedglazings.com

[보충자료-2]

환경친화용 건물에의 적용을 위한

투명단열 신기술

(A study on Application method of transparent insulation materials for the environmental friendly Buildings)

출처 : 제 14회 에너지절약기술워크샵 논문집

1. 서론

“환경친화”, “에너지 절약”이란 단어들이 이제는 더 이상 새로운 것이 아니지만, 이러한 단어들이 나온 후 과연 얼마나 많은 에너지가 건물 부문에서 절약되었고 또 환경친화적인 에너지가 사용되고 있는가?

그런데, 독일에서 새로 연구 개발된 투명단열재를 건물에 이용한다면 우리의 상상을 초월하는 막대한 에너지가 절약된다는 것은 이미 독일에서 증명이 되고 있음에도 불구하고 우리나라에는 아직 건물에의 적용연구조차 수행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 환경친화적인 건물에 환경친화적인 태양에너지를 가장 효과적으로 이용할 수 있는 투명단열재를 통한 불투명단열재와의 에너지 절약비교는 물론 건물에 적용하는 방법에 대해 연구하고자 한다.

2. 본론

2.1. 투명단열재의 기능

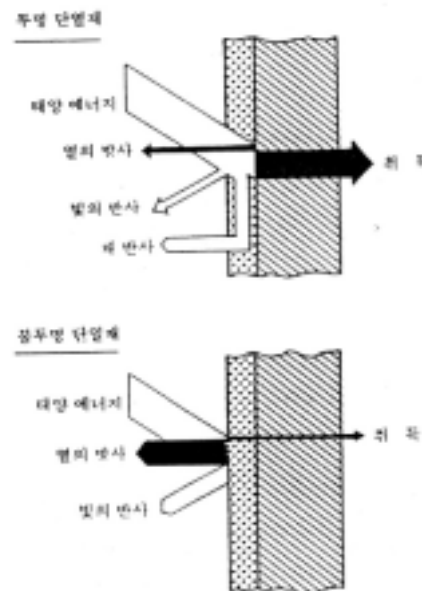
투명단열재의 특성이라면 재료의 투명성과 단열성이 제일 중요할 것이다. 그래서 투명단열재라 하면 가능한 투명성(여기서는 총 에너지 투과율로 정의) 즉 총에너지 투과율 g 값이 1이 되면 가장 좋을 것이고 단열성 즉 열관류율이 0이 되면 가장 좋은 재료라 할 수 있을 것이지만, 에너지 투과율과 열관류율은 서로 상반관계에 있기 때문에 지역 기후조건에 따른 적정치가 계산 혹은 실측된 후 사용되어야 할 것이다.

투명단열재는 단열효과 외에 에너지 취득효과까지 가지고 있어 불투명 단열에 비해 투명 단열된 불투명 외피에서는 정반대의 방향, 즉 실내쪽으로 에너지가 흐르게 된다. 이 투명단열재의 기능은 <그림1>에서 볼 수 있듯이 파장이 짧은 태양의 직사광선 혹은 반사광선이 투명단열재를 통과하여 구조물의 수열면에서 도달되면 열로 변하고 외벽 구조물을 가열시켜(약 80°C정도까지) 온도

를 상승시키게 된다.

따라서 이러한 구조물의 높은 온도는 실내열이 외기로 나가는 것을 막아줄 뿐만 아니라 실내쪽으로 에너지를 공급해주게 된다. 더욱이 이렇게 취득되어 열로 변한 태양에너지는 투명단열재의 높은 단열능력과 파장이 길어진 열선의 차단 효과에 의해 외기로부터 보호되어 태양에너지 취득효율을 높여 주게된다.(온실효과)

즉, 기존의 불투명단열재는 실내열이 외기로 손실되는 것을 잘 차단 시켜주었으나 주변 환경에 주어진 태양에너지가 실내로 취득되는 것도 잘 차단시키는 반면, 투명단열 외피는 실내열이 외기로 손실되는 것을 잘 차단시켜준은 물론 실내로의 태양에너지 취득효과까지 가지고 있어 투명단열에 의한 난방에너지 절약효과는 막대하다.

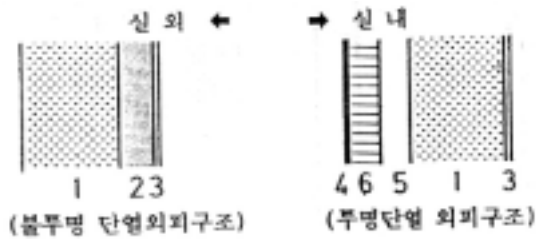


<그림1> 투명단열된 외피와 불투명 단열된 외피의 기능

2.2 투명단열에 의한 에너지 절약효과

여기서 우리나라에서 시공되고 있는 건축물의 외피에 불투명 단열재의 두께를 각각 5cm,, 10cm,15cm, 20cm로 증가시키고 다른 요소(창, 환기등)는 변화가 없을 때 한 건축물의 불투명 외피가 아래 <그림2>와 같고 서울의 평균기후(1980-1982년) 조건하에서 실내온도를 20°C라고 가정했을 때 난방기간동안 (11월-3월)이 불투명 단열된 불투명 외피를 통한 단위 면적당, 월 별

에너지 손실량은 아래 (표 1)과 같이 나타난다.



- 1. 15cm철근콘크리트, 2. 5cm단열재, 3. 0.9cm 석고보드,
- 4. 4mm유리 5. 5cm 공기층, 6. 5cm 투명단열재

<그림 2> 불투명 단열과 투명단열된 외피의 구조

(표 1) 불투명 외피를 통한 월별, 단위면적당 에너지 손실량

(단위 kWh/m²)

단열두께	5cm	10cm	15cm	20cm
손실열량	45.3	24.3	17	11.5

이 표에서 보듯 불투명 단열을 했을 경우 단열재 10cm이상 되면서부터는 에너지 절약효과가 단열재의 두께 증가에 비해 급격히 둔화되고 있으며 여기에 단열재 두께와 무관한 창호와 환기를 통한 에너지 손실까지 고려되면 불투명 단열재의 두께 증가에 따른 에너지 절약효과는 크게 기대될 수가 없을 것이며 일정 한계이상은 불가능하다는 것을 알 수 있다.

그렇다면 투명 단열된 외피가 이러한 불투명 단열된 외피에 비하여 얼마나 많은 난방에너지 절약 효과 혹은 태양에너지 취득효과가 있는지 불투명 단열된 외피와 똑같은 조건에서 불투명 단열재만 5cm두께의 투명단열재로 교체시킨 후 투명단열된 불투명 외피를 통한 이론적인 에너지의 흐름향을 살펴보면 막대한 에너지가 실내쪽으로 흐르는 것을 알 수 있다.(표 2 참조)

(표 2) 투명 단열된 불투명 외피를 통한 에너지 흐름양

벽체의 향	월별 에너지흐름 (+:열취득,-:열손실)					계
	11	12	1	2	3	
남측	+15.0	+7.4	+19.1	*19.1	*30.1	+90.6
북측	+5.1	-2.7	-3.1	+2.4	+12.5	+14.2

이것을 불투명 단열된 외피의 열손실양(표1)과 비교해보면 똑같은 구조의 불투명외피임에도 불구하고 불투명 단열된 것은 실내에서 외기로, 투명 단열된 것은 외기에서 실내로, 즉 정 반대방향으로 에너지가 이동됨을 알 수 있다. 이 그림은 월평균 일사량과 온도등이 고려되어 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 계산된 값 중에서 중요한 수치만을 도표화한 것이다. 이 그림에서 보듯 제일 기후조건이 나쁜 북측 외피를 통해서도 12월과 1월의 두 달동안만 각각 -2.7kWh/m²와 -3.1kWh/m²씩 에너지가 손실되고있으나 난방기간동안의 평균치를 보면 북측 외피를 통해서도 에너지가 +14.2kWh/m², 남측 외피를 통해서 +90.6kWh/m²가 취득되고 있으며 다른 향, 즉 동, 서, 남측의 불투명 외피를 통해서도 난방기간 동안 계속해서 태양에너지가 취득되고 있는 것으로 계산과정에서 나타났다.

즉, 이러한 투명단열된 외피를 통한 실내쪽으로의 에너지 이동은 평균적으로 가장 조건이 나쁜 북측에서까지 나타나고 있어 제반 건축물의 불투명 외피에 투명단열이 될 경우 열관류에 의해 불투명외피로 손실되는 난방에너지를 전혀 없게 할 수 있는 것은 물론 환기나 창호를 통한 에너지 손실까지 대체 시킬 수 있어 건축물의 난방에너지 절약면에서는 가히 획기적인 단열재라고 할 수 있을 것이다.

또한 불투명 단열된 외피와 비교해 볼때 이 투명 단열된 외피는 두께가 ∞인 불투명 단열재로 단열된 외피에 의해 절약될 수 있는 에너지 보다 비교될 수 없이 많은 에너지를 불과 5cm의 두께로 절약을 가능케 한다는 것을 증명할 수 있었다. 그러나, 이 이론에는 아직 해결되어야 할 몇가지 문제점들이 있다. 그 몇가지 문제점들 중에서도 가장 근본적인 문제점은 지금까지의 계산과정에서 모든 기후조건이 월 평균값이 기준으로 계산되고 있다는 것이다. 이렇게 평균값으로 계산될 경우 불투명 단열된 불투명 외피를 통한 에너지 손실과 비교할 경우 더욱 문제가 된다. 그 이유는 무엇보다도 다음과 같다.

- 몇일 혹은 일주일씩 해가 안 비칠 수 있다
- 맑은 날은 필요한 난방에너지보다 과다하게

많은 태양에너지가 공급될 수 있다.

- 불투명 단열된 불투명외피는 이러한 일조조건과 거의 무관하다.

그러나, 투명단열된 부분이 불투명외피이기 때문에 대부분의 경우 축열성능이 좋은 중량 구조물로 이루어져 있어 이러한 문제점들이 어느 정도는 해결될 수 있겠으나 정확한 계산이 불가하여 이러한 계산 불가능한 요소들 때문에 투명단열에 있어서는 실측이 불가피하게 되면 실측후라야 이러한 요소들이 보완된 실질적인 에너지 취득지표가 설정될 수 있다. 그러나 중요한 것은 어떤 경우에도 투명 단열된 외피를 통한 에너지 흐름은 이제까지의 건축물에서의 에너지 절약 이론을 뒤바꿔 놓게 된다는 것이다. 그 이론은 “건축물의 에너지절약을 위해서는 그 외피의 면적이 가능한 적은 형태의 것이 유리하다”라는 것인데, 본 연구결과에서 보듯 에너지 절약을 위해서는 난방기간 동안 태양에너지 이용을 크게 하기 위해 투명단열된 외피의 면적이 넓어질수록 유리하다는 것이다. 또한 이 투명 단열재를 적절히 그리고, 효율적으로 건축물에 사용할 경우 난방에너지의 태양에너지로의 완전 대체효과는 물론 급탕까지도 외부 에너지 없이 될 수 있다는 가능성까지도 기대할 수 있을 것이다.

2.3 투명단열재의 시공기술

투명단열재는 좀더 효과적으로 그리고 경제적으로 건축물에 시공되기 위해서는 적절한 시스템의 연구가 필요하게 된다. 더욱이 이러한 투명단열재는 건축물의 외피에 시공되어야 하므로 건축물의 외관과 밀접한 관계가 있어 적절한 시스템의 연구는 불가피한 것이며 이러한 시스템은 크게 아래 4종류로 분류될 수 있다.

- 대형 벽체 시스템
- 대형 유니트 시스템
- 소형 벽체 시스템
- 소형 유니트 시스템

A. 대형 벽체 시스템

대형벽체 시스템은 오늘날 일반적으로 시공되고 있는 대형 유리창의 크기에서 출입문 크기에 이르기까지의 범위가 여기에 해당되며 틀의 재료로는 목재, 철재, 알루미늄, 합성수지 등에 이르기까지 여러 가지가 사용될 수 있다. 투명단열재의 보호를 위해서는 주로 유리가 사용되어야 할 것이다.

합성수지도 보호막으로 사용가능 하지만 높은 온도에 의한 형태변화의 문제가 발생할 수 있다. 이와같은 틀의 구성과 보호막의 시공방법에 따라 크게 다음 그림과 같은 4가지 형태의 외관이 형성될 수 있다.

A.1 틀의 구성에 따른 외관

- 틀의 두께가 두꺼운 형태
- 틀의 두께가 얇은 형태
- 틀을 거의 볼 수 없는 형태
- 이음새만 보이는 형태

A.2 구조와 기능에 따른 시스템별 상세

구조물에 투명단열재의 고정이나 보호막(유리)의 고정을 위한 틀의 재료로 시중에 여러 가지가 제공되고 있으나 이러한 틀의 재료선정에서나 구조에서 가장 유의해야 할 것은 틀을 통한 열손실이 될 것이다. 왜냐하면 우선 투명단열재는 열관류계수가 매우 작은 반면 틀의 재료는 상대적으로 매우 커서 많은 열손실이 우려되며, 또하나의 수열면에 취득된 태양열에 의해 벽면의 온도가 상승되어 외기와외 온도차가 크게 벌어지므로 틀을 통한 열손실은 막대한 것이 될 것이다. 따라서, 틀의 선정시에는 구조면에서 열흐름의 차단과 벽체에의 기밀한 시공이 요구되며 이것에 대한 투명단열시스템을 위한 몇가지 대안으로 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- 투명단열 시스템의 개, 폐가 가능하고 공기층을 두어 열음의 환기가능(강재 틀)
- 유리를 강재 틀에 접촉시켜 줄눈을 최소화시키고 공기층의 유, 무 선택 가능
- 열전도율이 작은 나무틀로하여 외부쪽에서 개, 폐도 가능하고 공기층의 유, 무도 결정
- 틀을 열전도율이 작은 합성수지로 하여 외부쪽에서 개, 폐도 가능하고 공기층의 유, 무도 결정할 수 있어 여름철의 환기도 가능
- 틀을 견고하고 경량인 알루미늄으로 하고 틀 내부에는 열 손실을 최소화 시키기 위해 열적으로 분리시키고 공기층의 유, 무도 결정
- 벽체와의 고정은 강재로 하고 투명단열 시스템과 강재와는 합성수지로 연결하여 전도열에 의한 손실을 최소화시키고 공기층의 유, 무 선택

B. 대형 유니트 시스템

대형 유니트 시스템은 대형 벽체 시스템과 유사

하게 그 크기는 최근 사용되고 있는 대형 창문이나 일반 출입문의 크기에 준하며 손으로 쉽게 잡고 작업이 가능한 크기가 적당하다. 가장 좋은 것은 시공건물의 기존 창이나 문의 크기에 준하여 크기를 정하는 것이 의장적으로 무난한 것으로 나타났다.

틀의 재료로는 목재, 철재, 알루미늄, 합성수지 등을 들 수 있으나 벽체에의 기밀한 고정, 열전도의 차단 등에 유의하여 열효율이 틀에 의해 저하되는 것을 막아야 할 것이다. 그러나 어떤 경우에서든 대형시스템은 소형에 비해 태양에너지 취득면에서는 틀 면적의 감소 등으로 인해 유리하다. 대형유닛 시스템의 단면 상세는 대형 벽체 시스템에 준한다.

C. 소형벽체와 소형유닛 시스템

소형벽체 투명단열 시스템은 그 크기가 0.5-1m²에 준하며 틀의 재료로는 목재, 알루미늄, 합성수지등을 들 수 있으며 보호막으로는 유리나 합성수지가 사용될 수 있다. 그러나 소형시스템은 틀의 면적에 의해 태양에너지의 취득효율이 감소될 뿐만 아니라 틀의 그림자에 의해 수열면의 에너지 취득 효율이 저하되므로 틀의 폭이 좁을수록 좋으며 가능하면 대형의 시스템을 사용한 것이 바람직하다.

D. 투명단열시스템과 기존의 건축물과의 연결 부분

투명단열시스템의 연결은 크게 다음 부분에서 문제가 될 수 있다.

- 모서리 부분
- 구석진부분
- 다른 재료와의 연결부분
- 투명단열재와 기초 부분과의 연결부분
- 투명단열재와 발코니에서의 연결부분

3. 결론

외국에서 기 개발된 투명단열재에 대해 연구 분석한 결과를 토대로하여 환경친화적인 건물에 태양에너지를 이용하는데 제반 문제점들이 제기될 수 있는 부분들에 대해 조사 연구한 결과 국내에 투명단열 시스템이 개발될 경우 시공상의 문제 등 큰 저해요소는 발견되지 않았으며 에너지 절약효과는 막대하여 투명단열재의 건물에의 적용

은 지금은 물론 장래의 유류파동에 대비하고, 전체에너지 소비량의 약 1/3에 달하는 건물의 난방에너지 고급을 위한 화석연료의 사용에 의한 환경오염을 줄이고 환경친화적인 태양에너지로 대체하기 위하여 꼭 필요한 것으로 사료된다. 이러한 투명단열재의 중요한 특성 및 열적 성능은 다음 (표 3)과 같이 불투명 단열재와 비교하여 요약될 수 있다.(모든 단열재의 두께는 5cm를 기준으로 하고 투명 단열재는 PC 벌집형태를 그리고 불투명 단열재는 스티로폼을 기준으로 한다.)

이 표에서 보듯 새로 연구 개발된 투명단열재는 그 성능면에서나 경제성 등에서 뒤질 것이 없으며 단열성능 면에서도 불투명 단열재보다 부족한 부분이 없었으며 무엇보다도 투명 단열재를 사용했을 경우에는 에너지 절약면에서 획기적이고 불과 수년안에 투자금액이 회수될 수 있으며, 그 이후에는 무한히 주어지는 태양에너지를 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있어 난방에너지를 태양에너지로 대체하는 것은 물론 쾌적한 환경조성에 필수적인 투명 단열재료의 건축물로의 실용화 연구를 하루 속히 해야할 필요가 있다는 것이다.

(표3) 단열재의 특성 및 성능비교 종합

특성 및 성능	투명단열재	불투명단열재
단열성능(K값기준)	1.3	0.8
총에너지 투과율(g값)	0.65	0.0
결로발생	있음	있음
여름의 환기가능성	있음	없음
열축적능력	없음	없음
과열차단기능	없음	없음
경제성(재료비)	60,000원/m*m	1,500원/m*m
연색성	있음	없음
재활용	불가	불가
시공성	좋다	좋다
실내쾌적성	매우 좋다	좋다
에너지 취득기능(겨울)	약 90kWh/m ² 취득	약 45kWh/m ² 손실
현재(99/9)유가기준	약 10,000원 절약	약 5,000원 소비
(외벽면적당)		

4. 투명단열재의 시공실태 및 에너지 절약

유럽 등지에서조로 PC, PA로 만들어지 벌집형태의 것이 이용되고 있으며 유럽같이 기후조건이 나쁜 곳에서도(난방기간동안의 일사량이 우리나라의 약 1/2)이러한 투명 단열재를 건축물에 시공하여 난방에너지 절약에서 큰 효과를 얻고 있

으며 효율개선을 위한 연구 또한 매우 활발하게 이루어지고 있다.

참고로 독일에 시공된 몇 개의 투명단열된 건축물을 살펴보면 다음과 같다.

에서의 경우는 이론적으로 모든 건축물에서 약 60%이상의 난방 에너지 절약효과를 기대할 수 있을 것이다.

1. 독일 Sonnenaeckerweg에 있는 다세대 주택

- 시공년도 : 1989
- 건평 : 400m², 남동향
- 투명단열면적 : 남동, 남서측벽에 100m²
- 투명단열재료 : 10cm두께의 PC 벌집형태
- 총에너지 투과율 : 0.6
- 구조재료: 30cm두께 블럭벽돌
- 년중 난방에너지 소비 : 43kWh/m²

2. 독일 뒤셀도르프 Hellerhof에 있는 연립주택

- 시공년도 : 1990
- 건평 : 116m², 남향
- 투명단열면적 : 남측 지붕에 22m²
- 투명단열재료 : 12cm두께의 PC 벌집형태
- 총에너지 투과율 : 0.6
- 구조재료: 18cm두께 블럭벽돌
- 년중 난방에너지 소비 : 28kWh/m²

3. 독일 Freiburg에 있는 제로 에너지하우스

- 시공년도 : 1992
- 건평 : 150m², 남향
- 투명단열면적 : 남측벽에 100m²
- 투명단열재료 : 10cm두께의 PC 벌집형태
- 총에너지 투과율 : 0.6
- 구조재료: 36cm두께 블럭벽돌
- 년중 난방에너지 소비 : 0kWh/m²

4. 독일 Freiburg에 있는 연립주택

- 시공년도 : 1988
- 건평 : 240m², 남동향
- 투명단열면적 : 남동, 남서측 벽에 70m²
- 투명단열재료 : 10cm두께의 PC 벌집형태
- 총에너지 투과율 : 0.6
- 구조재료: 24cm두께 블럭벽돌
- 년중 난방에너지 소비 : 39.5kWh/m²

위 예에서 보듯 독일 같은 열악한 기후조건 하에서도 다세대 주택의 경우 년중 난방에너지를 불투명 단열했을 때 보다 30%이상 절약하고 있으며, 연립주택단지는 불투명 단열된 건물에서보다 50%이상을 절약하고 있는 것을 볼 때 우리나라

[보충자료-2]

환기형 투명단열재를 설치한 Solar Wall의 성능, 특성, 문제점 및 예측

(Solar Walls with ventilated Transparent Insulation Performance, Properties, Problems and Prospects)

http://www.fvtwd.de/pdf/papers/p0005_es_hltwd.pdf

요약

이 보고서는 두가지 건본을 사용하여 환기형 투명단열재의 실험 및 이론적인 고찰을 서술하였다. Freiburg facade 실험체에서 실험을 하고, 이론적으로 시스템을 특성화하여 잘 이용하여 결론을 내릴 수 있다. 그러나, 틈새바람과 열교현상은 실험에서 고려될 수 있다. 이러한 현상은 열손실과 열획득 면에서 영향을 미치므로 무시할 수는 없다. 인입과 출구 계획은 비용뿐 만아니라 건축물의 물리적인 측면에서 중요하다. 전산유체해석(CFD)으로 부터, 출구 모양과 크기를 변경하면서 여러가지 유체를 정보들을 유추할 수가 있었다. 환기형 투명단열재는 건축의 요소로써 매력적이고, 차양장치를 설치하지 않으므로써 주택 외관에 영향을 미치지 않는다.

1. 서론

건물 벽체에 투명 단열재의 적용으로 벽체가 열손실에서 난방요소로 바뀌게 되었다. 총 태양에너지 전달이 태양의 고도에 의존하기 때문에 여름철의 태양열 획득은 수직적으로 남쪽의 면한 벽체에서 많이 감소한다. 그러나, 넓은 영역으로 적용을 하기 위해서, 열 쾌적성은 항상 일사차단용 차양으로써 요구 되어왔다. 환기형 투명단열재의 개념은 이미 겨울철의 난방모드에서 여름철의 냉방모드로서 조절할 수 있다. 상업적인 연구 개발프로젝트로서 표준품을 비교 하겠다.

환기형 투명단열재의 최적화는 몇몇 요소에 의존한다.

- 틈새의 두께
- 인입과 출구의 열저항
- 열교
- 틈새내의 열전달계수

이러한 영향들의 변수를 조사하기 위해, 시뮬레이션과 모델링은 유용하다. 그러나, 결론을 도출하기 위해서는 실험치가 필요하다. 더구나 온도와 열류의 측정은 Fraunhofer 지역의 FASTEST 실험장에서 측정하였다. 몇몇 건본품은 직접적으로 출입구의 개폐와 틈새 폭의 영향을 조사하는데 사용된다. 전산유체해석(CFD)시뮬레이션은 열류저항을 최적화하는데 필요하다. 실험치와 시뮬레이션 결과치의 비교는 시뮬레이션 결과를 검증할 수 있다.

2. 실험체

외기조건에서 열과 태양열 획득 조사는 실 크기의 투명단열재의 성능을 측정할 수 있는 조건이다. FASTEST 외기 실험체는 이전에 잘 알려진 Solar Autonomous House Feriburg 인접한 위치에 있어 조사할 수 있는 8가지의 독립적인 실험체를 조성하였다.



Fig. 1. View of the FASTEST site in Freiburg, showing four facade elements

몇가지 실험이 측정되었다. 온도, 에너지, 복사열, 바람과 일사데이터를 연속적으로 측정하였다. 주요한 실험 평가는 실험체의 시뮬레이션 모델로써 사용되었고, 조사된 외벽 요소들의 명확한 기술이 실시되었다.

투명단열재 경우에 실험체의 열류의 Solar Wall에 직접적인 측정은 열류미터기로 측정하였다.

3. 실험 모듈의 개요

다른 흡수제를 포함한 두개의 다른 투명단열재의 모듈은 환기형 투명단열재 시스템에 사용하는 것

을 조사하였다. 표본(A Type, 표 1)의 모듈은 환기가 없는 일반적으로 사용하는 생산품이다. 다른 하나(B Type)은 흑색 크롬 선택층에 얇게 코팅된 합금스틸을 사용하였다. 선택코팅제 때문에 열복사와 대류 전달(Platzer,1992)을 분리하기 위해 투명단열재와 흡수체사이에 공기층을 필요하다. 반면에 투명단열재는 A형으로써 모듈의 비슷한 열저항을 도달하기 위해 필요하지는 않는다. 나란히 두개의 모듈의 교차부분은 그림 1에서 보여주고 있다.

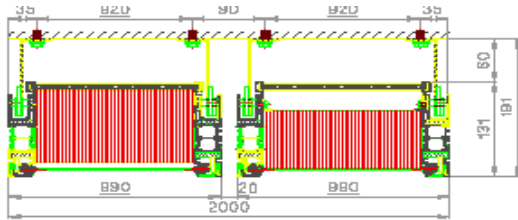


Figure 1: Cross-section of investigated TI-modules left: type A, right: type B (not to scale)

parameter	layers	
	type A	type B
transparent cover	4mm low iron glass	4mm low iron glass
	3mm air gap	80mm capillary plate (PC)
	100mm capillary plate (PC)	23mm air gap
absorber	Fibre cement plate Eterplan plus grey	Selectively coated steel plate NiCr
	$\alpha_0 = 0.72 (\pm 0.05)$	$\alpha_0 = 0.95 (\pm 0.01)$
	$\epsilon_0 = 0.90 (\pm 0.05)$	$\epsilon_0 = 0.10 (\pm 0.02)$
	$\epsilon_b = 0.90 (\pm 0.05)$	$\epsilon_b = 0.42 (\pm 0.05)$

Table 1: Specification of the prototypes most important parameters

물성치와 이론적인 계산으로부터 A Type과 B Type에 대해 평균온도 20°C 에서 열저항치를 평가하였다. 다른 두께에 투명단열재의 측정된 광학적인 데이터를 사용하였고, 정상과 반구 경사를 위해 모듈의 태양에너지 투과율 g_B 을 평가하게 된다. 섬유시멘트 흡수체의 회색칼라 때문에 g_B 의 값값은 A Type보다 낮다.

quantity	type A	type B
$R_B (20^\circ C)$	1.05 m ² K/W	1.16 m ² K/W
$g_{0,B}$	0.59	0.75
$g_{b,B}$	0.51	0.61

Table 2: Theoretically calculated performance parameter of the modules / collectors

두가지 모듈에 총 태양에너지 투과율의 각도 변화는 (그림 2)에서 나타난다.

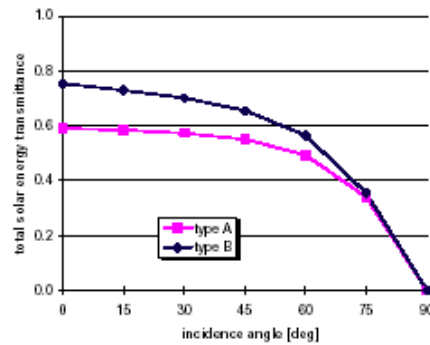


Figure 2: Angular variation of total solar energy transmittance g_B for both modules (theoretical)

4. 환기형 투명단열재의 이론적인 모델

환기형 투명단열재에서 두가지 모드로 작용한다. 겨울철에 흡수체와 벽체사이의 공기층은 밀폐되고, 시스템은 축열벽처럼 작용한다. 여름철에 모듈의 인입(바닥)과 토출(상부)은 개방되고, 시스템으로 환기된다. 공기는 흡수체와 접촉하면서 데워지고, 공기채널이 상승하고, 환기되어진다. 두가지 모드는 (그림3)에 열저항 도표와 함께 투명단열재에 전형적인 축열벽으로써 유사한 방법으로 다르다.

이러한 처리는 건물요소의 지속적인 시간보다 더 많이 오랫동안 유용한 정적계산 방법으로 사용된다. 그러나, 하나는 시스템의 효과적인 저항과 g 값이 (표 2)의 단순한 모듈 특성이 다른 것을 인지할 수있다. 흡수체와 벽체사이의 공기층의 열저항은 밀폐된 겨울철 모드내에 증가하는 열적 투과율에 따라 태양열 획득이 감소한다.

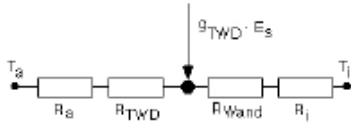


Figure 3: Thermal resistance diagram for transparent insulation

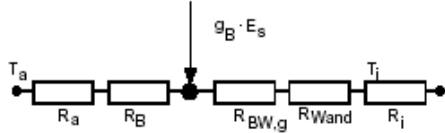


Figure 4: Thermal resistance diagram for ventilated TI (closed air gap)

(그림 4)로부터 R_{TWD} 와 g_{TWD} 로 표현된다.

$$R_{c,TWD} = R_B + R_{BW,c}$$

$$g_{c,TWD} = \frac{g_B}{1 + \frac{R_{BW,c}}{R_a + R_B}}$$

환기채널의 개방될 때, 상태는 흡수성이 좋은 블록과 구조체표면(그림 5)에 가능한 열적인 손실을 발생하므로써 보다 더 복잡하다.

$$R_{c,TWD} = \frac{R_{W,c} \cdot [(R_a + R_B) \cdot (R_{B,c} + R_{BW,c}) + R_{B,c} \cdot R_{BW,c}]}{R_{W,c} + (R_a + R_B) \cdot (R_{B,c} + R_{BW,c}) + R_{B,c} \cdot R_{BW,c}}$$

$$g_{c,TWD} = \frac{(R_a + R_B) \cdot R_{W,c}}{(R_a + R_B) \cdot (R_{B,c} + R_{BW,c}) + R_{B,c} \cdot R_{BW,c}} \cdot g_B$$

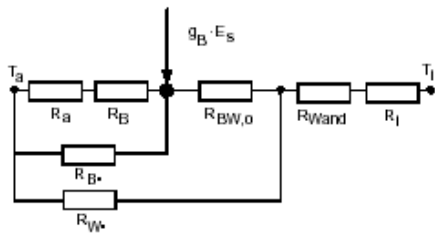


Figure 5: Thermal resistance diagram for ventilated open air channel

5. 실험결과

단순히 이론의 유용성을 조사하기 위해, 몇 달 동안에 두가지 모드내에 두개의 모듈의 성능을 모니터링하였다.

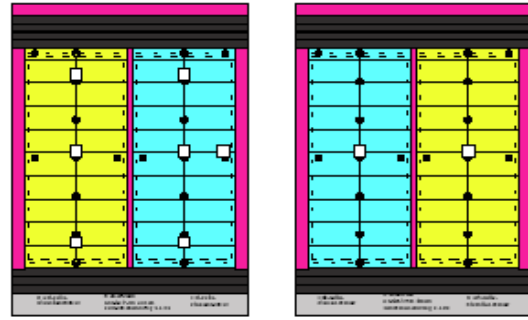


Figure 6: Sketch of modules with sensor locations in the plane of the exterior surface of the wall (square: Heat flux meter; crossed circle: temperature sensor)

공기 채널은 60mm폭을 가진다. (그림 7)과 (그림 8)은 개폐모드에 대해 하루동안에 온도곡선을 나타냈다.

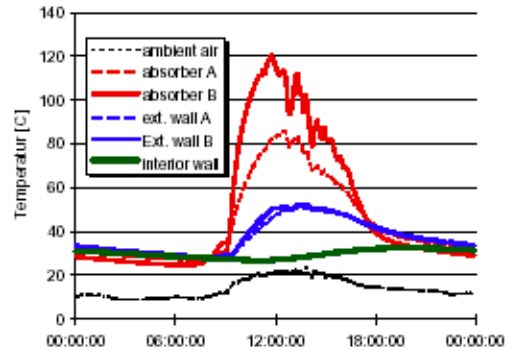


Figure 7: Temperature curves for a sunny October day with in- and outlets closed (both modules; central sensors)

흡수판의 낮은 방사율 때문에 모듈 B Type은 벽체에서 열을 전달하는 용량이 감소하였다. 따라서, 흡수체의 온도는 모듈 A Type 보다 높게 나타났다. 모듈 뒤쪽에 벽체표면은 가장 큰 흡수체와 비교하면 타임랙이 적으므로 온도가 50°C에 도달하였다.

240mm 두께 석회암벽은 열을 저장하고, 약 20시간동안 7시간 타임랙으로 내부로 열을 방출하였다.

유사한 점은 개방된 공기채널에서 나타났다. 그러나, 이러한 경우에서 철 흡수체가 섬유시멘트판보다 낮은 벽체의 표면온도를 유지하는 것으로 나타났다, 낮은 열관류율을 가지는 재료는 임계에 발생하는 벽체의 대류, 열전도가 많이 발생하지 않는다. 모듈의 낮은 방사율은 여름철에 나타났다.

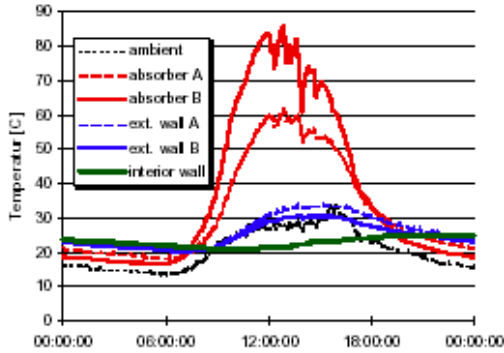


Figure 8: Temperature curves for an August day with ventilated modules (both types; central sensors)

6. 평가

양적인 평가를 위해 우리는 측정된 온도와 에너지 흐름의 일일 평균값을 이용하여 이론으로 나타냈다. 주로 시스템 모듈 + 벽체의 과도한 태양열 획득에 관심이 있다. 열손실은 열획득에 겹쳐놓고 벽체 표면에서 측정된 열류 q_w 의 결과로 나타냈다.

$$q_w = g_{eff} \cdot \frac{U_{gs}}{U_{TWD}} \cdot E - U_{gs} \cdot (T_R - T_a) = \eta \cdot E - U_{gs} \cdot \Delta T$$

$$U_{gs} = \frac{1}{R_i + R_{insul} + R_{TWD} + R_a}$$

$$U_{TWD} = \frac{1}{R_{TWD} + R_a}$$

모듈 E위에 복사조도의 기능으로 태양열 획득을 통계적인 평가로 나타내었다.

$$q_{net} = q_w + U_{gs} \cdot (T_R - T_a)$$

$$= q_w + U_{eff} \cdot (T_w - T_a)$$

$$= \eta \cdot E$$

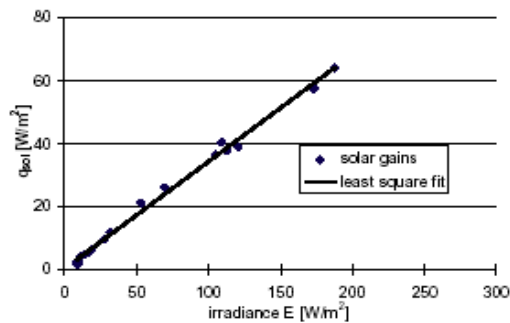


Figure 9: Solar gains of module type A / fibre cement absorber grey

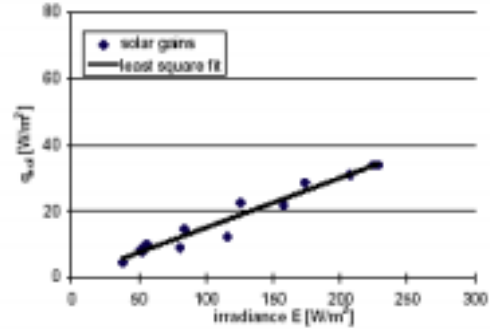


Figure 10: Solar gains of ventilated module type B / selective steel absorber

(그림 9)와 (그림 10)의 직선은 일일 측정된 평균값의 도표이다. Fit의 질은 몇 주 동안 효율성이 Fit 경사에 의해 주어진 상수로써 매우 잘 받을 수 있는 것을 나타낸다. 효율성은 밀폐상태에서 약 40%정도 감소하였다. 보다 중요한 효율적인 U값은 크게 증가되고 열은 제거되어졌다.

우리는 두가지 경우에서 (그림 5)의 열저항을 명확하게 유추할 수있다. 결과는 (표 3)과 (표 4)에서 나타냈다. 이것은 U와 두가지 목표값을 맞추는 것으로써 유일한 해답은 아니다. 심지어 밀폐된 상태에서 임계 기류 h_{wa} 와 h_{Ba} 에 열전달 계수는 0이 아니다. 이것은 공기채널내에 차가운 임계공기의 틈새바람 때문에 추가적인 열손실 발생하였다. 다른 설명으로는 특히 출구에서 열교 영향으로 인해 열손실이 발생하였다. (그림 11)은 O에서 열전달계수와 함께 두가지 모듈형태를 위해 Solar Wall의 태양열 효율성이 이론적으로 계절적인 변이를 나타냈다. 측정된 값과 곡선의 사이는 여러 가지 영향을 나타낸다.

type A theory					experiment			
mode	$h_{w,a}$	$h_{B,a}$	$h_{B,w}$	U_{eff}	g_{eff}	η	$\langle U \rangle$	$\langle \eta \rangle$
open	1.80	4.00	4.40	4.12	0.241	0.181	4.10	0.180
closed	0.10	0.10	6.90	0.98	0.445	0.333	1.00	0.366

Table 3: Thermal parameter type A

type B theory					experiment			
mode	$h_{w,a}$	$h_{B,a}$	$h_{B,w}$	U_{eff}	g_{eff}	η	$\langle U \rangle$	$\langle \eta \rangle$
open	2.10	4.00	1.60	3.30	0.152	0.117	3.30	0.112
closed	0.10	0.30	4.10	0.98	0.479	0.369	0.95	0.368

Table 4: Thermal parameter type B

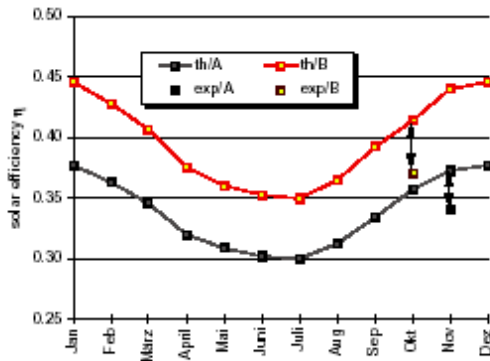


Figure 11: Seasonal variation (Theory) compared with experimental results

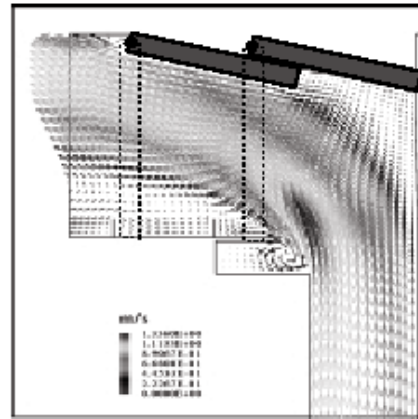


Figure 13: Vector representation of flow field for double flap outlet (double flaps indicated in open position; closed position dashed)

7. 환기효율의 시뮬레이션

인입과 출구 구조가 매우 중요하다. 열손실은 태양열 획득의 틈새바람과 열교 영향 때문이다. 이것은 왜 우리가 출구에 대해 다른 견해로 조사하게 되는 한가지 이유다. 또한, 여름철에 가능하면 환기시 적게 방해되어야된다. 여러 가지 변수를 조사하는데에 전산유체해석(CFD)를 사용하였다.

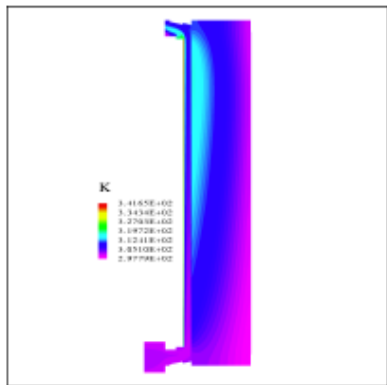


Figure 12: Temperature field of ventilated TI from CFD simulations (dimensions not to scale)

출구를 밀봉하는 세가지 제안

- 열 분리할 수 있는 두개의 날개 (양호한 열저항)
- 팽창할 수 있는 고무튜브로 밀봉
- 열브레이크와 함께 회전할 수 있는 실린더 (기계적인 운동)

60mm의 고정된 폭을 공기층을 가질 때 우리는 출구의 특정한 형태가 매우 많을 뿐 만 아니라 (그림 14) 환기(유속)에 영향을 주는 것을 알 수가 있었다. 주요한 변수는 공기채널로써 같은 사이에 대해 출구의 폭에 나타난다. 추가적인 방수 그리드는 기류속도를 감소한다.

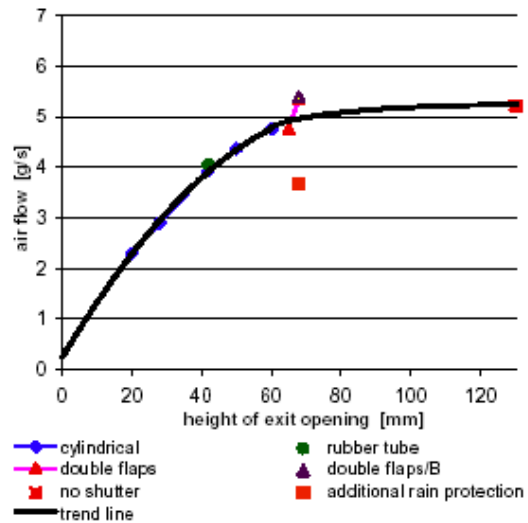


Figure 14: Results for ventilation air flow for different outlet shapes and sizes

8. 결론

이론적인 모델은 질적, 양적으로 중요한 과정을 묘사하는데에 충분히 양호한 것을 나타냈다. 흡수제 뒤쪽의 방사는 특히 여름철의 냉방모드에서 중요하게 나타났다. 여름철의 태양열 획득은 만약

에 공기층이 잘 계획되어 진다면 환기와 함께 매우 낮은 값으로 감소한다. 겨울철 모드내의 효율성은 벽체의 기밀성과 열교의 영향에 미친다. 두 가지의 표본들에 대한 양적인 결과는 단열을 위한 성능을 비교하였고, Solar Wall의 효율성을 나타냈다.

환기형 투명단열제는 겨울철에 벽체내의 난방과 여름철의 과열방지에서 효과적인 기술이다. 평가한 건물 정면에 외관에 영향을 미치는 차양장치를 설치하지 않기 때문에 건축적인 이유로 매력적인 기술이다. 상업적인 제품의 단점은 설비적인 차양장치와 투명단열재를 비교하여 비용이 비싸다.

열적인 단열와 기밀한 출구의 비용은 여러가지 변수에 따라 다르다. 비용이 단열재의 크기에 따라 증가하므로써 추후에는 겨울철이나 여름철에 관계없이 성능이 다르지 않게 치수를 최소화하는데에 집중해야한다.

[보충자료-3]

투명단열재를 사용한 에너지절약 리모델링 사례
-독일 Leipzig내 Paul-Robeson-School



개요

1980년도 중반까지 있던 전형적인 학교건물이다.
1991-1993년동안에 에너지절약적인 학교를 보여 주는 대표적인 사례로써 리모델링을 하였다.
가장 대표적인 리모델링중에 하나는 기존 단열재의 사용을 비교하기 위한 투명단열재의 사용과 평가를 하였다.

건물의 개요

층수 : 4
리모델링 기간 : 1991-1993년
건축면적 : 41,000m²

설비시스템

연료 : 도시가스
설치기간 : 1978년도
난방용량 : 1.4MW
자동제어 : 수동식
환기
환기방식 : 자연환기
조명
조명 제어 : 수동식
차양장치 : 고정식 블라인드

리모델링

에너지절약 개념

리모델링 전에는 난방에너지 소비: 225kWh/m²
리모델링 후에 난방에너지 절약 목표 : 50%절감
지붕과 벽면에 단열성능이 좋은 재료 사용, 로이코팅유리 사용, 보일러 및 난방시스템의 원격제어
투명단열재의 사용
건물 벽면 300m²에 투명단열재 설치

건물

Measure (U-value)	U-Values [W/m ² /K]	
	Before Retrofit	After Retrofit
Wall (opaque)	1.4/2.6	0.38
Wall (transparent insulation)	2.6	0.55
Roof	0.65	0.18
Cellar Ceiling	3.7	0.46
Window	2.8	1.5

표 1. 리모델링 전후의 벽체, 창, 지붕과
Cellar Ceiling

창 : 로이코팅유리
외벽 : 경량콘크리트, 8cm 미네랄 울로 단열
지붕과 Cellar Ceiling : 폴리스티렌 폼으로 단열
남쪽면에는 커튼월처럼 80mm 투명단열재 사용
투명단열재의 정면에 차양시스템은 여름철에 쾌

적한 내부 실내온도를 유지하기 위해 일사조절용으로 설치

난방

난방제어시스템은 교실마다 로컬제어 가능
기존 시스템의 용량을 증대

환기

리모델링(단열, 정면에 투명단열재 사용) 때문에 정면은 기밀한 구조로 되었다.

환기 스룻(개폐가능한 장치)은 창문프레임에 설치되고, 팬은 기류를 형성하기 위해 별도로 설치

조명

리모델링 부분에서 제외

에너지 절약 결과

Heating energy consumption [kWh/m ² a]			
Before Retrofitting	Calculated (Energy Concept)	Monitored	
		94 / 95	95 / 96
225	57	58	89

표 2. 리모델링 전후의 난방에너지를 비교

투명단열재가 설치된 벽체의 내부온도는 겨울철 동안에 실내온도 21K이상, 1K이하이다.

벽체의 벽면온도는 실내온도보다 대략 0.5K이상 투명단열재로부터 열획득량 계산을 측정하지 않았다.

디자인 지침

- 투명단열재시스템은 주위깊게 계획 (차양, 화재, 비용 등)
- 환기시스템은 겨울철에 불쾌적인 차가운 공기를 피하기 위해 주위깊게 계획되어야 한다.
- 리모델링 이전처럼 사용자가 직접 시스템을 제어하고, 창문을 개폐한다.
- 기계환기시스템은 자연환기의 보충적인 시스템으로 사용한다.

[보충자료-4]

투명단열재를 사용한 생태주택, 파리
(An Ecological Family House with Transparent
Insulation Material in Paris)

요약

생태주택 프로젝트는 1995년 9월 프랑스에서
국제현상공모로 계획되었다.

예산 : 100만프랑

설계요소 : 투명단열재, 기밀한 구조, 온실효과와
일사제어, 차양장치등 포함

건물조건 : 11m x 11m x 5.5m(H)

거주할 수있는 미세기후

-블록구조, 설비형 시스템과 설비형과 자연형
급탕시스템

-콘크리트구조, 집수정과 오수정화로장치와 주방
와 화장실시스템

- Raw Soil 구조, 내벽을 나무구조, 정문,침실은
보완장치

외피 K값 = 0.48W.m².K

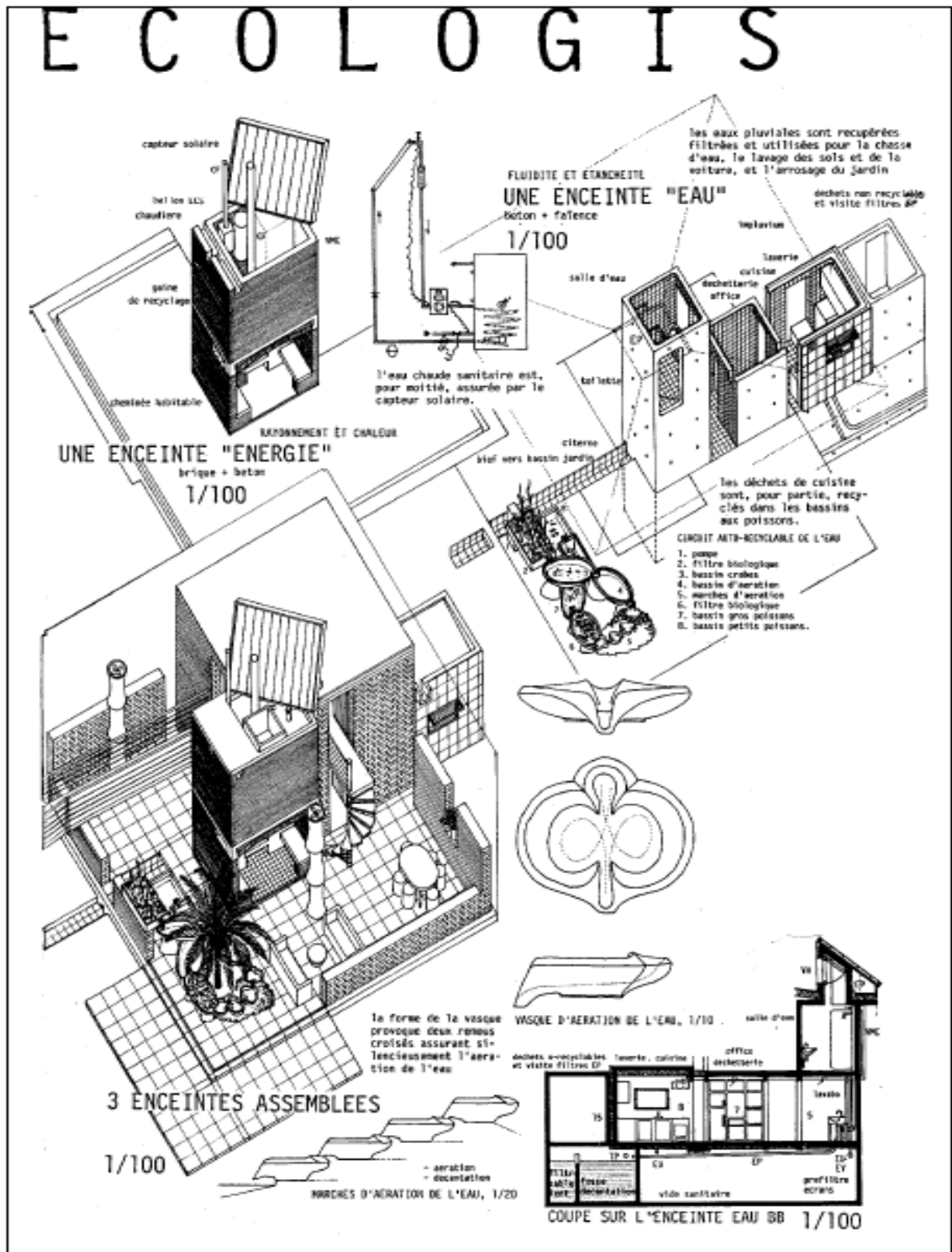
난방량은 연간 55kW/m², 6,600kW

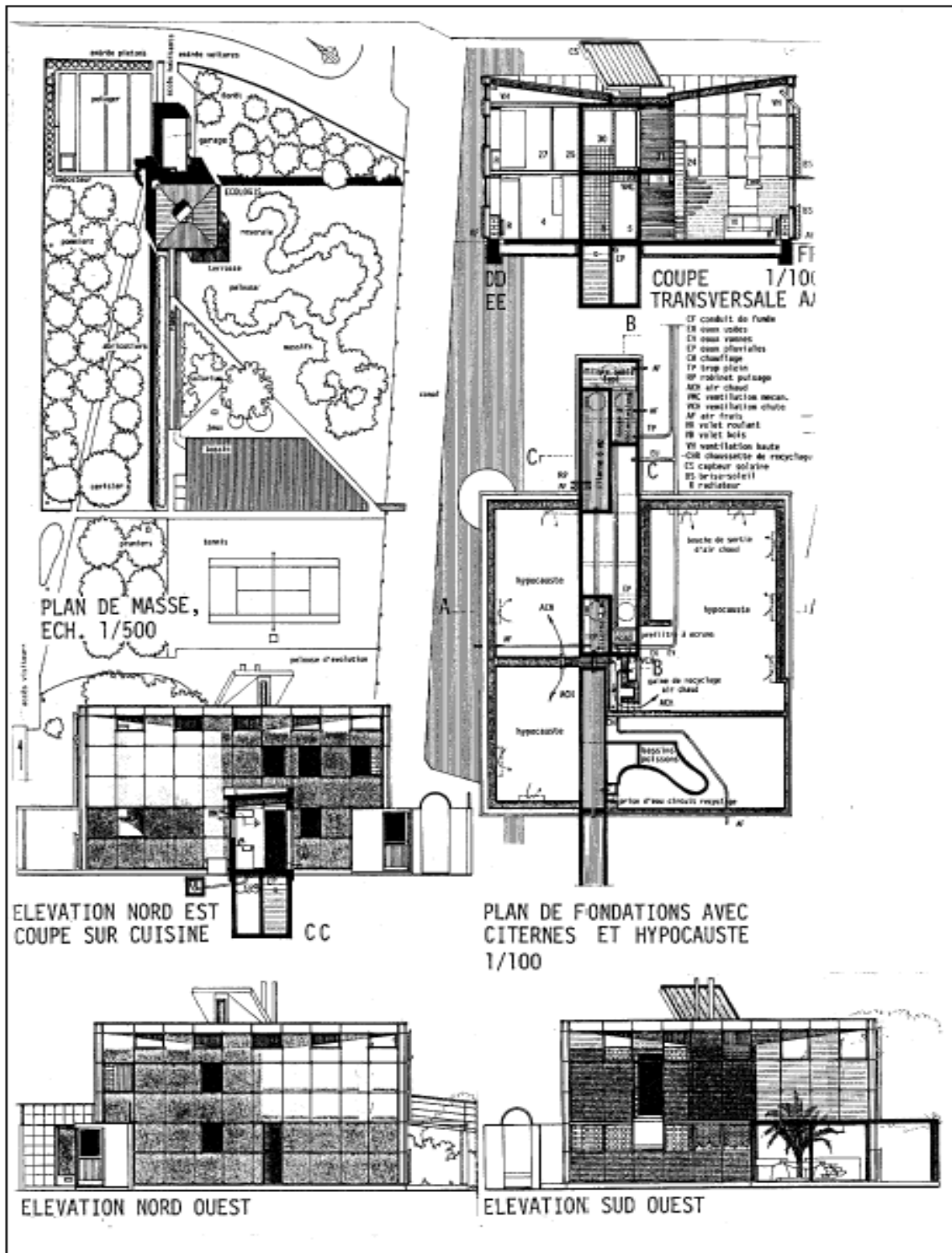
태양에너지나 내부획득열을 이용

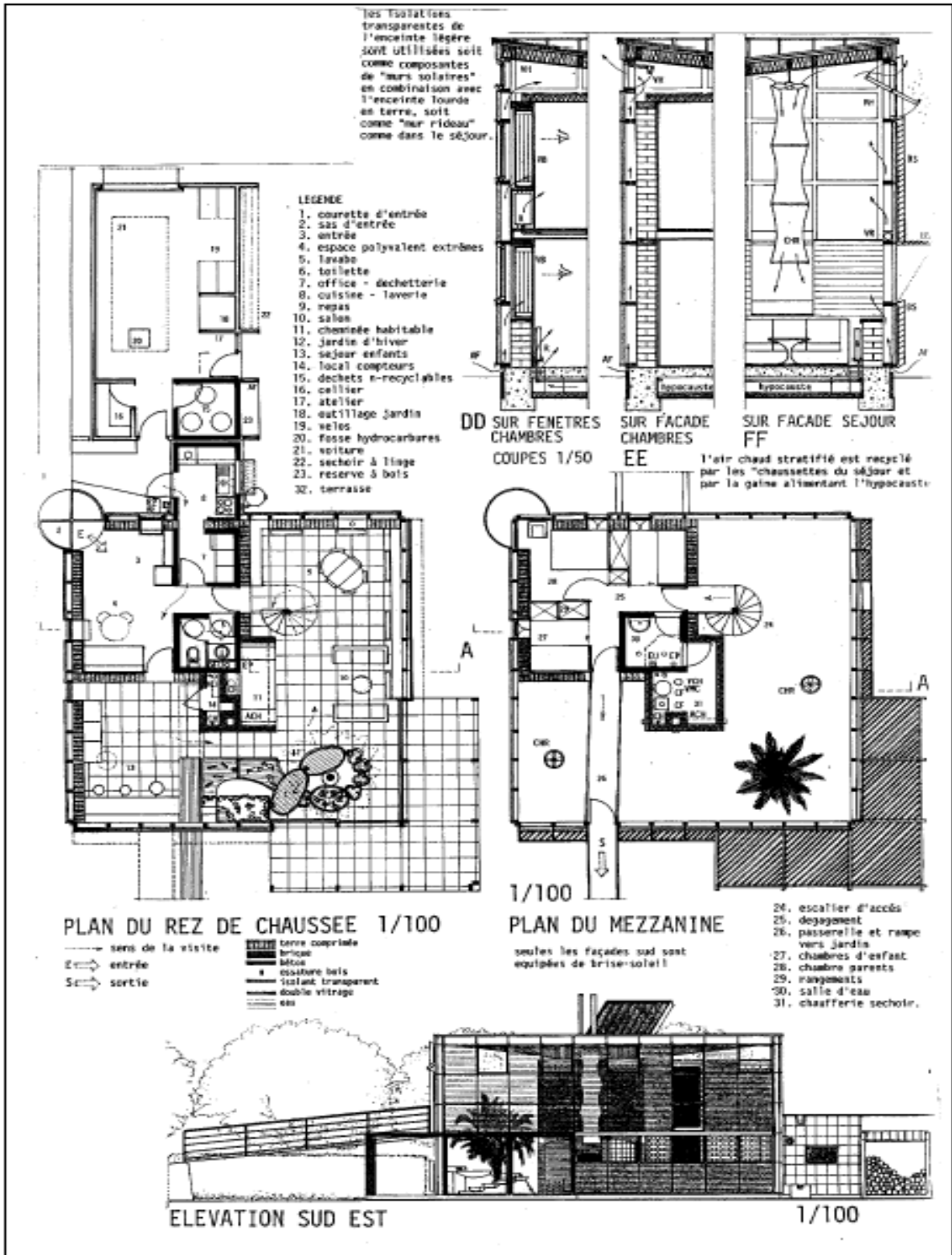
: 난방에너지 61% 절약

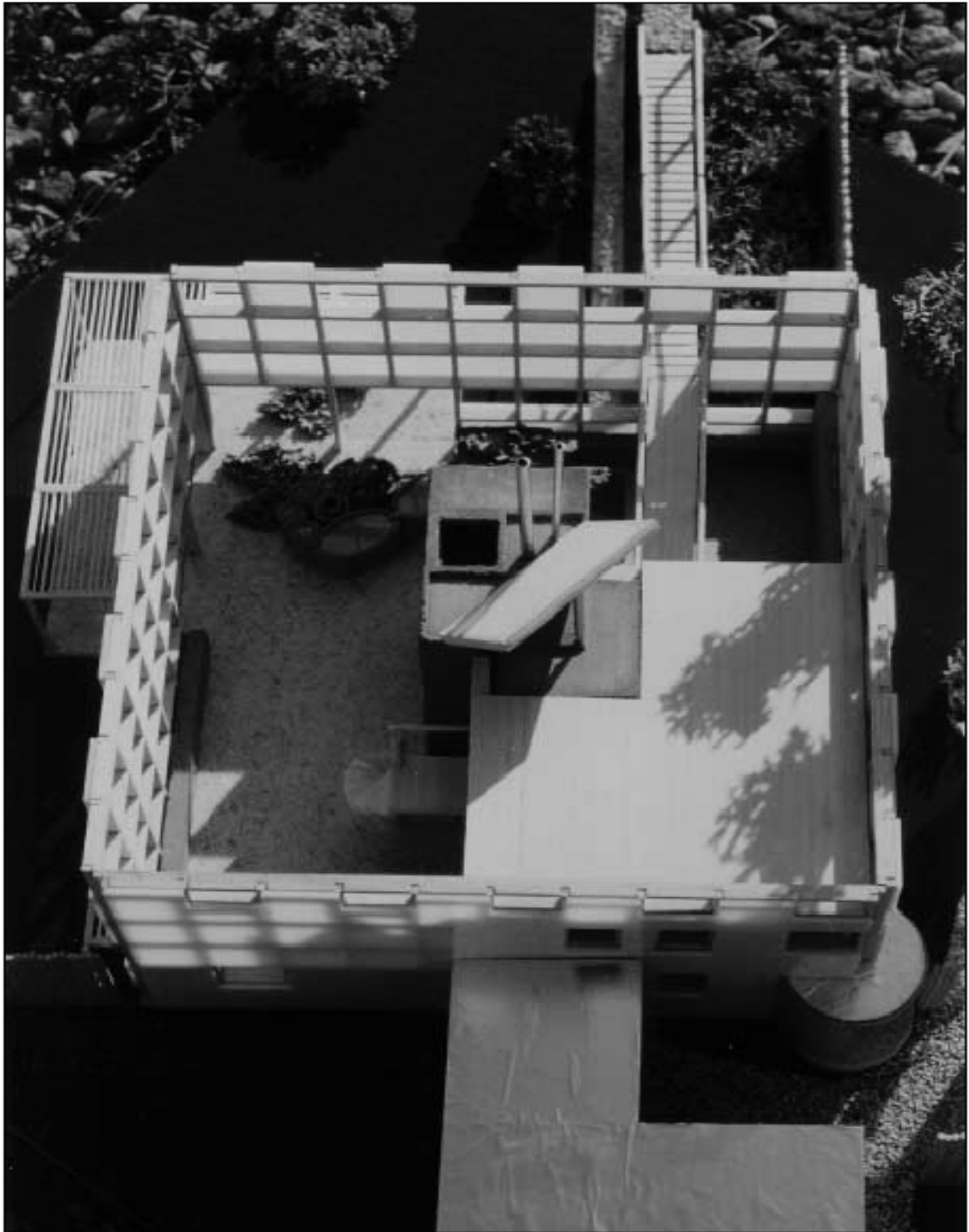
물 절약은 4-5인가족기준의 40%

급탕은 지붕층의 집열판을 이용하여 40%절약









Global view of the model, without the roof

