

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 4, 2000

투명 단열외피를 통한 환기효과에 관한 연구¹⁾

김세환*, 김삼열*, 이 성**

* 동의대학교 건축설비공학과 전임강사

** 동의대학교 건축설비공학과 교수

Circulation Effect of the Transparent Insulated Opaque Envelopes

S. H. Kim*, S. J. Kim*, S. Lee**

*, ** Dongeui Univ. Dept. of Architectural Equipment

Abstract

A model house with a "Ondol" heating working with solar energy and supplied by circulation air was investigated both experimentally and theoretically. A calculation method was developed for interpreting the measured values and for comparing several variants. This calculation method together with the measurement result is presented in the following.

The gain in energy of the collector(Trombe wall type with TWD) measured on a particularly selected winter day with plenty of radiation amounted to approximately 31 % of the total solar radiation.

1. 서 론

건물의 난방 에너지 절약을 위해 태양열 이용 방법이 다양하게 연구되고 있지만 그 중에서도

유럽지역에서 가장 효율적으로 이용되고 있는 것 중의 하나가 바로 투명 단열재이다. 이 투명단열재는 기존의 불투명 단열재와는 달리 실내의 열이 밖으로 손실되는 것을 잘 막아줄 뿐만 아니라

1) 본 논문은 1998년 동의대학교 학술연구 조성비의 지원을 받아 연구되었습니다.

외부에 주어진 태양에너지도 실내로 취득시킬 수 있어 건축물에 있어 겨울철의 난방에너지 절약효과에는 가히 획기적이라고 볼 수 있다.

그러나 이러한 투명단열재의 이용에 있어 가장 큰 걸림돌 중의 하나가 바로 국부적인 고온과 여름철의 과열현상이다. 이것을 개선하기 위한 대표적인 방법으로 유럽지역에서는 커튼장치를 사용하여 불필요한 빛을 차단시켜 실내공기의 과열현상을 막고있으나 모터의 자동조절장치와 온도측정 센서 등 과열차단을 위한 커튼장치의 가격이 너무 비싸 투명단열재의 보급에 큰 장애 요인이 되고 있으며 국부적인 고온현상에 대한 대책은 아직 없는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같이 투명단열을 통한 태양에너지의 효과적인 이용을 위해 불투명외피에 투명단열재를 적용시키는 과정에서 기존의 비경제적인 커튼장치를 쓰지 않고 외피 층의 가열된 공기의 굴뚝효과와 송풍기를 이용하여, 겨울에 투명단열재를 통해 수열면(벽면)에 국부적으로 가열되어 구조물의 온도차를 크게 하는 태양에너지의 국부적 고온문제를 구조물에 분산 축열로 해결하기 위해, 가열된 공기를 실내로 유입시켜 온돌바

닥 등에 분산 축열시켜 난방에너지 효과를 더욱 상승시키는 경제적인 외피 환기 시스템을 연구하였으며, 본 논문에서는 이 중에서 겨울철의 난방에너지 분산 축열 효과에 대해서만 언급하였다.

2. 이론연구

본 연구를 위한 태양에너지 이용을 위한 장치는 일종의 공기집열기로 일컬어 질 수 있는데, 외기쪽에는 투명단열시스템으로 구성되었고 내부에 공기층을 두고 검정색의 구조물로 구성되어 불투명외피가 수열판의 기능을 하게된다. 여기서 취득된 태양에너지는 공기 순환에 의해 거실의 바닥 구조물을 통과하며 열을 저장하게 되며 여기 저장된 열은 서서히 실내로 열복사에 의해 방출하게 된다. 즉, 투명단열 벽체를 통해 태양광선에 의해 가열된 공기는 실내로 바로 유입되는 것이 아니고 바닥의 구조물에 열을 공급하고 다시 벽체로 순환되어 실내공기와는 별도로 분리된 통로로 순환하게 된다. 이러한 시스템은 기존의 가열된 공기가 실내공기와 혼합 순환되던 것과는 달

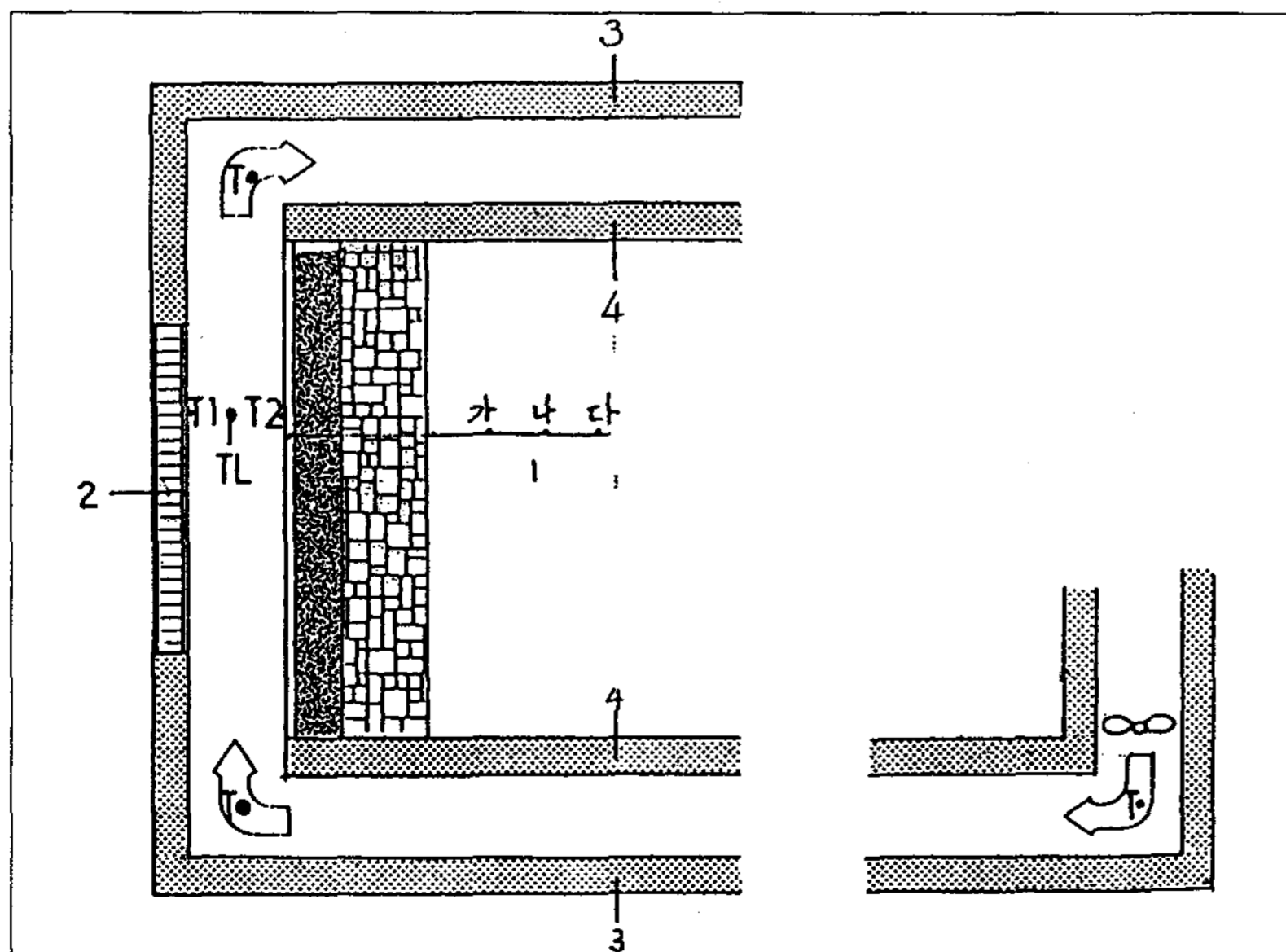


Fig. 1. Construction and function of the Air-collector and the under-floor heating duct

리 위생적이고 기존의 투명단열 벽체가 가지고 있던 과열의 문제점을 공기의 순환을 통해 원만하게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 투명 단열 벽체의 외피는 이중유리로 구성되어 있고 그 사이에 투명단열재가 삽입되어 있으며 실험에 이용된 뒷벽의 구성은 3개의 재료로 되어있고 그 재료와 크기는 다음과 같다(그림 1 참조).

외벽재료 1: 수열면이 포함된 공기집열기의 내부벽

	두께(m)	열전도율 W/(m.K)	열 침투계수 ²⁾
가(석고보드)	0.016	0.3	7.27
나(단열재)	0.08	0.06	1.455
다(내력벽)	0.24	1.0	20

외벽재료 2: 투명단열층

두께(m)	열전도율	열 침투계수
0.1	0.1	2.24

외벽재료 3: 외기와 접하는 바닥

두께(m)	열전도율	열 침투계수
0.1	0.1	2.425

외벽재료 4: 실내와 접하는 바닥

	두께(m)	열전도율 W/(m.K)	열 침투계수
가(몰탈)	0.035	2.1	35
나(스래브)	0.15	2.1	35

실측모델

길이	공간 깊이	높이	공기층의 두께	TIM면적
1m	1m	1m	0.05m	0.8×0.8m

외부구조물과 내부구조물 사이의 공기순환로 형태: 판형, T: 각 터널의 전환점의 측정점

단열층(외벽재료 1번의 나)은 투명단열 벽체를 통해 들어온 에너지가 실내쪽으로 흐르는 것을 최소화 시켜 가능한 많은 태양열이 바닥 구조물로 이동되어 바닥에서 열 방출이 될 수 있도록 하는 역할을 하게된다. 검정색 석고보드는(외벽재료 1의 가) 약간의 축열이 가능하여 검정칠한 석고보드에서 태양광선이 열로 변하여 순간적으로 공기의 급격한 온도상승에 의해 투명단열재에 손상 주는 것을 예방하도록 하였다. 바닥은 공기층을 중심으로 상부는(외부재료 4) 기존의 온돌바닥과 같지만, 하부재료(외부재료 3)는 단열재를 사용하여 공기층을 통하여 공급되는 에너지가 외부로 손실되는 것을 최소화시키고 온돌바닥을 통한 실내쪽에서의 에너지 취득을 최대화 되도록 하였다. 구조물을 통한 열손실보다 태양에너지에 의한 열 취득이 커지면 송풍기가 작동되어 취득된 열은 순환되면서 가열된 공기가 구조물에 열공급을 하며 가열된 구조물은 시간지연 효과를 가지고 바닥구조물에서 실내로 공급되게 된다. 따라서 기기의 작동시간동안에만 열공급이 되는데, 다시 말해서 팬의 작동시간동안에는 열적으로 최대가 되고, 비 작동시간에는 팬은 작동되지 않으며 터널은 그대로 방치되어 열공급이 안된다. 외기에 공급되는 일사량은 실측되었으며 투명단열 외피를 통과하는 직달 일사량 E는 유리의 일반적인 더러움을 고려할 때 다음과 같이 산정된다[6,7,8].

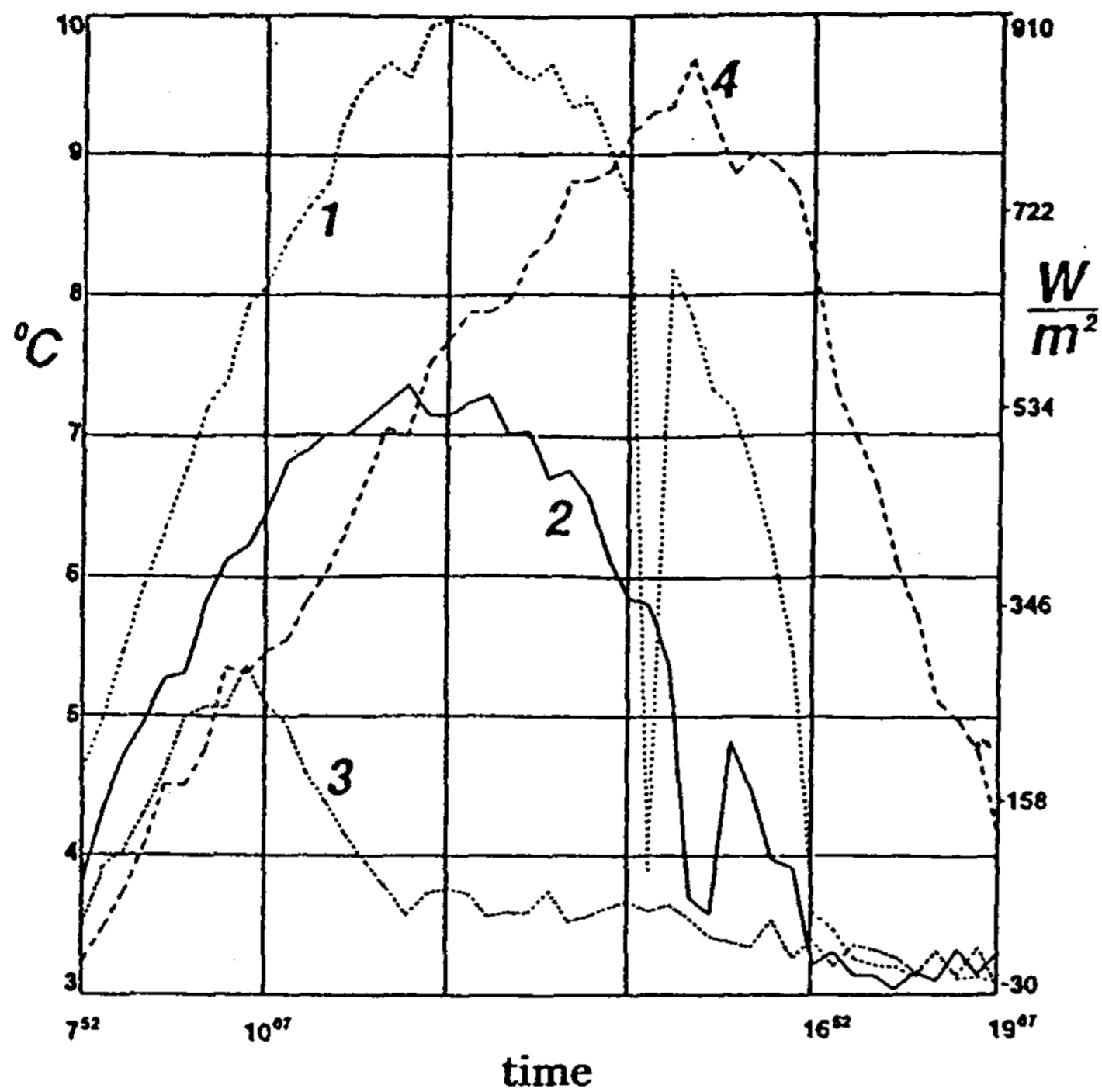
$$E = b * \exp(-a * \tan \alpha)$$

$$b = 0.5, a = 0.2 \quad \alpha = \text{광선의 입사각}$$

반사광선은 일반 집열기의 보호막(유리)을 통과하는 과정에서 통과율이 약 0.45 정도 약화된다[1].

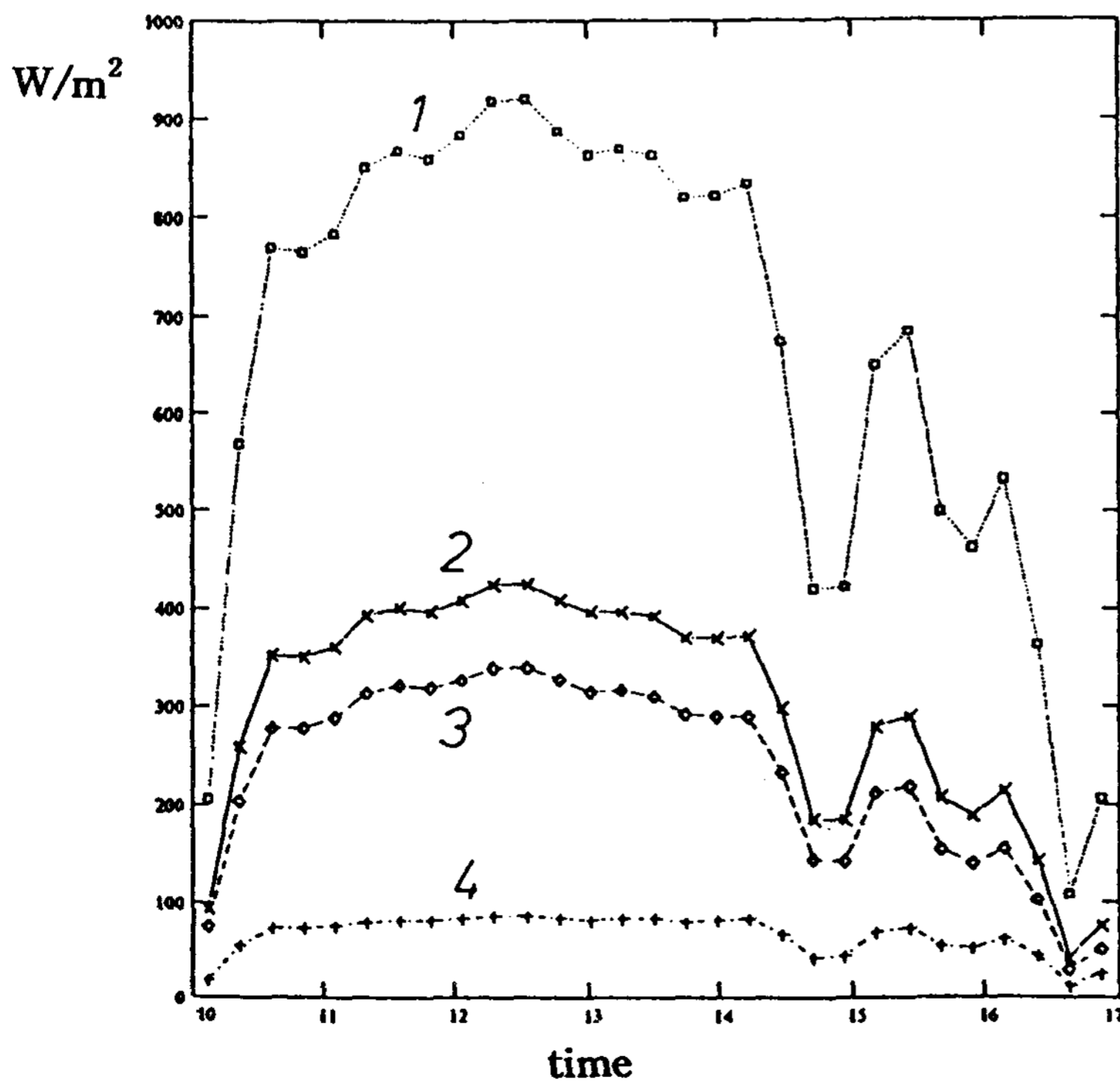
측정된 값의 Fourier 분해에 의해 우리는 일반

2) 임의 재료의 축열용량을 나타내기 위한 척도로 사용되며 열침투계수 = $\sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot C_p)}$ 로 표시될 수 있다. 여기서 λ =열전도율, ρ =밀도, C_p =비열을 말한다. (환경과학/이경희 302쪽 참조)



1. solar intensity on the south-wall ; $EV(t)$,
 2. horizontal solar intensity; E
 3. reflected solar radiation; E_d ,
 4. outdoor temperature T_e

Fig. 2.
 Measured outdoor temperature and solar intensity(Busan)



1. supplied solar intensity,
 2. passed solar intensity; q_S
 3. absorbed solar intensity on black coated surface ; q_{S1} ,
 4. absorbed solar intensity on transparent insulated wall ; q_{S2}

Fig. 3.
 Variation of the solar intensity on the collector

적인 방법에 따라 측정된 일사량 변화 (그림 2)를 (그림 3)과 같이 재구성된 취득일사와 구조물에 대한 일사부하의 변화표를 얻을 수 있다.

1999년 12월 18일 측정된 일사량과 비교하기 위해 남쪽으로 설치된 공기집열기에의 일사공급량을 팬 가동시간을 6.75 시간으로 하여 합산했을 때, $E_d = 82.28 \text{ kWh}$ 이며, 반면에 같은 날 태양광선이 비친 총시간 8.6시간 동안에 제공된 태양에너지는(일출부터 일몰까지) $E_b = 98.6 \text{ kWh}$ 에 달한다. 여기서 공기집열기는 송풍기 가동시간 6.75 시간동안 총일사량 $Q_{Sd} = AK * \int [q_{S1}(t) + q_{S2}(t)] = 36.76 \text{ kWh}$ 를 취득했으며, 반면에 태양광선이 비친 모든 시간동안에 공기집열기에 공급된 총 에너지 $Q_{Sb} = 42.10 \text{ kWh}$ 가 된다. 여기서 공급된 총 태양에너지에 대한 공기집열기에 취득된 총일사량 비율이 공기집열기의 에너지 취득계수 $C = Q_{Sd}/E_b = 0.45$ 가 산정될 수 있다.

3. 이론 계산

3.1 구조물의 온도

구조물의 온도 변화에 대한 측정이나 연구는 일정시간이 경과되어 변화폭이 최소화된 상태에서 시작하는 것이 일반적이다. 따라서 기후변화, 건물의 이용시간 등이 일정한 조건으로 오랜 시간동안 지속된다고 가정하면, 이 지속시간동안의 열이동은 정체된 상태에서의 열이동과 근접될 수 있다. 이와 같은 방법에 의해 일정시간동안 변화된 구조물의 온도 TBO가 정체된 상태에서 구조물의 에너지 평형 식으로부터 산출될 수 있다. 여기서 복합 구조물의 각각의 재료두께가 0.3m 이하라면 한 주기의 연속시간 γP 를 24시간으로 하여 서서히 변화된 온도변화의 상태가 하루 안에 근사값으로 산출되기에 충분하다[4].

터널 내부를 제외한 주변온도 $TU_1 = TR$ 이고 $TU_2 = T_{ed}$ 일 경우에 공기집열기의 구조물 온도

TBOK는 다음과 같은 식으로부터 계산될 수 있다[4].

$$TBOK = 1/(kK_1 + kK_2) * [QS/(\tau P * AK) + (WL/AK) * OLK * (\tau V/\tau P) + kK_1 * TU_1 + kK_2 * TU_2] \quad (1)$$

$$OLK = TLF_m - TLK_m$$

여기서 바닥터널은 태양광선에 노출되어있지 않으므로 주변온도 $TU_1 = TR$ 과 $TU_2 = TK$ 로 되어 바닥구조물의 온도는 다음과 같이 산정된다.

$$TBOF = 1/(kF_1 + kF_2) * [WL/AF * OLF * (\tau V/\tau P) + kF_1 * TU_1 + kF_2 * TU_2] \quad (2)$$

$$OLF = TLH_m - TLF_m$$

구조물의 온도는 터널내부 앞, 뒤쪽 면의 온도 T_1 과 T_2 의 평균값으로 여기서는 터널 내부의 평균 공기온도 TLO 를 말한다. 이 공기온도는 시간적으로는 주기의 연속시간 γP 와 공간적으로는 AK , AF , AH 의 면적에 의해 산정되었다. 터널 K 와 F 의 경우처럼 난방연계터널 H 의 구조물 온도도 산정 될 수 있다. 이 터널 벽은 모두 같은 열전도율 kH 를 갖고 있으며 주변온도 또한 모두 $TU = TR$ 이 적용될 수 있으므로, TBOH는 다음과 같다.

$$TBOH = (WL/kH * AH) * OLH * \gamma V/\gamma P + TU \quad (3)$$

$$OLH = TLK_m - TLH_m, \quad WL = V * \rho L * cL$$

또한 구조물 1번의 열관류율 k_1 과 구조물 2번의 열관류율 k_2 에 의해 연계터널 구조물의 열관류계수 k 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$k = 1/[(1/k_1) + (1/k_2)]$$

식 (1)부터 (3)에 의한 공기집열기와 연계터널 그리고 온돌바닥터널의 구조물 온도는 이 세 구

조물의 단면부분의 공기온도에 따라 결정되며, 이 구조물들의 온도는 또한 서로 상호관계에 놓여있기 때문에 이러한 6개의 온도들은 서로 연계된 연립방정식이나 간단히 반복적인 방법에 의해서 산정될 수 있으며 만약 주기적인 열량 변화가 나타난다면 시간 변화에 따른 그 때 그 때의 온도로 계산해야 할 것이다,

3.2 요철 형태의 열량변화

3.2.1 축열밀도

공기순환에 의한 열공급은 공급되는 열량의 평균값에 의해 터널 내부표면온도 T1과 T2를 상승시켜 다음과 같은 축열밀도가 성립되게 된다.

$$q1sp = Y1(t) * (TBO - T1), \quad q2sp = Y2(t) * (TBO - T2)$$

이 값들은 터널 내부표면에서 구조물의 열전도량 Y1(t)와 Y2(t)의 변화에 비례한다. 이것은 본 연구에서는 초기 부하로 가정하여 계산되었다. 즉 공기순환기기는 최소 하루동안은 작동하지 않은 상태에서 그 다음날을 대상으로 연구되었으며, 터널 내부표면에 접한 구조물의 면에서 대류 열전달계수 αc 에 의한 열침투계수 $\beta = b / \{ \alpha c * \sqrt{(t-tA)} \}$ 로 부터 복합구조물 층의 열전도양이 아래와 같은 근사식으로 정리될 수 있다[4].

$$Y(t) = b/2 * \sqrt{(\pi / (t-tA))} - \alpha c * (1 - \sqrt{\pi / 2}) \quad (4)$$

연구대상 구조물의 열전도량은 식 (4)에 의해 계산이 가능하다. 단지, 한 개의 층이 예외였는데 그것은 1번 구조물의 '가'이며, 이 층은 두께가 너무 얇아 팬이 가동되는 동안 온도변화가 단열층 뿐만 아니라 지지구조물 층에까지 일어날 정도로 열이 이동되었다. 이 경우의 전도계수는 요철형태의 열량변화에서 고유값의 산정방법에 의해 계산될 수 있지만 여기서는 그 형태가 너무 복잡하여, 이를 위한 고유값 산출은 너무 다루기가 어렵다. 따라서 여기서는 [7]의 Goetzberger의 근사 식으

로부터 공기집열기의 뒷벽의 열전도양 Y1K(t)는 다음과 같이 산정되었다[7].

$$Y1K(t) = b/2 * (t-tA)^{0.11} * \sqrt{\pi / (t-tA)}, \quad (b=4.15) \quad (5)$$

3.2.2 팬 작동 시간 공기집열기 터널내부의 온도
터널내부의 구조물 1과 구조물 2의 표면온도 T1과 T2는, 축열과정이나 터널 내부공기의(온도 = TL) 대류에 의한 열교환 없이, 온도차 TL - T1 혹은 TL - T2에 비례해서 영향을 받게 되며, 이 표면온도는 또한 구조물의 표면온도차 T2 - T1 혹은 T1 - T2에 비례해서 혹은 주변과의 온도차 TR - T1, Ted - T2에 비례하여 복사에 의한 열교환에 의해서도 영향을 받게된다. 따라서 이러한 양쪽 터널면의 각각에 설정되는 에너지 평형에서 면의 온도 T1과 T2를 위한 연립방정식이 다음과 같이 성립되게 된다.

$$\begin{aligned} M1(t) * T1 - \alpha r * T2 - \alpha c * TL - LU1(t) &= 0 \\ M2(t) * T2 - \alpha r * T2 - \alpha c * TL - LU2(t) &= 0 \\ LU1(t) &= qS1(t) + Y1(t) * TBO, \\ LU2(t) &= qS2(t) + Y2(t) * TBO \\ M1(t) &= \alpha c + \alpha r + Y1(t), \\ M2(t) &= \alpha c + \alpha r + Y2(t) \end{aligned} \quad (6)$$

또한 구조물 1과 2에서 공기로 전달되는 에너지흐름 밀도 q1(t) 와 q2(t)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} q1(t) + q2(t) &= E(t) - B(t) * TL(t); \\ E(t); \text{일사량}, B(t); \text{열취득계수} \end{aligned}$$

그리고 미분면 dA에 대한 에너지평형에서 다음과 같은 미분방정식이 산출된다.

$$dTL/dA = 1/(WL * FZ(t)) * [E(t) - b(t) * TL]$$

요철 형태의 급격한 열량변동에 따라 공기집열기의 터널로부터 배출되는 공기온도 TL2s(t)는 터널로 공급되는 공기온도 TL1에 따라 다음

과 같다.

$$TL2s(t) = TL1 + FL(t) * FD(t) \quad (7)$$

$$FL(t) = E(t)/B(t) - TL1,$$

$$FD(t) = 1 - \exp[-B(t) * AK/WL]$$

3.2.3 바닥터널의 온도

바닥터널온도는 식 (7)의 공기집열기에서와 같이 계산될 수도 있다. 그러나 요철형태의 급격한 열량변화에서 공기집열 터널에서와는 달리 바닥터널 온도변화는 구조물의 축열에 의해 차이가 나타나며 또한 바닥터널은 외부로부터 어떤 광선에 의한 에너지가 들어오지 않으므로 식 (6) 대신에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$LU1(t) = Y1(t) * TBO, LU2(t) = Y2(t) * TBO$$

3.2.4 터널 H의 온도

공기 집열기로부터 배출되는 공기는 바닥터널까지 수평, 수직으로 연결된 터널(H)을 통해 흐르게 된다.(그림 1). 공기 터널벽들은 단열재로 단열 되어 있고 터널벽은 열적으로 동일하게 구성되었기 때문에 이들 사이에서는 어떠한 복사열교환도 이루어지지 않게 된다. 따라서 이곳에서의 열취득계수 $B(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B(t) = (\alpha c * Y(t)) / (\alpha c + Y(t))$$

열량변화는 오직 공기집열기에서 배출되는 시간 변화에 따른 결과이며 이 값의 평균값이 난방 연계터널의 공급 온도 $TLKm$ 이 된다. 여기서 요철 형태의 열량변화에서 난방 연계 터널로부터의 배출온도는 식 (7)로부터 다음과 같은 근사식이 나타난다.

$$TL-Hs2(t) = TLKm + (TBO-H - TLKm) * FD(t)$$

4. 실측과 이론계산의 비교

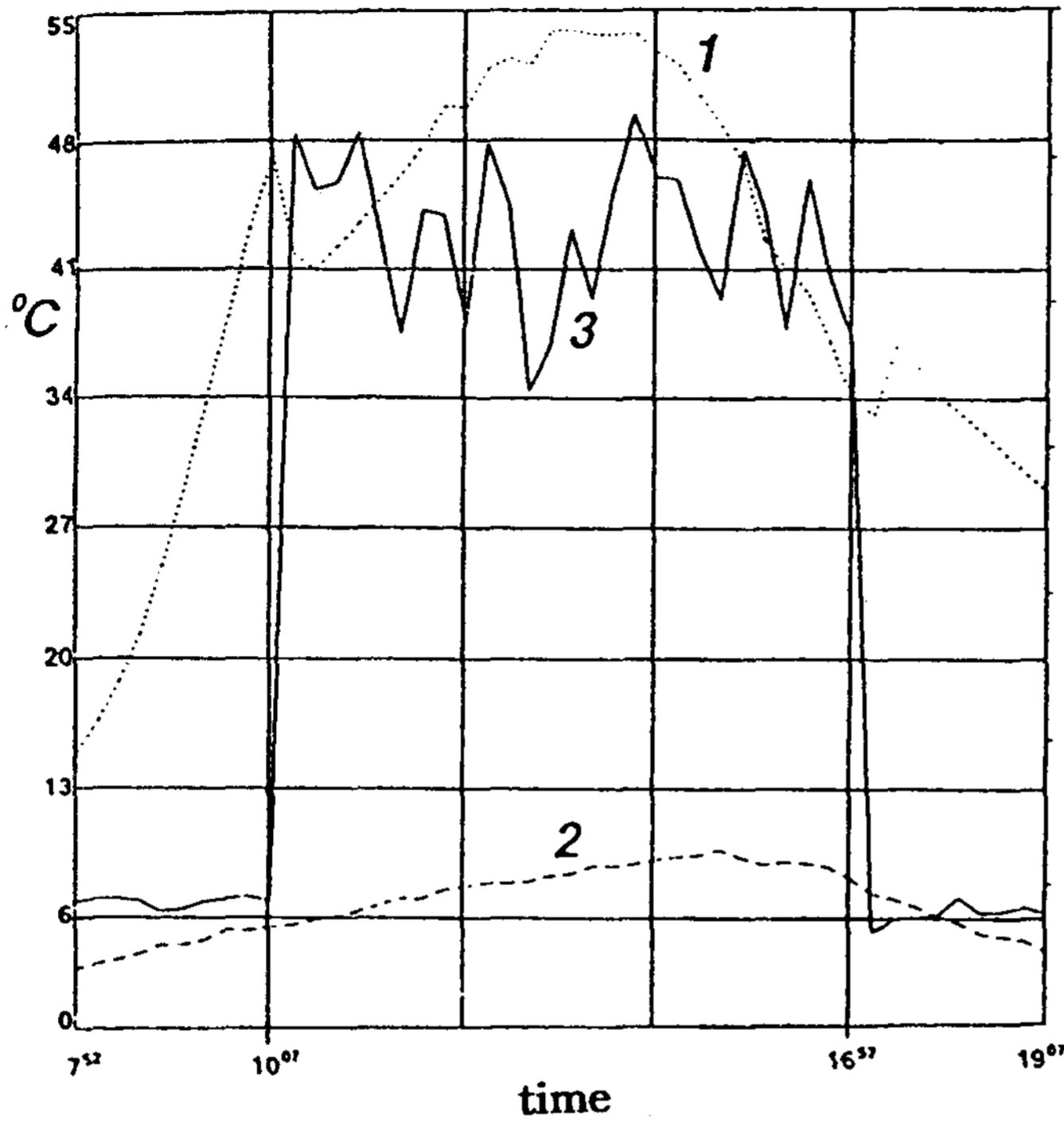
이론계산 방법의 검증을 위해 실측과 이론계산이 비교되었다. 여기서 구조물의 온도 TBO는 3.1의 이론 계산에 의한 것이 아니고, 실측에 의한 온도가 적용되었다. 실측하는 동안 순환된 공기의 양 $V = 6 \text{ m}^3/\text{h}$, 팬의 작동시작시각 $tA = 10:07$, 작동 종료시각 $tE = 16:57$, 이므로 팬 작동시간 $\tau V = 6.75$ 시간에 달한다. 실측된 시설물의 내부 공기온도 $TR = 20^\circ\text{C}$, 바닥 온도 $TK = 12.5^\circ\text{C}$, 그리고 평균 외기온도 $Ted = 6.5^\circ\text{C}$ 였다. 실측은 Therm 3280을 이용하여 설치된 센서(그림 1 표시)와 연결되어 컴퓨터에 의해 저장, 출력되었다. 맑게 개인 99년 12월 18일 의 외기조건에 의해 측정된 터널 K, H, F의 공기 배출온도를 비교하면 (그림 2) 및 다음 (그림 4)와 같다.

4.1 공기집열기

태양광선은 공기집열기의 수열면에서 열로 변하여 수열면의 온도를 상승시키고 가열된 수열면은 주변공기의 온도를 상승시키게 되므로 터널 내부에서 수열면의 표면온도는 내부 공기온도보다 항상 높게 나타나고 있다(그림 6). 또한 집열기의 터널에서 배출되는 부분에서는 공기온도와 표면온도의 차가 매우 적게 나타나게 된다. 실측된 99년 12월 18일에는 공기의 온도가 약 50°C 까지 상승하고 표면온도는 구조물 1에서 약 70°C , 구조물 2에서 약 60°C 까지 상승하였다.

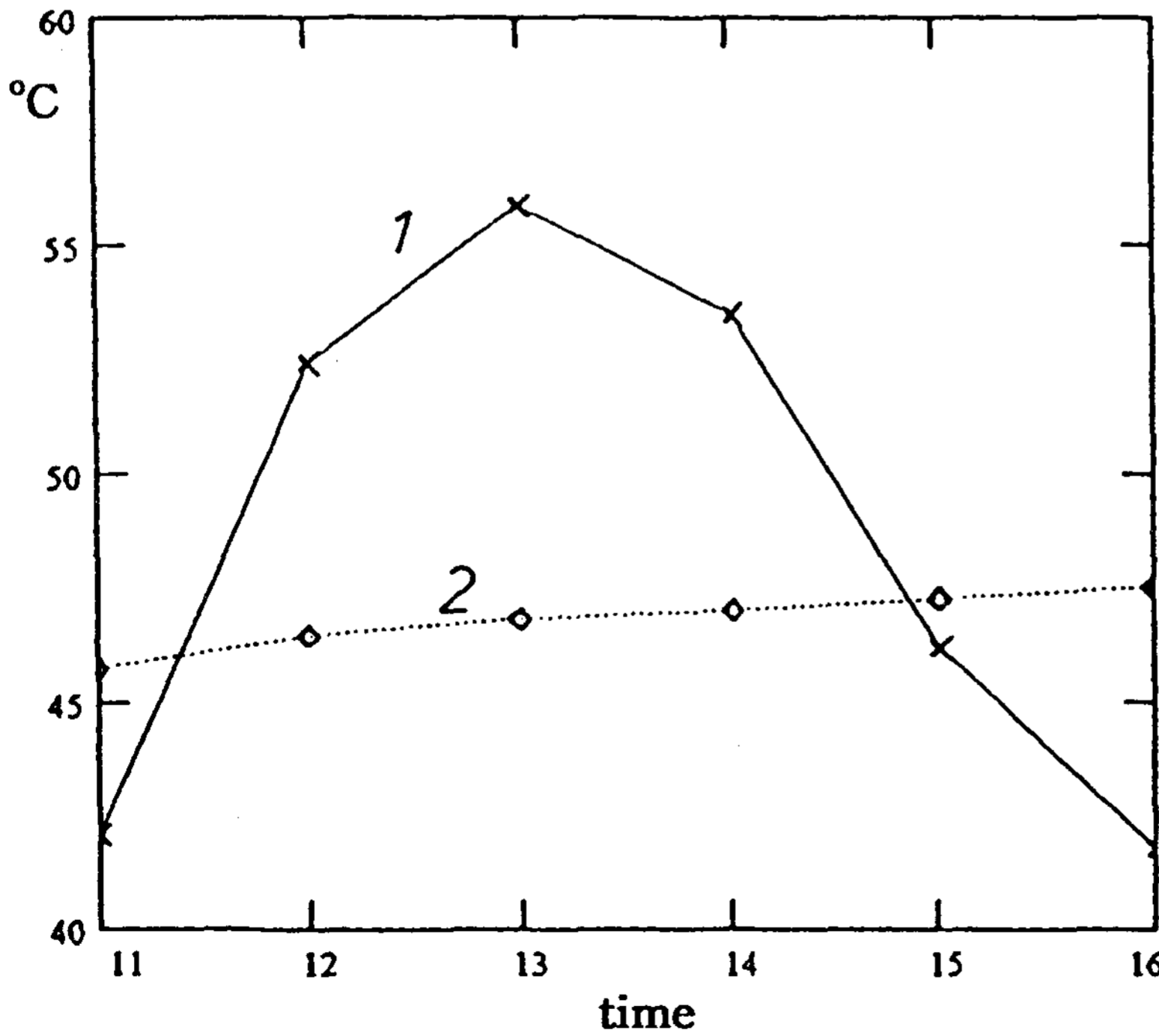
이론계산에 의한 집열기의 배출온도와는 오차가 약 $\leq \pm 3K$ 이므로 집열기에서의 온도상승 약 8% 보다 훨씬 적은 오차가 나타난 것이다(그림 7 참조).

난방연계터널이나 바닥터널에서도 실측온도와 계산온도가 거의 일치한다는 것이 확인될 수 있었고, 혹 작은 오차가 발생하는 경우에도 위와 같은 작은 오차는 무시되도 좋은데, 그 이유는 측정 불가한 것들이 작용하기 때문이다. 측정불가한 것



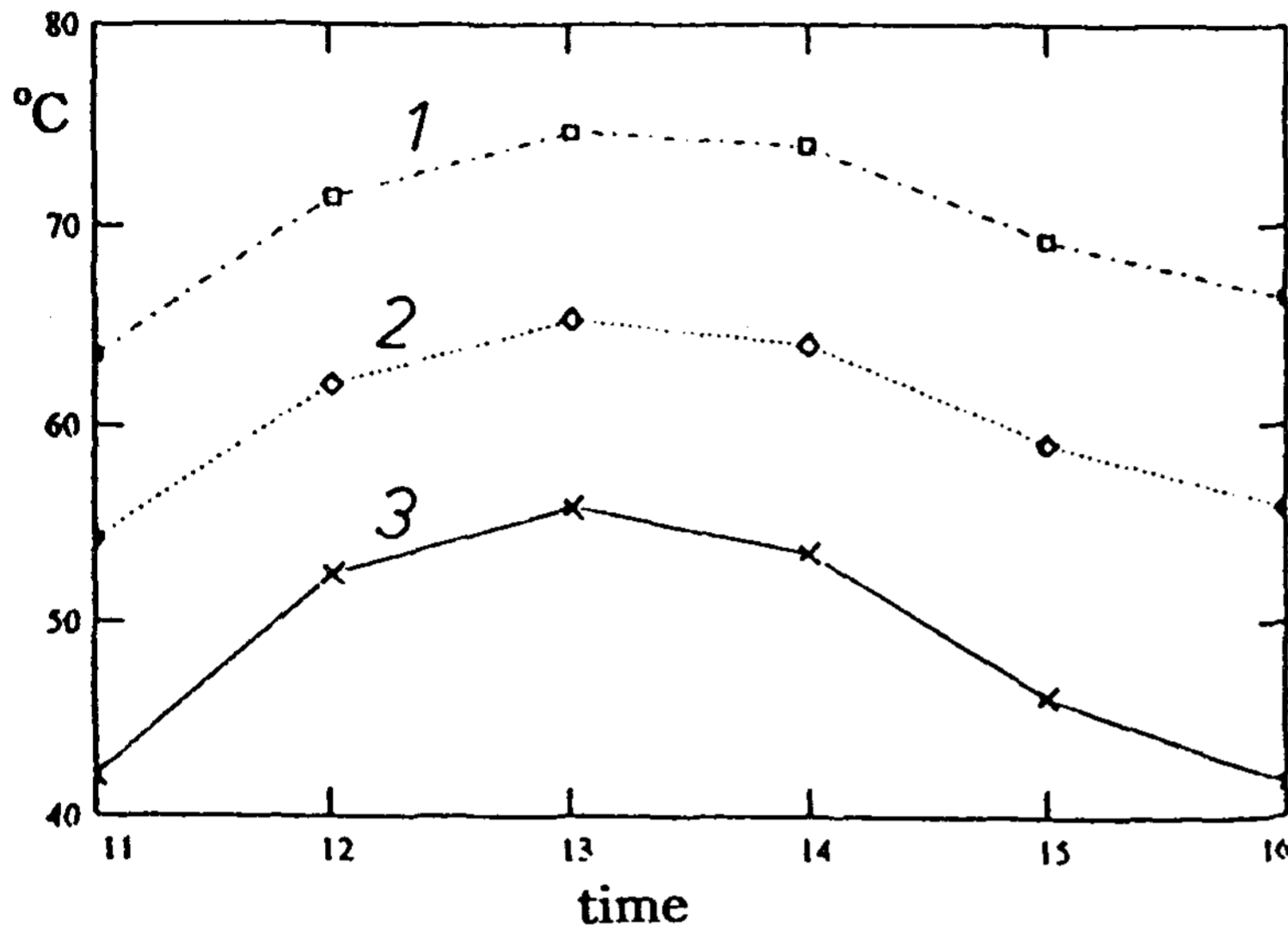
1. outlet temp. in collector,
2. outdoor air temp.,
3. circulated air temp.

Fig. 4.
Measured air temperature



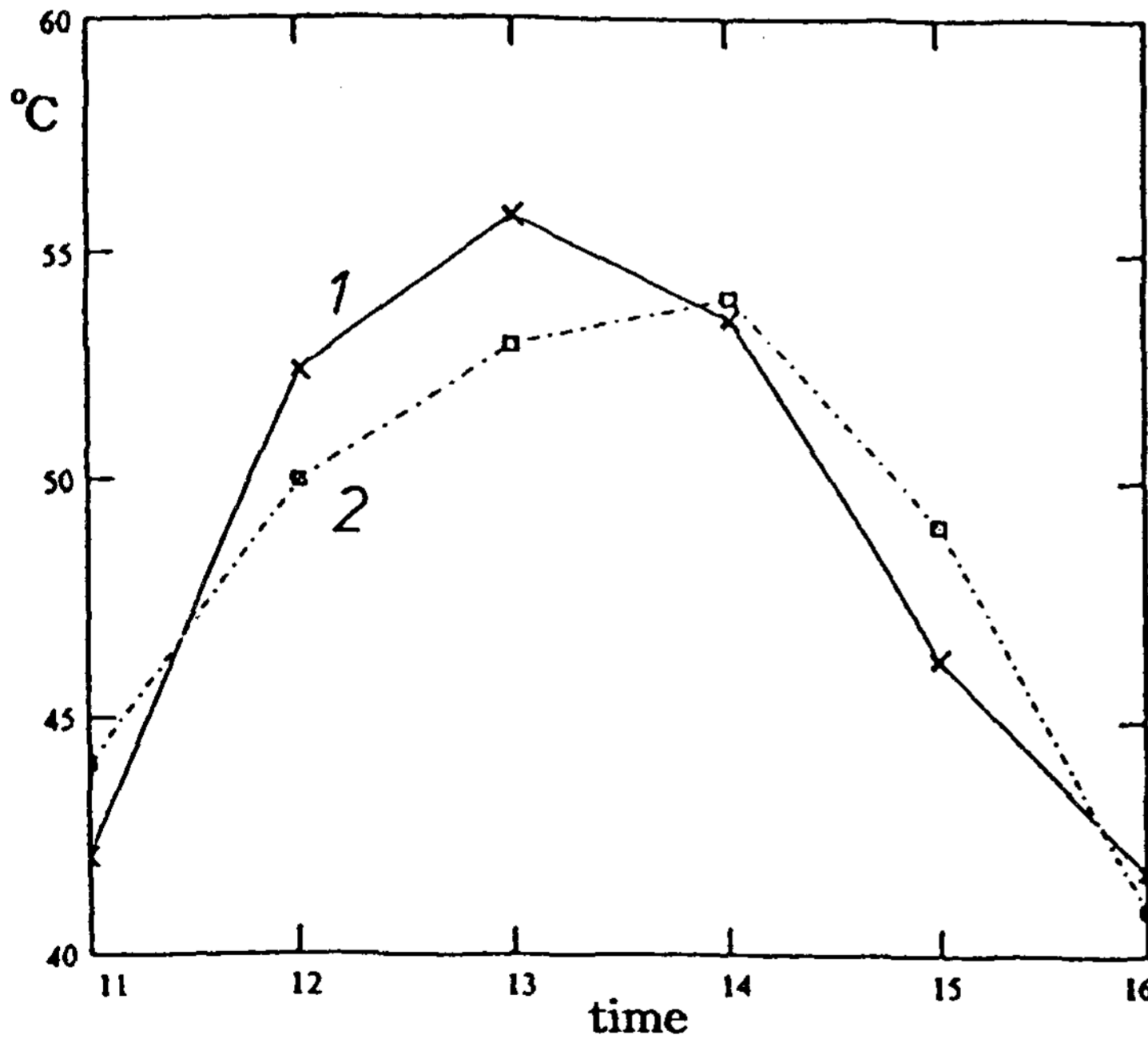
1. outlet temp. from collector
2. circulated air temp. from the
under floor duct

Fig. 5.
Outlet temperature in the
collector



- 1. temperature of the black-coated surface in collector
- 2. inside surface temp. of the transparent insulated wall
- 3. air temp. in collector

Fig. 6. Temperature variation in the collector after air-circulation



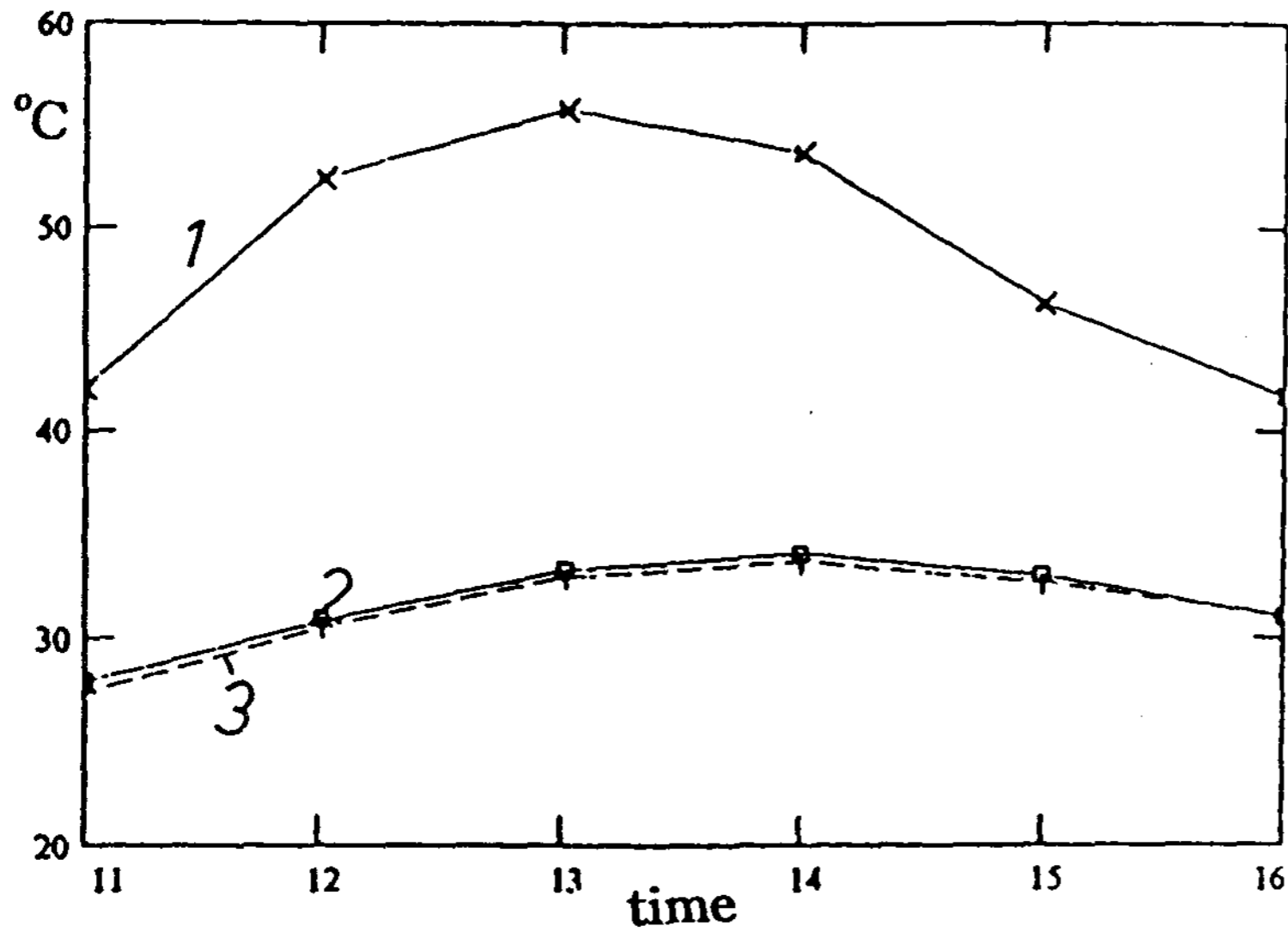
- 1. simulated
- 2. measured

Fig. 7. Outlet temperature

들이란 유리면의 더러워짐과 유리면의 결로(특히 아침에 많이 볼 수 있음), 추적되기 어려운 계획 도면에 따르지 않은 불량 시공 그리고 집열터널의 기밀성 등을 말한다.

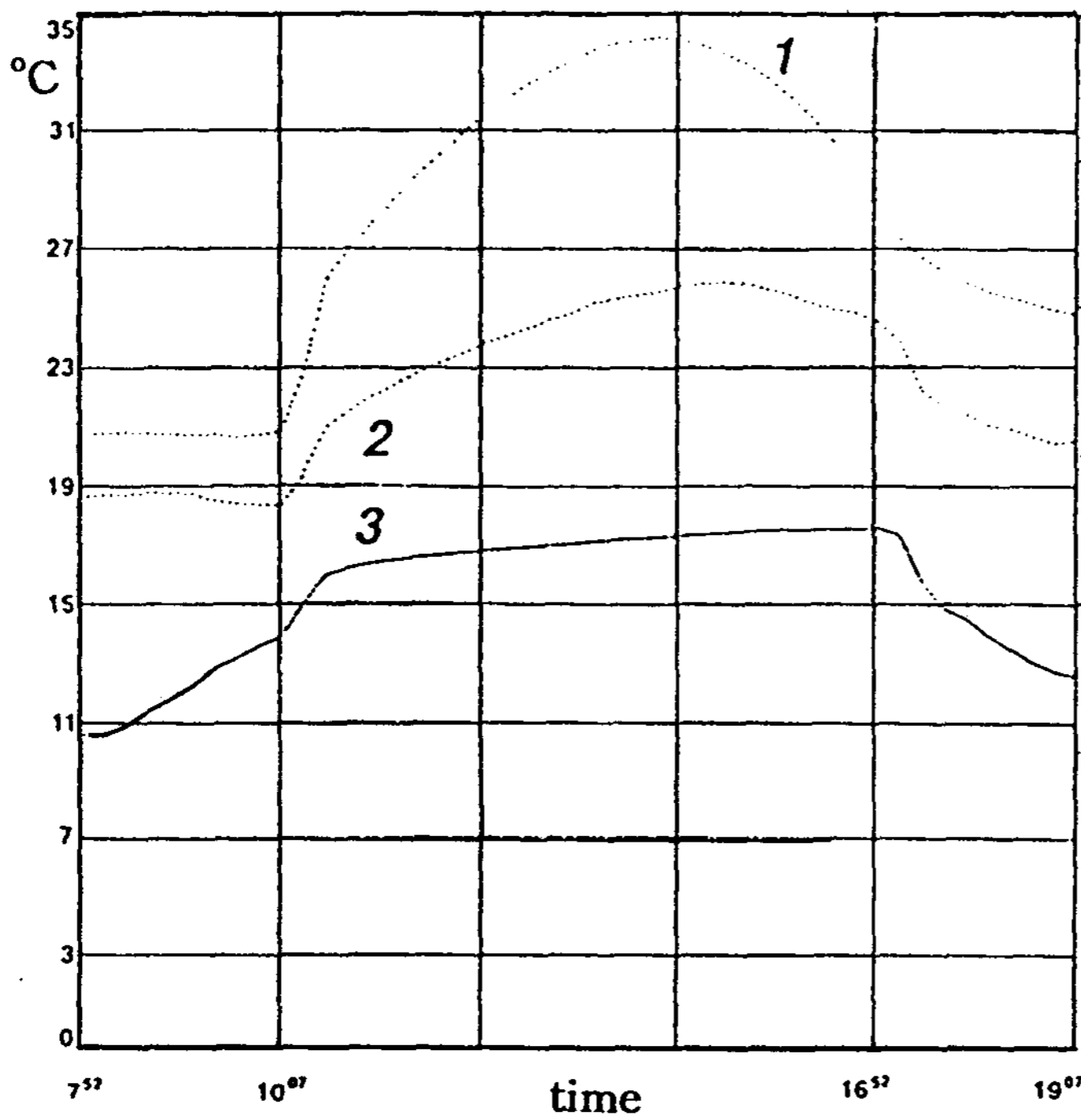
4.2 난방 연계터널 H

그림 8에서 보듯 측정값과 계산값이 ±1K 범위 내에서 일치하고 있음을 알 수 있다.



- 1. outlet temperature from collector
- 2. measured outlet temp. in the floor duct
- 3. simulated outlet temp. in the floor duct

Fig. 8.
Air temperature in the air duct



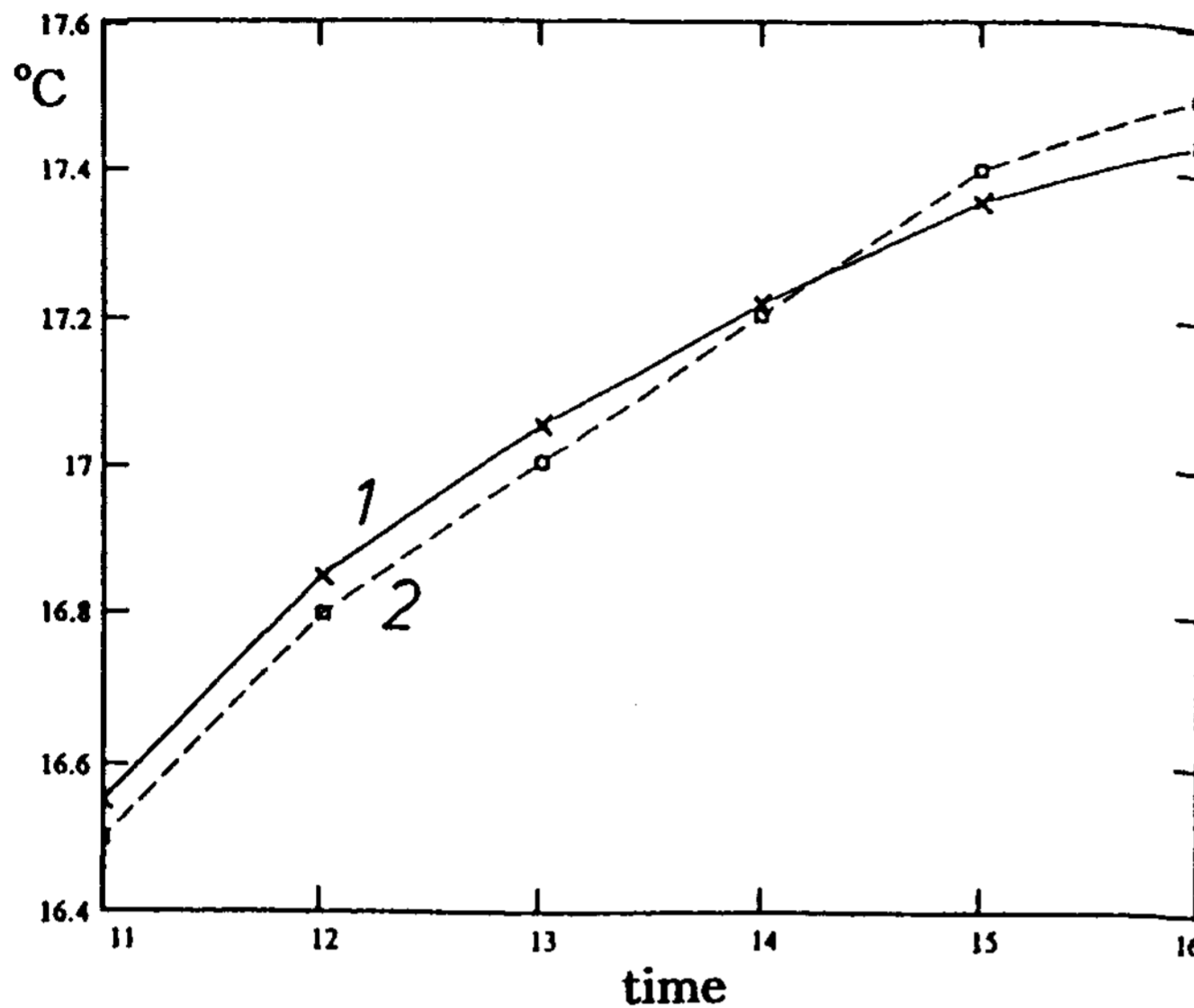
- 1. inlet temperature in the floor duct
- 2. middle temperature
- 3. outlet temperature from the floor duct

Fig. 9.
Measured temp. of the under floor heated duct

4.3 바닥터널 F

그림 9는 측정된 터널유입온도, 터널중간의 공

기온도 그리고 터널출구온도의 변화를 보여준다. 계산된 출구온도 곡선과 실측 온도곡선이 매우



1. simulated
2. measured

Fig. 10.
Outlet temperature of the
under floor heated duct

일치되는 것을 알 수 있다(그림 10) - 오차는 1/10도 범위내에 놓인다. 여기서 평균 배출온도는 약 17°C로 나타나는데 이 온도의 공기가 공기집열기로 순환되게 된다. 바닥터널에서 순환되는 열량은 공급온도에 따라 지속적으로 변화하며 이것의 변화폭은 $\pm 3K$ 미만이다. 그림 10에서 시간의 흐름에 따라 출구온도가 상승함을 볼 수 있는데 이것은 바닥의 출구온도가 복합구조물을 통한 열 전도양 $Y(t)$ 는 시간변화에 따라 달라지는데, 시간이 지남에 따라 구조물로의 축열이 감소하기 때문이다.

5. 결 론

태양에너지를 보다 효과적으로 이용하여 난방 에너지를 절약하기 위한 투명단열 벽체에서 본 논문에서와 같이 환기구를 설치하여 집열된 에너지를 분산 축열 후 전도에 의한 바닥 온도에 의한 분배 시스템을 적용한 결과의 결론은 다음과

같다.

1. 집열 부분의 수열면의 온도가 70도 이상 상승되지 않았다. 이것은 구조물의 형태변화와 열손실 면에서 매우 긍정적인 결과라고 할 수 있다.
2. 공기집열기의 측정에서 측정이나 계산 불가능 항목(유리의 오염, 불량시공 등)이 있는데도 불구하고 실측과 계산결과의 오차가 매우 작게 나타나고 있어 실측에 의하지 않고도 이론 계산에 의해 공기 집열기에 의한 취득열량 등이 산출될 수 있어 투명단열을 이용한 공기집열기의 건물난방계산에 이용될 수 있을 것으로 나타났다.
3. 실측과 이론계산결과 공기 집열기에 의해 집열되어 건물에 공급된 태양열중 바닥터널에서 약 12K 정도의 온도차가 발생되었으며, 난방연계터널에서 약 20K 정도의 온도차가 발생되어 지붕과 거주공간으로 많은 열이 수송 도중 소비되었음을 알 수 있었다. 그러나 이 두 가지, 즉 난방연계터널로부터 소비된 열이나 바

닥터널로부터 소비된 열 모두 건물의 난방에 기여하였다는 것은 자명한 일이다. 이와 같은 결과는 또한 일반 투명단열을 이용한 벽패널 방식에 비해 취득된 에너지의 손실량이 적고, 과열의 문제가 해결되며, 기후 변화에 대한 실내온도 변화폭이 일정시간 동안 급격하게 변화하지 않는다는 장점이 있어 앞으로 좀더 축열체의 재료를 다양화하여 연구해 볼 가치가 있는 것으로 사료된다.

6. 관계 문헌 및 자료

1. Dielitzsch, C : Umwelthaus 2000. Schlussbericht
2. Petzold, K. : Unmittelbare Nutzyng von sonnenenergie zur Heizung von Gebaeden. 1992, H.4
3. Trombe, F : Raumlufftemperatur. 2.Auflage, Berlin, 1983
4. Schmid, J. : Transparente Wärmedämmung-Energiehaushalt von Bauten-In : Arcus 14, Koeln, 1994
5. Balk, W. : Fassadenintegrierte Solarmodule, In Sonnenenergie(Feb. 1991),
6. Braun, P. O. : Niedrigenergiehäuser, In : Sonnenenergie Heft 2, 1992. 4
7. Goetzberger, A. : Transparente Wärmedämmung, In:Sonnenenergie 17 Heft 2, 1992. 4
8. Hilbig, G. : Das thermische Verhalten partiell transparenter Waende, In : Bauphysik 13 (1991), Heft 6
9. Hullmann, H. : Rarionelle Energieverwendung in Gebaeden, In : Beton- Und Fertigteiljahrbuch, 1992
10. Jesch, L. : Proceeding of the 5th International Meeting on Transparent Insulation Technology, Freiburg, 1992

11. 이성 : Anwendung transparenter Waermedaemmung Hannover, Universitaet Hannover, Institut fuer Industrialisierung des Bauens, Diss., 1993

7. 부록(부호설명)

- K ; 공기집열기
- U ; 순환공기
- H ; 난방연계터널
- F ; 바닥터널
- R ; 실내태양열 취득양
- A ; 면적
- γV ; 환기팬 작동시간
- γA ; 환기팬 정지시간
- E ; 일사량
- Ed ; 취득 일사량(팬작동시간을 6.75h로 가정)
- Eb ; 총에너지 공급량(일출 - 일몰)
- QSD ; 공기집열기의 태양에너지 취득량(6.75 h)
- QSB ; 공기집열기로의 태양에너지 공급량
- C ; 공기집열기의 에너지 취득계수
- TBO ; 일정시간 후 변화된 구조물의 온도
- γP ; 한주기의 연속시간
- TUI ; 내부구조물의 온도
- TR ; 실내공기온도
- TU2 ; 외부구조물의 온도
- Ted ; 일평균 외기온도
- TLFm ; 평균 공급온도
- TLKm ; 평균 배출온도
- OLK ; 평균 공급과 배출의 온도차(TLFm - TLKm)
- Te ; 외기온도
- qS ; 공기집열기에 공급된 일사량 [W/m²]
- qS1 ; 수열면에서의 일사취득량
- qS2 ; 투명단열외피에서 열로변해 흡수된 일사량
- WL ; 순환공기의 열용량
- V ; 순환공기량

q_{1sp} ; 1번구조물에서의 축열밀도

q_{2sp} ; 2번 구조물에서의 축열밀도

$Y_1(t)$; 1번 구조물에서 시간 t 에 따른 열전도양

t ; 시간

$Y_2(t)$; 2번 구조물에서 시간 t 에 따른 열전도양

k ; 열관류계수