

# 온돌의 열효율에 관한 실험적 연구

배 순 훈\* · 강 신 형\*

An Experimental Study on the Thermal Efficiency of the Ondol House Heating System

Soonhoon Bae and Shin-Hyoung Kang

## Abstract

Most Korean houses are heated by the Ondol heating system. There has been, however, no reasonable design procedure available yet for the system. The conventional design should be improved to have a uniform floor surface temperature distribution and to have a high thermal efficiency.

Thermal efficiencies of the ondol were defined and the method of experimentation was studied. An experiment, using a life-size model which was well insulated, was performed to observe the variation in thermal efficiency as the length of fuel burning time was varied.

## 서 론

온돌의 열효율은 다른 현대식 난방방식의 열효율에 비하여 상당히 낮다는 것이 지적되어 왔다. 그러나 종래의 연구에서 각 연구자에 따라 열효율의 정의가 조금씩 다르게 사용되어 왔다. 더구나 실제로 열효율을 정확히 측정하는 것은 무척 힘든 일이다. 이는 온돌의 구조가 복잡할뿐만 아

니라 유독개스가 전체 시스템으로 볼때 차연 통기되고 있기 때문이다. 더구나 열전달량과 연소개스의 온도는 외기의 조건, 땅속의 조건 및 연소 조건에 따라 비정상(unsteady) 내지 정상주기적(steady periodic)상태로 변화하기 때문이다. 그래서 본 연구에서는 열효율을 다시 정의하고 이에 따른 열효율을 측정하였다. 또 고래표면적을 줄이고 고래와 측벽의 보온을 거의 완전한 한

## < 기 호 설 명 >

$A$ 고래의 면적	$m^2$	$T_a$ 외기의 온도	$^{\circ}C$
$b$ 고래의 폭	$m$	$T_{in}$ 고래입구 개스온도	$^{\circ}C$
$c_p$ 공기의 정압비열	$Kcal/kg \cdot ^{\circ}C$	$T_{out}$ 고래출구 개스온도	$^{\circ}C$
$k_{in}$ 고래입구 공기의 엔탈피	$Kcal/kg$	$T_R$ 실내온도	$^{\circ}C$
$k_{out}$ 고래출구 공기의 엔탈피	$Kcal/kg$	$t_p$ 연탄의 연소주기	hour
$L$ 고래의 길이	$m$	$U$ 열전달계수	$Kcal/m^2hr \cdot ^{\circ}C$
$Q_g$ 고래바닥에서 열손실	$Kcal$	$W$ 연소가스 유량	$kg/hr$
$Q_{in}$ 고래내로의 유입열량	$Kcal$	$\eta_c$ 온돌의 열효율	
$Q_{out}$ 고래출구에서 배기열량	$Kcal$	$\eta_s$ 아궁이의 열효율	
$Q_p$ 고래측벽에서 열손실	$Kcal$	$\eta$ 온돌시스템의 열효율	
$Q_s$ 연탄의 발열량	$Kcal$	$\xi$ 식(9)로 정의	
$Q_w$ 방바닥에서 열전달량	$Kcal$	$\theta$ $\theta \equiv T - T_R$	$^{\circ}C$
$4Q$ 고래 구조물의 열 흡수량	$Kcal$		

\* 韓國科學院

너지 절약형의 개량온돌을 축조하여 연탄의 연소 기간을 바꾸어가면서 온돌의 열효율이 어떻게 변화하는가를 측정하였다. 또한 이를 통하여 온돌의 열효율이 실제적으로 얼마까지 증가 시킬 수 있는가를 연구하였다.

열 효 율

1. 열효율의 정의

그림 1의 단순화한 온돌의 모델에 열유동현상을 나타내었다. 공기입구 AB를 통하여 흡입된 공기는 연소통 BC의 연탄연소에 의하여  $Q_s$ 만큼의 열량을 얻는 반면  $Q_l$ 의 열손실이 있게된다. 그래서 연소개스는 온도  $T_{in}$ 으로 유도관 CD를 통하여 고래내로 유입된다. 고래 DE를 지나면서 구들을 통하여 방 안으로  $Q_u$ 의 열전달이 이루어져 난방에 이용된다. 한편 고래 바닥에서  $Q_g$ , 고래의 측벽을 통하여  $Q_p$ 의 열손실이 있고 고래 구조물의 열 흡수에 의하여  $\Delta Q$ 의 열손실이 있게된다. 그래서 결국  $T_{out}$ 의 온도로 냉각되어 굴뚝으로 배기된다. 이때 굴뚝으로 배기되는 열량을  $Q_{out}$ 이라 하고 이는 굴뚝 EF를 통하면서 통기력을 생기게 한다. 위에서 서술한  $Q_s, Q_u, Q_g, Q_p, \Delta Q, Q_{out}$ 을 세부적으로 표 1에 나타내었다.

여기서 온돌의 열효율을 다음과 같이 세가지로 구분하여 정의한다.

$$\text{온돌열효율}(\eta_c) \equiv \frac{\text{방바닥에서 방열량}(Q_u)}{\text{고래내로 열 유입량}(Q_{in})} \quad (1)$$

$$\text{아궁이 열효율}(\eta_s) \equiv \frac{\text{고래내로 열 유입량}(Q_{in})}{\text{연탄의 발열량}(Q_s)} \quad (2)$$

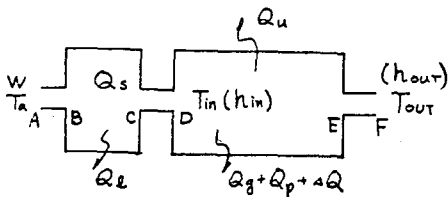


그림 1. 온돌에서 열유동 현상

표 1. 온돌에서 각종 열전달량 및 열 손실량

구분	부호	내 용
아궁이	$Q_s$	* 연탄의 발열량
	$Q_l$	* 아궁이 주위의 땅속으로의 열 손실량 * 아궁이 덮개에서 외기로의 열 손실량 수분의 증발에 의한 열 손실량 불완전 연소에 의한 열 손실량 미연소에 의한 열 손실량 탄재의 흡수열량
온 돌 체	$Q_u$	* 구들을 통해 방안으로의 열 전달량
	$Q_g$	* 고래바닥을 통해 땅속으로의 열 손실량 수부의 증발에 의한 열 손실량
	$Q_p$	* 고래측벽을 통한 열 손실량
	$\Delta Q$	* 고래내의 구조물에 흡수되는 열량
굴 뚝	$Q_{out}$	* 배기 열 손실량

\*는 정량적으로 중요한 항임

씨스템 열효율( $\eta$ ) ≡

$$\frac{\text{방바닥에서 방열량}(Q_u)}{\text{연탄의 발열량}(Q_s)} \quad (3)$$

식 (1)과 식 (2)에서 다음의 관계가 있다.

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_c \quad (4)$$

2. 열효율의 측정

위의 식(1), 식(2), 식(3)의 열효율을 산출하기 위해서는  $\dot{Q}_s, \dot{Q}_{in}, \dot{Q}_u$ 를 정확히 측정하여야 한다. 여기서  $\dot{Q}_{in}$ 을 측정하기 위해서는 유량을 측정하여야 하는데 유량이 매우 적어서 측정이 매우 힘든 일이다. 따라서 다른 방법을 생각한다. 고래내에서 순간 열평형을 고려하면

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_u + \dot{Q}_g + \dot{Q}_p + \Delta \dot{Q} + \dot{Q}_{out}$$

이 된다.

한편 전체 씨스템에 흐르는 유량과 정압비열이

일정하다고 보면

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{Q}_{out}} = \frac{h_{in}}{h_{out}} \quad (6)$$

엔탈피를 온도로 표시하면

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{Q}_{out}} = \frac{T_{in} - T_a}{T_{out} - T_a} \quad (7)$$

여기서 參上點은 각 열전달량에 해당되는 시간에 대한 변화량을 의미하고  $h$ 는 엔탈피이다. 식(5)와 식(6)에서  $\dot{Q}_{out}$ 을 소거하여 정리하면

$$\dot{Q}_{in} = \frac{\dot{Q}_u + \dot{Q}_b + \dot{Q}_g + \Delta\dot{Q}}{\left(1 - \frac{T_{out} - T_a}{T_{in} - T_a}\right)} \quad (8)$$

이 된다. 따라서  $\dot{Q}_u, \dot{Q}_b, \dot{Q}_g, \Delta\dot{Q}, T - T_a,$

$T_{out} - T_a$ 를 측정함으로써 열효율을 계산할 수 있다. 실제 온도의 경우 위의 각항은 비정상 내지 정상주기적으로 변하고 있으므로 한주기 동안 시간에 대한 적분 값으로 계산하여야 한다. 한편 여기서  $\Delta\dot{Q}$ 는 한주기동안 적분하면 무시할 수 있을 정도로 작다. 또 방습을 잘 한다고 하면  $Q_u$ 는 연탄의 발열량,  $\dot{Q}_u$ 는 아궁이에서 각종 열손실,  $Q_u$ 는 방표면에서 열전달량,  $Q_b$ 는 땅속으로의 열손실량,  $Q_g$ 는 고래 측벽을 통한 열손실량으로 보고 다른 열량들은 무시해도 된다.

$$\xi = 1 - \frac{\int_0^{t_b} (T_{out} - T_a) dt}{\int_0^{t_b} (T_{in} - T_a) dt} \quad (9)$$

라고 놓으면 식(1), 식(2), 식(3)은 각각 다음과 같이 된다.

$$\eta_c = \frac{Q_u}{Q_u + Q_b + Q_g} \xi \quad (10)$$

$$\eta_s = \frac{Q_u + Q_b + Q_g}{Q_u} \xi \quad (11)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (12)$$

여기서  $t_b$ 는 연탄 한개의 연소기간이다.

## 실험 장치

### 1. 실험가옥

실험가옥은 온돌개량 연구용으로 한국과학원 내에 540×640cm의 크기로 축조하였다. 이 가옥

은 8인치 시멘트 블럭으로 축조하였고 내벽은 1cm 두께의 몰탈로 발랐다. 천장은 3mm 두께의 합판이고 지붕은 일반 주택용 스페이트판이다. 가옥의 평면도를 그림 2에 나타내었다. 방 사이에 마루가 있고 각 방에는 120×80cm의 이중 유리창과 82×180cm의 방문이 있다.

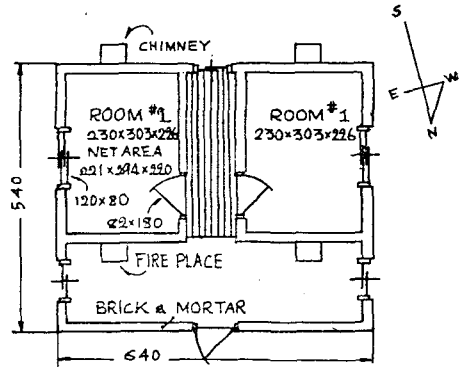


그림 2. 실험가옥의 평면도

### 2. 방과 온돌의 구조

그림 2의 방 # 2를 실험에 사용하였다. 외벽과 천장은 두께 6cm로 내벽은 두께 3cm의 스티로폴로 보온하였다. 여기서 방의 크기는 221×294×220cm이 되었다. 환기에 의한 난방부하를 제외하면 보온을 하지 않을 경우 난방부하의 23% 밖에 되지 않는다. 여기서 보온을 한 이유는 실험할 때 난방부하의 조절은 환기량에 의하여 조절하기 위함이다.

고래의 평면도를 그림 3에 나타내었다. 전체적으로 볼때 축조한 고래는 줄고래 형식으로 개자리가 있고 화구의 위치가 방의 중앙에, 굴뚝의 위치가 아궁이와 맞은편 벽의 중앙에 있다. 고래구조의 단면도를 그림 4에 나타내었다. 여기서 사방 벽을 따라서 고래를 두지 않았기 때문에 결과적으로 고래의 면적은 방 면적의 55%가 되었다. 이는 고래를 측벽에 가까이 두지 않음으로써 열손실을 줄이고 또한 연탄가스 누설방지에 도움이 된다. 왜냐하면 방바닥의 연탄가스 누설은 주로 벽과 바닥사이의 균열에서 생기기 때문이다.

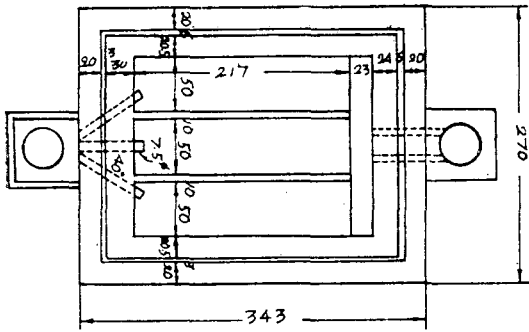


그림 3. 고래의 평면도

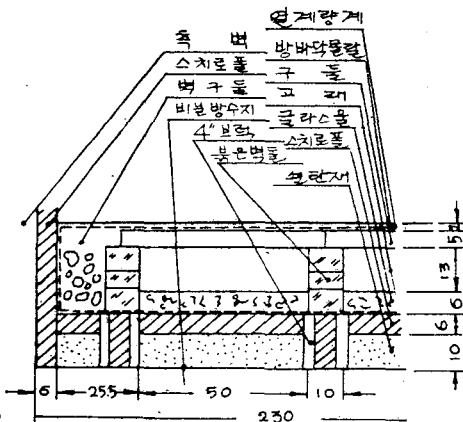


그림 4. 고래의 단면도

그림 4에서 고래바닥의 보온은 연탄재 10cm, 스티로폴 6cm, 글라스울 6cm로 하였다. 그래서 고래바닥과 지면사이의 열저항은 대충  $4.73\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Kcal}$ 가 되었다. 한편 고래등은 구멍을 스티로폴로 채운 6" 시멘트 블럭위에 붉은벽돌을 3층으로 쌓아 만들었다. 구들은  $60 \times 60 \times 5\text{cm}$ 의 크기로 직경 5mm의 철선으로 보강하여 시멘트 몰탈로 성형하였다. 구들 위에는 2cm의 두께로 몰탈을 발라 방바닥이 되게 하였다. 여기서 고래의 높이는 13cm이고 고래바닥과 구들의 상하면은 모두 지면과 수평으로 되게 하였다. 한편 바닥의 보온에서 고온부분은 스티로폴 층을 얇게 하고

글라스울 층을 대신 두텁게 하였다. 방바닥과 연탄재를 사이에는 비닐막으로 방습등을 만들었다. 아궁이의 단면도를 그림 5에 나타내었다. 벽에서 아궁이 중심까지의 거리는 17cm이고 도가니는 시중에서 판매하고 있는 내경16cm, 외경 19cm, 높이 27.5cm의 초벌구이 도가니이다. 도가니의 주위는 두께 6cm의 글라스울로 보온을 했고 아궁이 바닥은 3cm 두께의 글라스울로 보온하였다. 연탄덩게(뚜껑비집)는 철제를 사용했고 아궁이 덮개는 글라스울로 보온하여 사용하였다. 유도관은 내경 4.6cm, 외경 7.5cm의 토관을 사용하였다. 유도관의 경사는  $20^\circ \sim 25^\circ$ 이고 분기각도는 각각 중앙의 유도관과  $40^\circ$ 를 이루게 하였다. 이때 중앙의 유도관으로 많은 유량이 흐르겠으나 유량의 분배를 위해 어떤 장치도 하지 않았다.

개차리와 굴뚝부분의 단면을 그림 6에 나타내었다. 고래의 끝에 두께 6cm의 스티로폴로 보온

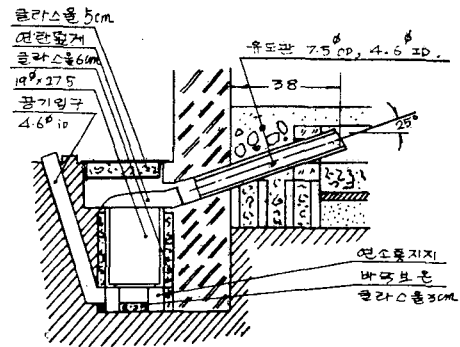


그림 5. 아궁이의 단면도

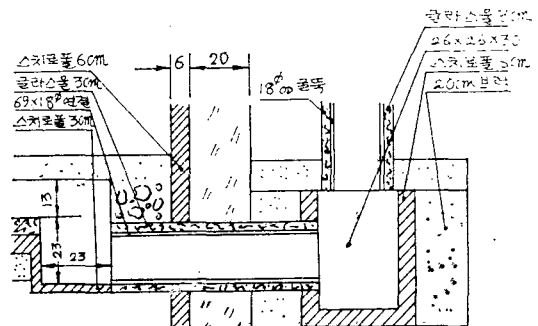


그림 6. 개차리와 굴뚝의 단면도

한 23×23×170cm의 개자리를 두었다. 굴뚝연결부와 굴뚝은 외경 18cm의 시멘트 관으로 하고 주위를 두께 3cm의 글라스울로 보온하였다. 굴뚝의 경우 방습을 고려하여 주위를 비닐막으로 포장하였다. 굴뚝연결부와 굴뚝사이에는(굴뚝개자리) 8"시멘트 부력으로 그림 6과 같이 만들고 6cm 두께의 스티로폴로 내부를 보온 하였다.

실험방법

1. 연소시간에 따른 열효율의 변화

열효율을 산출하기 위해서는  $Q_u$ ,  $Q_g$ ,  $Q_p$ ,  $T_{out}-T_a$ ,  $T_{out}-T_g$ 의 시간에 따른 변화상태를 측정하여야 한다. 이 중에 열전달량은 열계량계에 의하여 측정하고 온도는 열전대에 의하여 측정하였는데 자세한 방법은 문헌[1]에 기술되어 있다.

앞서 언급한 바와 같이 의기와 지면의 조건은 약 24시간의 정상 주기상태로 보면 연소주기는 이보다 훨씬 짧다. 따라서 각 주기의 실험마다 충분한 예비 연소시간을 두었다. 여러번 측정을 반복하고 그중 대표적인 주기의 결과를 계산하여 비교하였다. 여기서  $Q_u$ ,  $Q_g$ ,  $Q_p$ 와  $T_{out}-T_a$ 는 특수하게 제작된 자동선택스위치를 사용하여 30분간격으로 기록계에 기록하고  $T_{in}-T_a$ 는 다른 기록계에 계속하여 기록하였다. 한편 난방부하에 의한 영향을 없애기 위하여 환기량을 충분히 하였다.

2. 실험식에 의한 방표면에서 열전달량의 측정치와의 비교.

문헌 [2]에서는 방표면에서 방안으로 열전달량

을 ASHREA Guide Book 이 추천하는 다음의 식에 의하여 구하였다.

$$q_u = q_c + q_R \tag{13}$$

$$q_c = 1.875(T_p - T_R)^{1.31} \tag{14}$$

$$q_R = 4.272 \left[ \left( \frac{T_p + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{AUST + 273}{100} \right)^4 \right] \tag{15}$$

여기서  $q_c$ 는 대류에 의한,  $q_R$ 는 복사에 의한 열전달 량이고  $T_p$ 는 방바닥 표면의 면적가중 평균온도 이고 AUST는 벽과 천정의 면적가중 평균온도이다.  $T_R$ 은 실내온도이다.  $T_p$ 를 구하기 위하여 방의 반쪽을 그림 7과 같이 66개의 요소로 나누고 그 표면온도를 문헌[1]의 방법으로 측정하여 계산하였다. AUST는 각 벽과 천장의 온도를 각각 1개소에서 측정하여 계산하였고 실내온도는 digital thermometer (United System Corp. model582C)로 측정하였다. 여기서는 연소주기를 9시간으로 고정하고 또 환기량을 최소로 줄인 상태로 하여 수 주기 계속 측정하였다. 그중 열전달량과 온도의 변화가 비교적 적은 주기를 택하여 계산하고 그 결과를 비교하였다.

3. 연소개스의 온도변화

문헌[3]의 연구에서 간단한 모델을 이용한 해석에서 연소개스 온도가 지수함수적으로 변화한다고 발표했다. 여기서 실험을 통하여 연소개스 온도가 고래를 따라 어떻게 변화하고 있는가를 본다.

온도는 유도관 출구와 유도관에서 30cm의 간격으로 7개소와 굴뚝연결부 입구에서 측정하였다.

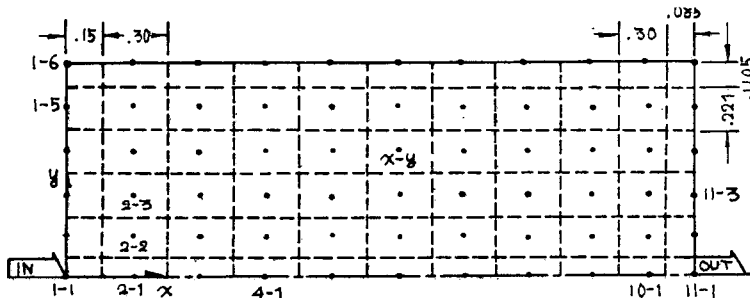


그림 7. 방표면에서 열전대의 배치도

온도의 측정은 구리-콘스탄탄(Cu-Co) 열전대 20 gage 를 사용하였다. 연소시간이 9시간, 13시간, 17시간일때 각주기의 반이 경과할때의 온도 분포를 측정하였다. 이는 이때가 비교적 정상상태에 가깝기 때문이다. 또한 중앙고래의 가운데를 통하여 측정하였다.

실험결과 및 고찰

1. 연소시간에 따른 열효율의 변화

여기서 연탄의 발열량은 13,800Kcal 로 보았다. 이는 연탄의 발열량을 4,000Kcal/kg 으로 보고 사용한 연탄의 무게가 평균 3.45kg 으로 추산한 값이다. 실험에 사용된 연탄은 잘 건조된 것이므로 수분의 함량은 무시하고 기타 미연소 등의 영향은 무시하였다. 각 주기의 경우 연속 수 주기(24시간)의 결과를 정리하고 평균한 것을 표2에서 비교하였다.

표2의 결과에 의하면 연소시간이 8시간, 12시간, 24시간으로 증가함에 따라 온돌열효율  $\eta_c$  는 89.2%, 83.5%, 79.5%로 대체적으로 감소하는 경향이 있다. 연소주기가 길어지면 연소개스의 온도가 감소하는데 이에 의한 고래내에서의 열손실율의 감소가 연소시간의 증가를 따르지 못하기 때문에 한주기 동안의 열손실량은 결국 증가하게 된다. 어구나 온돌에서는 유량이 적기 때문에 UA/WC<sub>g</sub> 가 크게되어 배기개스의 온도는 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 온돌의 열효율은 연소주기가 증가함에 따라서 감소하고 있다.

한편 연소시간이 증가함에 따라 아궁이 열효율  $\eta_s$  는 34.4%, 36.5%, 45.2%로 대체로 증가한다. 연소시간이 길어지면 전체적으로 온도가 감소한다. 따라서 아궁이에서 열손실율은 감소한다. 이때 열손실율의 감소가 연소시간의 증가를 능가하기 때문에 한 주기 동안에 아궁이에서 총 열손실량은 감소하게 되어 아궁이의 효율은 증가하고 있다.

여기서 써스팀의 열효율  $\eta$  은 아궁이 열효율과 온돌 열효율의 곱으로 나타나게 되는데 그 결과 30.7%, 30.5%, 35.9%로 큰 차이가 없다. 단지

표 2. 연소시간에 따른 열효율의 변화

주기(시간)	8	12	24
$\Sigma \dot{Q}_s$ Kcal	13800	13800	13800
$\dot{Q}_s$ Kal/hr	1725	1150	574
$\dot{Q}_u$ "	529	350	207
$\dot{Q}_g$ "	26.5	41.7	24.3
$\dot{Q}_p$ "	31.66	22.8	26.9
$\dot{Q}_u + \dot{Q}_p + \dot{Q}_g$	587	415	258
$\frac{\dot{Q}_s}{T_{in} - T_a}$	474	354	268
$\frac{T_{out} - T_a}{T_{in} - T_a}$	4.72	3.74	2.27
$1 - \frac{T_{in} - T_a}{T_{out} - T_a}$	0.990	0.989	0.992
$\dot{Q}_{in}$	593	419	260
$\eta_s$	34.4	36.5	45.2
$\eta_c$	89.2	83.5	79.5
$\eta$	30.7	30.5	35.9
$\bar{W}$ kg/hr	5.2	4.9	4.1
$\dot{Q}_c$ Kcal/hr	1132	731	315

연소시간이 24시간 일때 다소 증가했다.

본 연구에서 실험한 온돌은 이른바 「에너지 절약형의 개량온돌」이다. 이는 고래면적이 전체 방면적의 55%이며 고래는 잘 보온되어 있다. 결과적으로 온돌열효율  $\eta_c$  는 80%~89%로 상당히 좋은 결과를 얻었다.

한편 위의 실험에서 얻은 결과와 해석은 재래식 온돌의 경우에는 다소 차이가 있으리라 본다. 이는 온돌 본체에 관심을 두고 보온하였기 때문에 온돌과 아궁이의 상대적인 열손실의 양상이 다르기 때문이다. 그러나 위의 경향이 정성적으로는 적용되리라 본다.

위의 결과에서 아궁이의 효율이 34%~45%로 십각히 나쁘다는 사실은 종래의 연구에서 지적되지 못했던 사실이다. 본 실험에서 사용한 아궁이는 어느정도 보온을 한 개량식 아궁이에 속한다. 이에도 불구하고 아궁이의 효율이 상식밖으로 나쁘다는 사실은 중요하다고 생각된다. 위의 실험에서 사용한 오차는 비교적 크다. 그러나 열계량계의 오차는 대부분 판재의 열전도도의 측정에

표 3. 실험식에 의한 방표면에서 열전달량과 측정치와의 비교

시 간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_R$ °C	23.0	24.7	24.2	23.8	25.0	25.2	25.2	25.2	24.9
$T_a$ °C	3.1	2.8	2.4	1.7	1.8	1.7	1.3	1.3	1.4
$T_{in}-T_a$ °C	153	360	469	539	586	563	540	480	410
$T_{out}-T_a$	15.5	16.0	13.0	6.0	14.0	9.5	14.0	11.5	13.0
$\dot{Q}_u$ (Exp)	511	453	447	454	437	436	454	454	449
$\dot{Q}_g$	64.8	81.4	59.6	60.5	80.9	73.3	89.4	74.7	53.5
$\dot{Q}_p$	63.4	56.3	66.3	90.8	104.1	105	89.9	83.3	71.9
$T_p$	39.6	30.3	39.5	39.6	30.4	30.3	30.3	30.3	30.0
AUST	33.7	33.1	33.8	33.5	33.5	33.3	33.5	33.6	33.1
$q_c$	17.8	16.6	16.4	18.9	16.9	16.3	16.1	15.3	15.9
$q_R$	31.4	31.6	30.6	32.3	31.8	32.3	31.4	30.5	31.8
$q_T$	49.3	48.1	47.0	51.2	48.7	48.5	47.5	45.8	47.6
$\dot{Q}_u$ kca/lh	319	312	305	332	316	314	308	237	309
$\frac{\dot{Q}_u(\text{Exp})-\dot{Q}_u(\text{Cal})}{\dot{Q}_u(\text{Exp})} \times 100$	37.6	31.0	31.8	26.9	27.7	28.0	32.2	34.6	31.2

$\eta_s=40.7\%$       $\eta_c=72.9\%$       $\eta=29.7\%$

서 생기므로 식(10)에 의한 은물열효율( $\eta_c$ )의 값에는 영향을 주지 않는다. 왜냐하면 식(10)에서 열효율은  $\dot{Q}_u$  과  $\dot{Q}_g + \dot{Q}_p$  의 상대적인 크기에 의해 결정되기 때문이다. 한편 아궁이의 열효율( $\eta_s$ )에서는 연탄의 발열량  $Q_c$  의 추정과 함께  $\dot{Q}_u + \dot{Q}_g + \dot{Q}_p$  의 오차에 의해 비교적 큰 오차가 예상된다.

2. 실험식에 의한 방표면에서 열전달량의 측정치와의 비교

9시간 연소주기의 경우의 측정치를 정리하여 계산한 결과를 표3에 나타내었다. 한편 표3에서 실험식에 의한 열전달량과 측정치에 의한 열전달량을 비교하였다. 표3에 의하면 순간 열전달량을 비교하였다. 표3에 의하면 순간 열전달량은 실험식에 의한 값이 측정치보다 27%~38% 낮게 추정되었다. 전체적인 연소시간의 평균값으로 비교하면 31% 낮게 추산된다. 문헌[3]의 연구에서는 모델실험을 통하여 14~30% 낮게 된다고 발

표되었다. 한편 표3에서 참고적으로 열효율을 계산한 바 은물 열효율은 72.9%, 아궁이 열효율은 40.7%, 시스템의 열효율은 29.7%이다.

일반가옥의 경우 방바닥에서 열전달량을 측정하기 위하여 열계량계를 삽입할수 없다. 따라서 식(13)을 사용하려면 수정이 필요하다.

3. 연소가스 온도의 변화

교래를 따라 측정한 결과를 표4에 나타내었다. 연소가스의 온도는 문헌[3]에 의하면 구들의 두께가 일정할때

$$\frac{\theta}{\theta_o} = \exp\left(\frac{Ub}{Wc_p} x\right) \tag{16}$$

가 된다. 여기서  $\theta_o$  는 유도관 출구와 방안온도의 차이이다. 식(16)의 양변에 자연대수를 취하면

$$-\ln \frac{\theta}{\theta_o} = \frac{Ub}{Wc_p} x \tag{17}$$

표 4. 연소시간 변화에 따른 각점의 온도

연소시간	$T_R$	$T_o$	1	2	3	4	5	6	7	$T_{out}$
9	26.7	297	82	84	75	68	62	56	52	28
13	24.5	218	64.5	64.1	60.1	54.5	48.2	43.6	40.2	26.6
17	20.0	105	30.8	28.5	25.7	24.5	22.5	21.8	21.4	15.3

가 된다. 표4의 결과에서  $-\ln(\theta/\theta_o)$ 의  $x$ 에 따른 변화를 그림 8에 나타내었다. 여기서 보면  $x=0.3\sim 0.6$ 에서 개자리 앞까지는 선형적인 변화로 볼 수 있으므로 연소개스의 온도는 지수함수적으로 변화함을 알 수 있다. 유도관 출구 부분에서는 유도관에서 분사되는 유동현상이 일종의 젯트에 의한 혼합현상이 일어나기 때문에 개스의 온도가 급강하 한다. 이는 방표면 온도의 균일성을 저해하고 있다.

한편 표4에서 고래출구의 온도에 비하여 배기개스의 온도가 많이 떨어진다. 이는 고래를 따라서 흐르는 유량이 중앙고래에서 제일 많으므로 중앙고래에서의 온도가 가장 높을 것이다. 따라서 세고래의 개스가 개자리에서 합쳐지면 온도가 떨어진다. 또한 배기개스의 온도가 실내온도보다 떨어지는 경우가 있는데 ( $\theta \leq 0$ ) 이는 개자리에서

개스의 정체시간이 길고 또 개자리와 벽과 바닥을 통하여 열손실이 많기 때문인 것으로 짐작된다. 따라서 가능하다면 개자리를 없애는 대신 고래와 유도관의 설계를 잘함이 바람직 하다. 또 그림 8에서 연소주기가 증가함에 따라서 기울기가 증가하므로 이는 유량이 감소함을 보여준다.

결 론

이상의 연구에서 에너지 절약형의 개량온돌을 축조하였다. 이를 이용하여 연소시간을 변화시키면서 그 열효율을 측정하였고 이를 통하여 온돌에서 일어나고 있는 열전달 현상을 정량적으로 연구하였다. 또한 이 실험을 통하여 부수적인 현상을 연구하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 온돌의 열효율( $\eta_c$ )을 89%까지 증가시킬 수 있다.
2. 온돌 시스템의 열효율( $\eta$ )을 증가시키기 위해서는 아궁이의 열효율( $\eta_a$ )이 34%~45% 밖에 안되므로 아궁이 설계에 집중적인 연구가 필요하다.
3. 개자리를 없애는 대신 유도관과 고래의 설계를 잘 함이 좋다.
4. 방표면에서 방으로의 열전달량을 산출하기 위해서 보다 좋은 방법이 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 강 신형, "주택난방의 열효율에 관한 연구", 석사학위논문, 한국과학원 (1975)  
 [2] 이 택식, "온돌의 열효율 향상에 관한 연구", R-72-10, 과학기술처 (1972)  
 [3] 배 순훈, "온돌 개량설계에 관한 연구", R-74-50, 과학기술처 (1974).

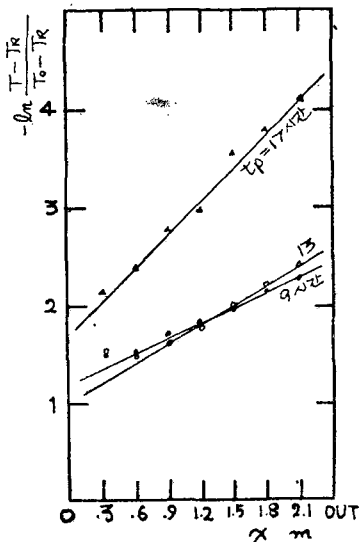


그림 8 입구에서 거리  $x$ 에 따른 온도 변화