

## 실내수영장의 에너지 소비요소별 에너지 절약효과에 관한 연구

김 영 돈, 권 규 동, 여 명 석\*, 김 광 우\*\*†

서울대학교 대학원 건축학과, \*성균관대학교 건축공학과, \*\*서울대학교 건축학과

### A Study on the Energy Conservation Effect of Each Energy Consumption Component in Indoor Swimming Pools

Young-Don Kim, Gyu-Dong Kwon, Myung-Suk Yeo\*, Kwang-Woo Kim\*\*†

Department of Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\*Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

\*\*Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received August 6, 2002; revision received October 5, 2002)

**ABSTRACT:** The objective of this study is to develop energy saving strategies for indoor swimming pools and to estimate the effect of each energy saving strategy. For this purpose, field measurements regarding pool water heating energy, domestic hot water heating energy are conducted and a base energy consumption model is implemented using the DOE-2.1E program. The results of the study reveal that 25% of the total pool water heating energy may be saved by using night time pool covers, 27% of the total domestic hot water heating energy may be saved by using a waste water heat recovery system (effic. 60%), and 43% of the total ventilation energy may be saved using an exhaust air heat recovery system (effic. 60%).

**Key words:** Indoor swimming pools(실내수영장), Energy conservation effect(에너지 절약효과), Energy consumption factor(에너지 소비인자), Energy consumption component(에너지 소비요소)

#### 기 호 설 명

$A$  : 외피면적 [ $m^2$ ]  
 $AF$  : 활동계수(activity factor)  
 $A_p$  : 풀 표면적 [ $m^2$ ]  
 $P_{DP}$  : 실내 노점온도에서의 포화수증기압 [kPa]  
 $P_w$  : 수표면 온도에서의 포화수증기압 [kPa]  
 $q$  : 부하량 [W]  
 $Q$  : 급기 풍량 [ $m^3/s$ ]

$t$  : 온도 [ $^{\circ}C$ ]  
 $U$  : 열관류율 [ $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ]  
 $v$  : 수면 위 풍속 [m/s]  
 $W$  : 급탕량 [ $m^3/s$ ]  
 $W_Q$  : 풀 표면에서의 증발률 [kg/s]  
 $WWR$  : 창면적비 [%]  
 $Y$  : 수표면 온도에서의 증발잠열 [W/kg]

#### 하첨자

† Corresponding author  
 Tel.: +82-2-880-7065; fax: +82-2-871-5518  
 E-mail address: snukkw@snu.ac.kr

$cw$  : 급탕 보급수  
 $e$  : 외피난방  
 $i$  : 실내

- $o$  : 외부
- $p$  : 용수가열
- $v$  : 환기
- $w$  : 급탕

모델을 이용하여 도출된 여러 에너지 절약방안에 대한 효과를 분석한다.

## 2. 실내수영장의 에너지 절약에 관한 예비적 고찰

### 1. 서 론

#### 2.1 실내수영장의 쾌적에 관한 설계기준

실내수영장에서는 수영 풀 입장 전과 퇴장 후의 샤워를 위한 다량의 급탕이 필요하며, 풀 용수의 온도를 연중 25~29℃ 내외로 유지시켜야 하므로 용수가열부하가 여름철에도 발생하고, 실내의 과도한 습기와 냄새를 제거하기 위한 환기 부하도 크며, 재실자가 탈의 상태에 있어 실내기온을 일반건물보다 높게 유지해야 하므로 벽체를 통한 열손실도 많다. 이와 같이 실내수영장의 에너지 소비를 유발하는 부하요소의 종류와 상대적인 크기는 다른 유형의 건물과는 차이가 많다.

실내수영장의 에너지 절약은 먼저 재실자의 쾌적이 확보된 후 고려되어야 한다. 이러한 쾌적을 고려한 실내수영장의 설계기준은 국내와 국외 기준에 약간씩 차이가 있으나 대체적으로 비슷한 범위 내에서 기준이 제시되고 있다.

실내수영장 건물의 효과적인 에너지 절약을 위해서는 건물의 설계 단계나 유지관리 단계에서 담당자들이 수영장 건물에 대한 여러 에너지 절약방안의 효과를 미리 알 수 있어야 한다.

Table 1은 실내수영장에 대한 국내의 설계기준 중에서 주요 항목에 대하여 비교한 것이다. 수영장 용수의 온도는 25~29℃이며, 실내온도는 일반적으로 수영장 용수로부터의 증발량을 줄이고, 수영장 이용객이 수영 후 수면 밖으로 나왔을 때 인체의 표면 증발에 의해 체온이 떨어지는 것을 막기 위해 수영장 용수의 온도보다 1℃ 높게 유지하며, 수영장 용수 표면에서의 풍속은 재실자의 쾌적 유지와 수분 증발량을 줄이기 위하여 0.2 m/s 이하로 할 것을 권장하고 있다.

따라서 본 연구에서는 에너지 다소비형 건물인 실내수영장에 대한 에너지 절약적 계획 및 유지관리에 도움을 줄 수 있도록 수영장 건물에 대한 에너지 절약방안과 그 효과를 제시하고자 한다. 이를 위해, 수영장의 에너지 소비에 영향을 미치는 변수인 에너지 소비인자를 파악한 후 에너지 절약방안을 도출한다. 다음으로 실내수영장의 에너지 사용량을 시뮬레이션하기 위한 기준모델을 개발한다. 마지막으로 개발된 에너지 소비 기준

#### 2.2 실내수영장의 에너지 절약을 위한 기존 연구

실내수영장의 에너지 절약을 위한 국내의 연구로는 에너지 절약 설계기준의 체계화 연구<sup>(1)</sup>가 있다. 이 연구에서는 건물의 부위별 열관류율, 적정 층고, 열회수기의 사용, 고효율 조명기기의 사용 등의 건축부분, 기계설비부분, 전기설비부분

Table 1 Design guidelines for indoor swimming pools

Country	Korea (Ministry of Construction and Transportation)	U.S.A (ASHRAE)	U.K (CIBSE)	Japan (SHASEJ)
Pool water temp.	28℃ or so	25.5~27℃	25~29℃	25~27℃
Room air temp.	27~30℃	24.4℃ (at 2.4m higher than pool surface)	26~30℃ (1℃ higher than pool water temp.)	28~32℃ (air heating) 25~28℃ (floor heating)
Relative humidity	less than 70%	60% or so	40~60%	-
Air velocity at pool water surface	less than 0.1~0.2 m/s	less than 0.13 m/s	less than 0.1 m/s	-
Air change rate	2~3 ACH	-	-	1~4 ACH

에 걸쳐 에너지 절약방안을 제시하고 있으나 각 절약방안의 적용에 따른 에너지 절감효과는 계산하지 않았으며, 실내수영장의 용수가열 에너지에 대한 절약방안 역시 다루지 않았다.

또한 국외의 연구<sup>(2,3,4)</sup>에서는 수면 증발 방지 덮개나 외피 및 지붕의 단열성능의 향상 등을 이용한 몇몇 에너지 절약기법에 대해서 그 절약효과를 예측하고 있으나 기후조건 및 실내수영장의 사용패턴이 국내의 실정과는 맞지 않기 때문에 그 결과를 국내에 그대로 적용할 수 없다.

**3. 실내수영장의 에너지 절약방안 도출**

본 연구에서는 실내수영장에서 적용 가능한 에너지 절약방안을 빠짐없이 도출하기 위해, 먼저 실내수영장의 전체 에너지 소비량을 구성하는 요소(이하 에너지 소비요소)들을 부하, 시스템, 플랜트 요소로 나눠 모두 나열한 후 각 요소들로부터 에너지 소비에 영향을 미치는 변수인 에너지 소비인자를 파악하였다. 다음으로 건물의 설계 및 유지관리 단계에서 각 에너지 소비인자들의 변경 가능성을 분석함으로써 각 에너지 소비요소에 대한 에너지 절약방안을 도출하였다.

**3.1 실내수영장의 에너지 소비요소**

일반적으로 실내수영장에서 에너지를 소비를 유발시키는 부분은 Fig. 1과 같고,<sup>(2,4)</sup> 실제로 에너지를 소비하는 시스템과 플랜트에 대한 전형은

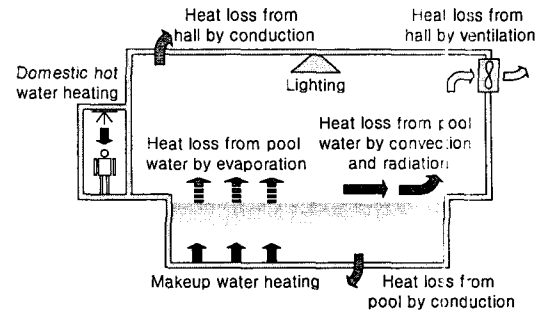


Fig. 1 Energy consumption causes of indoor swimming pools.

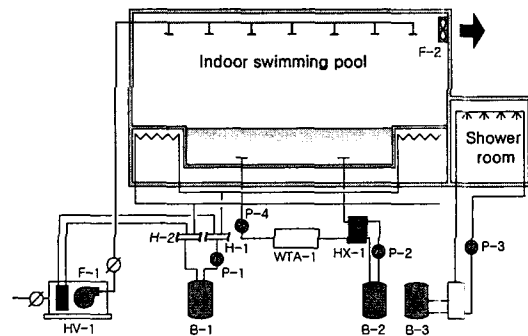


Fig. 2 System and plant of indoor swimming pools.

Fig. 2 및 Table 2와 같다. 실내수영장의 전체 에너지 소비량은 건물이 속하는 지역의 기후, 건물의 형상, 그리고 수영장이 지상 또는 지하에 위치하느냐 등에 따라 달라질 수 있으나 건물 내의

Table 2 Descriptions of symbols in Fig. 2

Symbol	Description
B-1	Boiler for space heating
B-2	Boiler for swimming pool water heating
B-3	Boiler for domestic hot water supply
P-1	Hot water supply pump for B-1
P-2	Hot water supply pump for B-2
P-3	Domestic hot water circulation pump for B-3
P-4	Swimming pool water circulation pump
HV-1	Heating ventilating unit
F-1	Supply fan for HV-1
F-2	Exhaust fan for swimming pool
HX-1	Heat exchanger for swimming pool water heating
H-1	Hot water supply header
H-2	Hot water return header
WTA-1	Swimming pool water treatment equipment collection

에너지 소비요소는 동일하다.

실내수영장의 에너지 소비요소를 파악하기 위하여 각 에너지 소비요소에 따른 부하요소를 분석하였다. Fig. 1에서 각 에너지 소비 부분을 부하요소별로 구분하면, 풀의 온도를 연중 25~29℃로 유지시키기 위한 용수가열부하, 급탕을 가열하기 위해 필요한 급탕부하, 적정습도 및 오염물질 농도 제어를 위한 환기부하, 외피를 통한 전도 열손실에 의한 외피난방부하 및 기타 조명기기에 의한 조명부하로 나눌 수 있다. 용수가열부하는 그림과 같이 수면증발에 의한 열손실, 수면 대류 및 복사 열전달에 의한 열손실, 풀 구조체를 통한 열손실 및 보급수 가열에 필요한 열로 구성된다. 또한 실내수영장의 일반적인 시스템 및 플랜트의 구성요소는 환기를 위한 팬, 열매 반송, 급탕 및 용수의 순환을 위한 펌프, 그리고 보일러 등으로 구성된다.

따라서 실내수영장의 에너지 소비요소들은 부하요소들과 시스템 및 플랜트요소들을 포함하는 것으로 Table 3과 같이 분류된다.

### 3.2 에너지 소비인자 및 에너지 절약방안

실내수영장의 부하요소들에 대한 일반적인 계산식을 기존 연구<sup>(5,6)</sup>를 토대로 도출하면 식(1)~(5)와 같다. 식(1)과 식(2)는 용수가열부하의 약 80%를 차지하고 있는 수영장 용수 표면에서의 증발량을 계산하는 식이며, 식(2)에서 활동계수(AF)는 이용객이 없을 경우에는 1.0이 되며, 이용객이 있을 경우 이용객의 활동량이 적을 시에는 1.3, 활동량이 많을 시에는 1.7이 적용된다. 또한 식(3)은 급탕부하의 계산식이고, 식(4)는 환기부하의 계산식이며 식(5)는 외피난방부하를 계산하기 위한 식이다.

$$W_Q = \frac{(A_p)(64.0 - 28.4v)}{3600Y} (P_w - P_{DP}) \quad (1)$$

$$q_p = 2500 W_Q \times AF \quad (2)$$

$$q_w = 4.17 \times 10^6 W (t_{cw} - t_w) \quad (3)$$

Table 3 Energy consumption component

Energy consumption component / Component	Pool water heating	Domestic hot water heating	Ventilation	Space heating	Lighting and equipment
Load	Pool water heating load	Domestic hot water heating load	Ventilation load	Heat loss form envelope	Lighting and equipment load
System	Pump (P-2, P-4)	Pump (P-3)	Fan (F-1, F-2) Pump (P-1)	Pump (P-1)	-
Plant	Boiler (B-2)	Boiler (B-3)	Boiler (B-1)	Boiler (B-1)	-

Table 4 Classification of energy consumption factor

Energy consumption component / Energy consumption factor	Changeable factor		Given factor
	Design	Maintenance	
Pool water heating	Pool surface area	Pool water temp., Indoor air temp., Relative humidity, Air velocity at pool surface	-
Domestic hot water heating	-	Domestic hot water supply temp., Makeup water temp., Amount of domestic hot water supply	Number of swimmers
Ventilation	Pool surface area, Pool water treatment method	Air change rate, Indoor air temp., Makeup air temp.	Outside air temp.
Space heating	Envelope area, Thermal transmittance (U)	Indoor air temp., Thermal transmittance (U)	Outside air temp.
Lighting and equipment	Daylighting, Efficiency of lighting equipment	Daylighting, Efficiency of lighting equipment	-

Table 5 Energy conservation strategy for each load component

Energy consumption component	Energy consumption factor	Energy conservation strategy
Pool water heating	Pool surface area	- Use pool covers
	Air velocity at pool surface	- Change the location of diffusers
Domestic hot water heating	Makeup water temp.	- Install waste water heat recovery system - Change hot water supply temp. for each season
	Amount of domestic hot water supply	- Install water saving shower head
Ventilation	Makeup air temp.	- Install exhaust air heat recovery system
	Air change rate	- Reduce air change rate - Open windows in summer for natural ventilation
Space heating	Thermal transmittance	- Insulate exterior wall - Decrease window area - Use night time insulating blinds
Lighting and equipment	Efficiency of lighting equipment	- Install high efficiency lighting equipment
	Window-wall area ratio	- Maximize daylighting

$$q_v = 1.23Q(t_o - t_i) \quad (4)$$

$$q_e = UA(t_o - t_i) \quad (5)$$

시스템 요소에 투입되는 에너지는 팬과 펌프의 효율, 반송유량, 필요압력 및 운전시간에 의해 결정되며, 플랜트에 추가로 투입되는 에너지는 보일러의 효율, 발생열량 및 운전시간에 의해 결정된다.

Table 4는 위의 관련 부하계산식과 시스템 및 플랜트요소의 에너지 소비와 관련한 특성으로부터 각 에너지 소비요소에 영향을 미치는 에너지 소비인자들을 도출한 것으로서 실내수영장의 초기 설계 및 시공시에 변경이 가능한 인자와 완공 후 유지관리시에 변경이 가능한 인자들로 구분하였다. Table 5는 Table 4의 변경 가능한 인자들을 이용하여 적용할 수 있는 에너지 절약방안을 도출한 것이다.

#### 4. 실내수영장의 에너지 소비 기준모델

실내수영장에 대한 에너지 절약방안의 효과를 분석하기 위하여 실내수영장의 에너지 사용량을 예측할 수 있는 기준모델을 작성하였다. 시뮬레이션 도구로는 HVAC 시스템 및 플랜트 열원기기 종류의 다양함과 높은 정밀도 등으로 국내외적으로 가장 널리 사용되고 있는 DOE-2 프로그램을 선정하였다. 그러나 DOE-2의 경우 일반적인 건물에 대한 냉난방 에너지 해석 프로그램이

므로 수영장에 대한 용수가열에너지의 해석은 불가능하다. 따라서 용수가열에너지는, DOE를 이용한 급탕에너지를 계산하는 방식과 유사하게, 기존 건물에서의 실측을 통하여 이를 반영하였다.

다음으로 에너지 소비요소별 연간 에너지 소비량의 상대적 크기인 에너지 소비특성을 파악하기 위해, 작성된 기준모델을 이용하여 연간 에너지 소비량을 시뮬레이션하고 그 결과를 분석하였다.

#### 4.1 기존 실내수영장 실측

기준모델을 작성하기 위해 Fig. 3과 같은 서울 소재 P 스포츠센터를 채택하여 수영장 부분에서 재실 스케줄과 조명 스케줄 및 연간 급탕량을 관리자 인터뷰와 현장조사를 통해 파악하였고, 연간 용수가열에너지를 실측하였다. 이 건물에 대

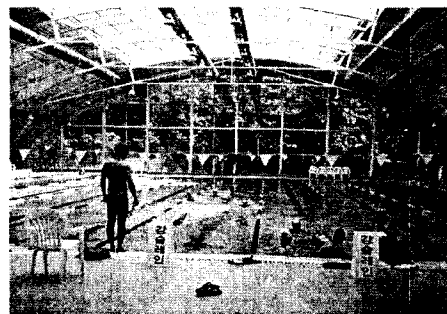


Fig. 3 Indoor swimming pool of sample case.

Table 6 Building description of sample case

Item	Description
Building floor area (m <sup>2</sup> )	2,765
Gross floor area (m <sup>2</sup> )	6,179
Floor area of swimming pool (m <sup>2</sup> )	1,110
Size of pool surface (m <sup>2</sup> )	540 (8 lane×25 m)
Level	B1 (Racketball court, Squash court, Machine room) 1F (Golf training room, Multipurpose gym., Office) 2F (Gym., Machine room for pool) 3F (Pool, Locker room, Shower room) 4F (Snack bar)
Mechanical equipment	- Heating plants : three hot-water boilers for building heating, domestic hot water and pool water heating - Heating and ventilation systems : Panel heating for pool side, HV unit

한 개요는 Table 6과 같다.

Table 7은 작성된 재실 스케줄과 조명 스케줄의 예로서 재실 스케줄은 실제 재실인원 48인에 대한 상대적인 비율을 입력한 것이며, 조명 스케줄은 설치된 총 조명용량인 13.9 kW에 대한 상대적인 비율로서 12월에 대한 값이다. 여기서 낮 시간대의 조명 스케줄값이 0인 것은 자연채광으로 인해 조명기기가 사용되지 않는 것을 반영하

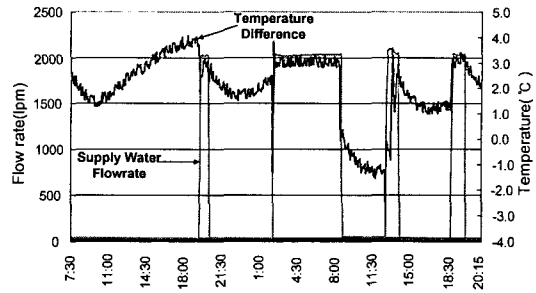


Fig. 4 Variation of flowrate and temperature difference at heat exchanger.

였기 때문이다. 연간에 대한 조명 스케줄은 중간기 및 여름철에 주간의 자연채광시간이 늘어나는 것을 고려하여 작성하였다. 또한 휴일에 대한 스케줄은 일요일의 스케줄에 따른다.

용수가열에 투입되는 열량을 파악하기 위해 초음파 유량계와 열전대를 사용하여 수영장 용수가열장치로 공급되는 열매의 유량과 온도차를 측정하였다. 실측시기는 2002년 1월 17일에서 2002년 1월 31일 까지였으며, 측정결과 시간당 평균 투입열량은 419 kW/h로 파악되었으며, Fig. 4는 측정결과 중 일부이다.

연간 투입열량을 산출하기 위하여 기존 수영장의 관리자 인터뷰를 통하여 수영장 용수에 대한 연간 열 공급시간을 Table 8과 같이 파악하였다. 이러한 실측결과와 보일러의 월별 가동시간을 토대로 DOE에 단위시간당 열량과 스케줄값을 입력하여 연간 용수가열에너지를 계산하였다.

수영장용 급탕에너지도 DOE에 단위시간당 급탕량과 스케줄값을 입력하여 계산하였다. 즉 판

Table 7 Internal load schedules

Item	Time Day	Time																		
		1~4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22~24
Occupancy	Weekday	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.0
	Saturday	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sunday	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lighting (Winter)	Weekday	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
	Saturday	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sunday	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 8 Monthly operation hours of the pool water heating boiler

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Operation time (hr)	143.1	108.4	119.1	112.1	112.2	64.1	64.1	64.1	112.2	101.0	170.1	148.3

리자 인터뷰에서 구한 월평균 수영객수 9,800명, 건물 전체에 대한 급수 사용량 기록을 이용하여 추정한 1인당 1회 급탕 사용량 80 L, 급탕 공급 온도 60°C, 그리고 서울지역 상수도 온도와 동일하다고 가정된 계절별 보급수 온도 데이터를 이용하여 DOE 입력값을 작성하였다.

4.2 에너지 소비 기준모델 작성

기준모델에 적용된 에너지 소비요소별 입력 데이터는 Table 9와 같으며 기상자료는 대한설비공학회의 서울지역 표준기상데이터를 사용하였다. Table 9에서 수영장 바닥면적과 풀 면적은 P 스포츠센터의 실내수영장 부분과 동일한 것으로 가정하였으며 급탕에너지, 용수가열에너지 및 조명 에너지에 적용된 실측치는 P 실내수영장에 대한 값이다. 실(室)난방에너지에 대한 건축 외피 조건은 에너지 절약 설계지침<sup>(1)</sup>의 값을 적용하여 지붕, 벽 및 창에 대한 열관류율로서 설계지침 상

Table 9 Input data for the base energy consumption model

Energy consumption component	Input data for the model
Pool water heating	Field measurement data
Domestic hot water heating	Field measurement data
Ventilation	3 ACH
Space heating	Floor area 1,110 m <sup>2</sup> , Height 4.5 m Roof area 1,110 m <sup>2</sup> Wall area 630 m <sup>2</sup> Window area 278 m <sup>2</sup>
Lighting and equipment	Field measurement data

의 값인 0.35 W/m<sup>2</sup>°C, 0.52 W/m<sup>2</sup>°C, 3.37 W/m<sup>2</sup>°C를 각각 적용하였고 창의 차폐계수는 P 실내수영장의 값인 0.83으로 설정하였다. 또한 시스템 및 플랜트 요소는 P 실내수영장과 동일한 유형이 설치된 것으로 가정하되 용량은 적절한 크기로 재 설정하였다.

일반적으로 컴퓨터 시뮬레이션의 정확성을 검증하기 위해서는 실제 상황과의 비교 및 검토 과정이 필수적이다. 본 연구의 경우 기준모델에 적용된 건물은 가상의 것이므로 기준모델에 대한 직접적인 검증을 할 수 없었기 때문에 차선택으로 P 실내수영장에 대한 DOE-2 모델을 작성한 후 DOE-2 예측치와 실제 에너지 소비량이 근사함을 확인<sup>(7)</sup>함으로써 기준모델의 타당성을 간접적으로 검증하였다.

4.3 기준모델에 대한 에너지 소비특성

Table 10은 기준모델에 대한 시뮬레이션을 통하여 실내수영장의 에너지 소비요소별 에너지 소비량을 원단위화하여 분석한 것이다. 연간 전체

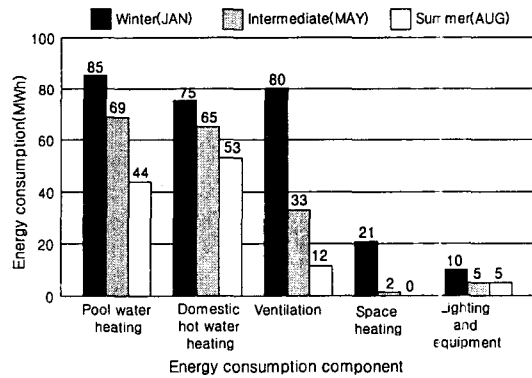


Fig. 5 Energy consumption for each season.

Table 10 Energy consumption for each energy consumption component

Energy consumption component	Energy consumption		per unit area (kWh/yr · m <sup>2</sup> )	Peak load (kW)	Ratio	Annual energy cost (₩1,000)
	Annual (MWh/yr)					
	Gas	Electricity				
Pool water heating	691	122	732	419	35%	37,463
Domestic hot water heating	775	0	698	236	33%	36,544
Ventilation	396	160	501	307	24%	23,241
Space heating	87	6	84	107	4%	4,269
Lighting and equipment	0	93	84	14	4%	2,656
Sum	1,949	381	2,099	-	100%	104,173

에너지 소비량 2,330 MWh/yr에 대해 용수가열에너지가 약 35%로 가장 많으며, 급탕에너지가 33%로 두번째로 많은 것으로 나타났다. 다음으로 환기에너지, 실난방에너지, 조명 및 기기에너지 순으로 분석되었으며, 단위면적당 에너지 소비량은 2,099 kWh/yr · m<sup>2</sup>으로 파악되었다. Fig. 5는 겨울철인 1월, 중간기인 5월, 여름철인 8월에 대한 실내수영장의 계절별 에너지 소비량이다. 겨울철의 경우 용수가열에너지가 가장 많으며 여름철의 경우 급탕에너지가 가장 많은 것으로 나타났다.

### 5. 에너지 소비요소별 에너지 절약방안에 대한 효과 분석

개발된 에너지 소비 기준모델을 이용하여 Table 5의 에너지 절약방안에 대한 효과를 에너지 소비요소별로 분석하였다.

#### 5.1 용수가열에너지

수면 증발에 의한 에너지 손실을 줄이기 위하여 수분 증발방지를 위한 덮개를 수면상부에 설치하여 수면에서의 증발을 막을 필요가 있다. Table 11은 이용객이 없는 폐장 시간에 대하여 수분 증발방지 덮개를 적용할 경우에 대해 식(2)와 식(3)을 이용하여 에너지 절감량을 예측한 것이다. 이용객의 활동량이 많은 수영장일 경우에는(AF=1.7) 연간 용수가열에너지 중의 203 MWh/yr를 절약할 수 있을 것이며, 이는 연간 용수가열에너지의 약 25%에 해당하는 양이다.

Table 11 Energy savings with pool covers

Measure	Energy consumption (MWh/yr)	Annual energy savings		
		Amount (MWh/yr)	Ratio	Cost (₩1,000)
Before	813	-	-	37,463
After	610	203	25%	9,366

Table 12 Energy savings with waste water heat recovery system

Measure	Energy consumption (MWh/yr)	Annual energy savings			
		Amount (MWh/yr)	Ratio	Cost (₩1,000)	
Before	775	-	-	36,544	
After	(effic. 60%)	563	212	27%	9,867
	(effic. 70%)	521	254	33%	12,060
	(effic. 80%)	485	290	37%	13,521

#### 5.2 급탕에너지

실내수영장에서의 급탕에너지는 주로 샤워실에서 소비되는 급탕량과 급탕과 보급수 간의 온도차에 의해 좌우된다. 급탕량은 절수형 샤워 헤드 설치를 통하여 소비를 줄일 수 있을 것이며, 급탕온도차의 경우 폐열회수기를 이용하여 줄일 수 있다. Table 12는 폐열회수기의 효율에 따른 에너지 절감효과를 예측한 것으로 효율이 60%인 폐열회수기를 사용할 경우 212 MWh/yr를 절약할 수 있고, 이는 연간 급탕에너지의 27%이다.

#### 5.3 환기에너지

실내수영장에서 환기에너지가 큰 이유는 다량의 외기가 필요하기 때문이므로 배열회수기를 이용하여 배기되는 열을 재활용하는 방안이 필요하다. 수영장 환기를 위해 일반적으로 사용되는 전외기 방식 HV유닛의 경우 급기온도와 배기온도가 동일하므로 배열회수기의 효율과 같은 비율의 가열코일에너지를 절감할 수 있다. 효율이 60%인 배열회수기를 설치할 경우 절감되는 가열코일에너지는 238 MWh/yr가 되고, 이는 연간 환기에너지의 43%에 해당하는 양이다.

환기에너지를 줄이기 위한 다른 방법으로는 외기도입량을 최소화하는 것이다. 즉, 수영장의 공기 중 오염물질의 농도 및 수증기량의 측정을 통해 최소의 환기회수를 유지하는 것이다. 국내의 많은 실내수영장의 경우 환기에너지를 줄이기 위해 계절별로 다른 환기회수를 적용하고 있다. 환



Table 13 Energy savings by reducing air change rate

Measure	Energy consumption (MWh/yr)	Annual energy savings		
		Amount (MWh/yr)	Ratio	Cost (₩1,000)
Before	556	-	-	23,241
After	273	283	51%	13,347

기량을 3 ACH의 설계외기량에 대해 하계 100%, 중간기 50% 및 동계 25%로 줄여 운전할 경우 Table 13과 같이 283 MWh/yr를 절약할 수 있고, 이는 연간 환기에너지의 약 51%에 해당하는 양이다.

5.4 실난방에너지

난방에너지를 절약하기 위해 일반적으로 외피의 단열성능의 강화, 창면적비의 감소, 방위의 조절 또는 야간 단열블라인드를 설치하는 방안이 많이 사용된다. 기준모델의 경우 외피의 단열성능이 우수한 편이므로 외피의 열관류율을 낮추어도 에너지 절약효과는 그다지 크지 않았으며, 또한 야간 단열 블라인드를 사용할 경우 수영장 내부에 설치하면 실내수영장의 특성상 단열재 면에 결로 발생이 불가피하여 단열효과가 없을 것으로 사료된다.

Fig. 6은 창면적비 변경에 따른 실난방에너지로, 기준모델에서 창면적비(WWR)가 감소할수록 겨울철 난방에너지는 감소하는 반면, 중간기 난방에너지는 증가하여 전체적인 실난방에너지가 증가하고 있음을 발견하였다. 이것은 기준모델의 차폐계수가 0.83으로서 중간기 동안에 창을 통한 일

사의 유입이 많기 때문이다. 그런데 창면적비가 증가할수록 여름철에 실내가 과열될 위험성이 커지며, 창면적비가 지나치게 작으면 낮 시간의 조명에너지가 많이 소비되므로 차폐계수뿐만 아니라 냉방필요 가능성, 주간 조명에너지를 모두 고려한 창면적비의 선정이 요구된다.

또한 방위별 외피난방부하는 장변이 남향일 경우 84.3 MWh/yr, 남동향일 경우 87.1 MWh/yr, 동향일 경우 85.8 MWh/yr로 장변이 남향일 경우가 에너지 절약적 차원에서 약간 유리한 것으로 파악되었다.

6. 결론

실내수영장의 에너지 소비요소별 에너지 절약방안에 대한 효과를 에너지 소비 기준모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 예측하고자 한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 실내수영장의 전체 에너지 소비량에 대한 에너지 소비요소별 에너지 소비량은 용수가열에너지에 의한 것이 35%로 가장 많으며, 다음으로 급탕에너지에 의한 것이 33%, 환기에너지에 의한 것이 24%, 실난방에너지에 의한 것이 4%, 조명 및 기기에너지에 의한 것이 4%인 것으로 분석되었다.

(2) 용수가열에너지의 경우 폐장 시간대에 수분 증발방지 덮개를 설치하여 전체 용수가열에너지의 25%를 절약할 수 있으며, 급탕에너지를 절약하기 위하여 효율이 60%인 폐열회수기를 사용할 경우 전체 급탕에너지의 27%를 절약할 수 있다. 환기에너지는 3 ACH의 설계외기량에 더해 효율이 60%인 배열회수기를 설치할 경우 전체 환기에너지의 43%를 절약할 수 있다. 실난방에너지의 경우 창면적비의 증감에 의한 난방에너지의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 용수가열에너지 및 급탕에너지를 기존 P 실내수영장의 사용량에 대한 실측치를 이용해 예측한 것으로 추후 연구에서 보다 일반

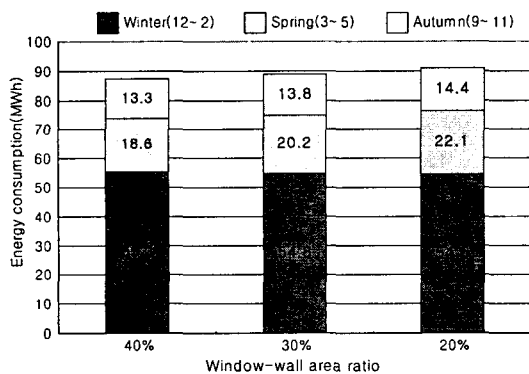


Fig. 6 Energy consumption for each window-wall area ratio.

적인 수영장을 대상으로 에너지 소비량이 예측되어야 하며, 또한 실내수영장의 전체적인 에너지 절약방안의 보다 정확한 효과 예측을 위해서는 각 에너지 소비인자들간의 상관관계에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 서울대학교 공학연구소의 연구지원으로 진행되었다.

### 참고문헌

1. Korea institute of energy research, 1992, Development of Design Guidelines for Energy Conservation in Bathing and Indoor Swimming Facilities, pp.130-191.
2. John, G. and Heard, H., 1987, Handbook of sports and recreational building design, Vol. 1, Ice rinks and swimming pool, The architectural press, pp.95-106.
3. Trianti-Stourma, E. and Balaras, C. A., 1998, Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools, Energy and Buildings, Vol. 27, pp. 123-135.
4. Johansson, L. and Westerlund, L., 2001, Energy savings in indoor swimming-pools: Comparison between different heat-recovery systems, Applied Energy, Vol. 70, pp.281-303.
5. Smith, C. C. and Jones, R. W., 1998, Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use, ASHRAE Transactions, Vol. 104, Part 1, pp. 514-523
6. Yilmaz, T. P. and Aybar, H. S., 1999, Evaluation of the Correlations for Predicting Evaporative Loss from Water Body, ASHRAE Transactions, Vol. 105, Part 2.
7. Kim, K. W., 2002, A Study on the Performance Improvement of the Thermal and Sonic Environment of Posco Gymnasium, Department of Architecture, Seoul National University.
8. Los Alamos Scientific Laboratory, 1980, DOE-2 Reference Manual Version 2.1A, LBL.
9. LBL, 1993, DOE-2 Supplement Version 2.1E, LBL.