

건물의 냉방을 위한 해수열 취득에 관한 실험적 연구

김기철† · 이 성*

(원고접수일 : 2005년 5월 25일, 심사완료일 : 2005년 10월 28일)

A new method to convert into seawater heat for the indoor air-conditioning resource

Ki-Cheol Kim† · Seong Lee*

Abstract : The industrial growth and the raised living quality have led to the massive energy consumption. As a result, the polluted environment and the limited amount of energy resources emerged as serious problems to be resolved in 21st century. Especially, in the case of Korea whose imported energy dependency rate is 98.2% in 2003 and constantly increasing every year, more than 24% of overall energy consumption is for housing and commercial use. In order to cope with the shortage of natural energy resources, it is inevitable to develop alternative sustainable energy resources including seawater heat, so that they can replace existing resources. The heat transfer air velocity, 3.5 m/s is proper to consideration with the body, the pipe size 200A is more suitable than 100A due to the air velocity quantity and the ratio of pipe surface area. And the error between experimental data with simulation is below 5.34%, so the suggested equation for calculating heat transfer capacity can be used. Therefore, out of many methods utilizing seawater heat, this work presents the efficiency of using sea water heat as a resource for air-conditioners which can be converted from the outside air through the air-to-heat conversion tube. Consequently, this method provides pretty reasonable energy efficiency.

Key words : Seawater heat(해수열), Air-conditioning(냉방), Utilization of renewable energy(미이용 에너지), Heat transfer(열전달)

1. 서 론

산업의 발전이나 생활수준의 향상, 또한 세계적

인 인구증가에 의해 석유등의 에너지 자원의 고갈 문제가 크게 대두되어 왔다. 또한, 대량의 화석연료소비에 의해 발생하는 대기오염, 산성비, 탄산가

† 책임저자(동의대학교 대학원 건축공학과), E-mail:am7811616@hanmail.net, Tel: 051)781-1616

* 동의대학교 건축설비공학과

스에 의한 지구의 온난화, CFC계 냉매에 의한 오존층 파괴라는 환경문제가 21세기를 맞이하는 지금 해결하여야 하는 문제가 되었다. 이런 문제에 대한 하나의 대책으로, 대도시에서는 가정용 에너지 수요의 증가, 지역전체의 에너지 유효이용이라는 관점에서 미이용 에너지원의 저온배열을 실질적으로 이용하는 히트펌프 시스템과 지역 냉난방에 대한 관심이 높아지고 있다^{[1]~[3]}.

또한, 1970년대에 두 차례에 걸친 세계적인 에너지 파동으로 부존에너지의 제한성을 인식하고 화석연료에너지를 기본으로 형성된 현대산업사회의 취약성과 환경오염의 심각성에 직면하여, 인간이 "자연과의 투쟁"에서 "자연과의 조화"로의 전환이 필요함을 실감하게 되었다. 더욱 심각한 상황은 지금과 같은 화석연료의 사용이 계속될 경우, 전 세계 에너지 매장량의 가채년수(可採年數)를 기준으로 할 때, 21세기 중반이 되기 전에 거의 고갈될 것이라는 점이다. 1920년대부터 근대건축이 발전하면서 인공적인 실내환경조절을 통한 막대한 에너지를 소비하였으며, 그 결과로 건축이 지구환경을 오염시키는 데 큰 역할을 하게 되었다^{[4], [5]}.

우리나라의 경우, 에너지 수입의존도는 1995년에 96.8%로서, 매년 증가 추세에 있으며, 주택 및 상업부분은 전체 에너지소비의 24%를 상회하는 에너지 다소비하는 분야이다. 그리고 수입에너지의 대부분은 원자력을 제외한 화석연료에너지이다. 1995년을 기준으로 국가 별 GDP대비 1차에너지 소비비율은 우리나라가 일본의 3.3배, 미국의 1.1배를 더 소비하고 있다. 국가적 차원에서 에너지 절감을 통한 과도한 에너지수입비용을 절감시키고, 화석연료에서 발생하는 공해물질의 배출을 완화시켜야 하는 것은 중요한 국가적인 과제이다. 이러한 맥락에서 재택근무에 대한 요구가 증가하게 될 것이며, 미래의 멀티미디어(Multi Media)의 가속적인 발전은 재택근무체제(在宅勤務體制)로의 빠른 전환을 가져 올 것이다. 이는 도시업무의 일부 및 전부를 가정으로 이전시킴으로써, 에너지 수요를 분산시켜 저밀도의 대체에너지 사용을 용이하게 할 수 있을 것이다.

이러한 점에서 해수열(海水熱)과 같은 지속가능한 대체에너지의 활용방안의 모색과 저밀도의 해수열을 냉난방에너지로 활용하기 위한 에너지원(源)으로써 해수열의 이용가능성을 연구하는데 그 목적이 있다.

2. 해수열 취득을 위한 이론해석

2.1 해수열의 개요

미이용에너지(Unused Energy)는 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 도시지역 내에서 생활, 업무, 생산 활동을 위해 투입된 에너지 중 유효하게 이용되지 않고 환경 중에서 배출되고 있는 각종 온도의 열에너지이다. 이중에는 폐기물 소각열, 해수열, 공장배열 등이 속한다. 다른 하나는 자연에 풍부하게 존재하는 자연에너지 중 그 활용이 도시 환경에 생태학적으로 크게 영향을 주지 않는 온도차 에너지이다. 온도차 에너지에 해당하는 것은 여름에는 대기온도보다 낮고 겨울에는 대기온도보다 높은 물인데, 이것에는 하천수, 해수, 지하수 등이 포함된다.

우리나라의 미이용(활용)에너지원 부존량은 하천수열이 81.4%로 가장 많고, 그다음이 해수열 11.5%, 하수처리수열 6.8%, 소각열 0.4% 순이다^{[6]~[8]}.

이런 미이용 에너지 중 해수가 갖는 열에너지의 특성은 자연에너지로서 온도의 계절간, 일간 변동이 적고 동결온도가 -1.9°C 로 낮아 저온까지 열이용이 가능하며, 여름은 해수의 평균온도는 $21\sim 22.2^{\circ}\text{C}$ 이고, 또한 부존량은 거의 무한이며, 지역별 부존량을 보면 Table 1 처럼 인천광역시, 부산광역시, 울산광역시, 강릉시, 군산, 서귀포시 등 7개 해안도시에서의 해수 열에너지 부존량은 27,160 Tcal/년 정도이며, 이는 해안선 1km 당 약 5,000세대의 아파트를 난방할 수 있는 막대한 열량이 부존하고 있는 것으로 나타났다^{[9], [10]}.

전 해양의 평균 표면 수온은 약 17.5°C (북반구 19°C , 남반구 16°C)이고, 표면에서 해저까지 전 해양의 평균 수온은 약 3.5°C 이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 부산지역의 일 일 중 해수온도의

변화는 거의 없이 균일하고, 특히 부산지역의 해변가 연안의 평균수온 변화는 하절기 7월에서 8월까지는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 해변가의 최대 온도 온도인 30~33℃에 비하여 21~22℃로서 온도차가 큰 만큼 냉방에 이용할 수 있는 활용 가치가 있다. 전 구간을 충분히 단열하였으며 외부와의 열교환은 무시하였다.

Table 1 Sea water energy

지역	해수열에너지 부존량 (Tcal/month)
인천광역시 (영종도 포함)	487
부산광역시 (가덕도 포함)	488
울산광역시	410
강릉시	136
군산시	199
목포시	301
서귀포시	242

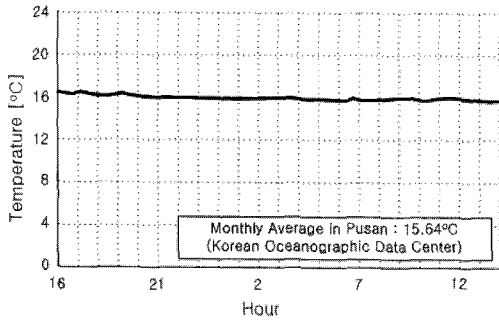


Fig. 1 Variation of seawater temperature in Busan

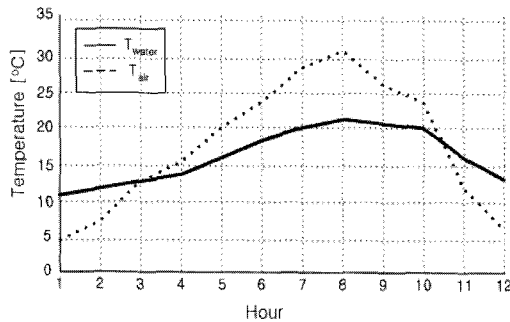


Fig. 2 Comparison with seawater temperature and air temperature in Busan

2.2 해석모델 및 지배방정식

해수 중에 매설된 매설관에서 일어나는 열전달 현상을 해석하기 위하여 Fig. 3과 같은 열전달 모델을 세우고 매설관 유출구의 상승온도 $T_{b,o}$ (Bulk temperature at the pipe outlet)를 구하고자 한다.

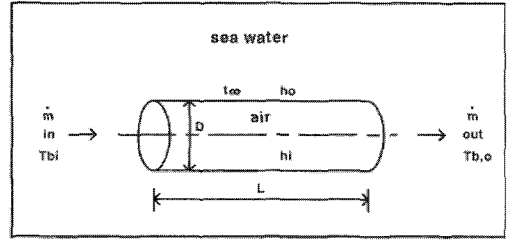


Fig. 3 Modeling

매설관내 유체의 평균 유속 U_m 을 구하기 위해 다음 식 (1)을 이용하였다.

$$U_m = \frac{\dot{m}}{\rho A_i} = \frac{4 \dot{m}}{\rho \pi D^2} \quad (1)$$

여기서, D 는 매설관의 직경 [m]을 나타내고, ρ 는 공기의 밀도[kg/m³]를 나타내고, \dot{m} 는 질량유량 [kg/s]를 나타내며, A_i 는 전열면적으로 다음 식 (2)으로 계산하였다.

$$A_i = 2\pi r_i L \quad (2)$$

여기서, r_i 는 관 내경 [m]을 나타내고, L 은 매설관의 길이 [m]를 나타낸다.

매설관 파이프 유출구에서 상승한 온도 $T_{b,o}$ [K]는 다음 식 (3)[11]로 구하였다.

$$T_{b,o} = T_{\infty} - \exp\left(-\frac{U_i A_i}{\dot{m} C_p}\right) (T_{\infty} - T_{b,i}) \quad (3)$$

여기서, U_i 는 매설관 전체의 열통과율 [W/m²K]을 나타내고, $T_{b,i}$ 는 파이프 입구 온도를 나타내고, C_p 는 공기의 비열을 나타낸다.

매설관내 유체의 대류 열전달 계수 h_i [w/m²K]는 Dittus-Boulter식을 이용하여 다음 식 (4)[11]으로 계산하였다.

$$h_i = \frac{k_f}{D} Nu = \frac{k_f}{D} (0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}) \quad (4)$$

여기서, k_f 는 공기의 열전도율 [$W/m \cdot K$]을 나타내고, Nu 는 너셀수, Re 는 레이놀즈수, Pr 는 프란틀수를 나타낸다.

매설관내 방열열량은 다음 식(5)로 계산하였다.

$$Q = mc_p \Delta t \quad (5)$$

여기서, m 은 공기의 유량 [kg/h], Δt 는 매설관 입·출구 온도차를 나타낸다..

2.3 해석조건

수중매설관의 각 재질(材質)과 길이에 따른 유입, 유출구들의 온도분포 상태를 비교하기 위해 Table 2와 같은 4종류의 관 재료와 각 재료별로 직경 다른 2개의 관을 선택하여 실내 냉방용 적정 기류인 3.5m/s와 저속인 0.5 m/s의 두 가지 유속으로 분석하였다. 여기서 본 실험에 사용된 합성관은 천연고무에 대하여 인공적으로 합성해서 얻는 고분자물질의 하나로 그 종류가 많다. 아세틸렌으로 만든 클로로플렌계나 부타디엔계는 대표적으로 내열, 내유, 내마모성이 우수하다. 또한, Table 2에 200 Φ 관의 열전도도 및 관벽 두께를 나타내었다. Table 3에 위에서 언급한 해석조건을 나타내었다.

Table 2 Specification of pipe type

관 종류	내경 [mm]	
	100 Φ	200 Φ
동관(L-type)	99.21	196.22
탄소강 강관	107.8	200
염화폴리에틸렌관	107.8	204.8
합성관	101.6	203.7

관 종류 (200 Φ)	두께 [mm]	열전도율 [kW/mK]
동관(L-type)	5.08	0.39
탄소강 강관	5.85	0.05
염화폴리에틸렌관	8	0.000036
합성관	13	0.00019

여기서, 해석을 위해 다음과 같은 가정을 두었다. 관내에 흐르는 유체는 안정된 상태(steady state), 일정 물성치(constant properties)로 완전발달한 유동(fully developed flow)의 유동을 가지며, 파이프 배열효과 무시(neglect pipe arrangement effect)한다.

여기서, 해석을 위해 다음과 같은 가정을 두었다. 관내에 흐르는 유체는 안정된 상태, 안정된 물질로 완전 발달된 유동을 가지며, 파이프 배열효과 무시한다.

Table 3 Conditions of various parameters

Parameters	Values
Pipe type	Copper pipe, Steel pipe, PVC pipe, Synthetic pipe
Velocity [m/s]	0.5, 3.5
Pipe diameter [mm]	100, 200 Φ
Sea water temp. [°C]	19~23
Inlet temp. [°C]	30~34

3. 이론해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5에서 관경 100 mm의 재질별 결과를 보면 처음 시작점에서는 온도변화가 완만하지만 30m부터는 1~4%의 적은 차이를 보이고 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 관경 200 mm의 재질별 결과를 보면 50 m부터는 0.3~5.5%의 적은 차이를 보이고 있으므로 해수방열을 위한 관의 재질로는 어떤 재질을 사용하여도 무방하다고 사료된다.

해수의 특성상 매설관의 재질로는 동관과 유속에 따라 100 mm에서는 0.3~1%, 200 mm에서는 1~2% 미만의 차이를 보이는 합성관이 경제성, 시공성, 부식성, 유지관리 및 초기 투자비를 고려할 때 가장 합리적인 것으로 사료된다.

관경과 유속에 따른 송풍량을 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다. Table 4의 결과를 보면 송풍량은 같은 관경으로 비교해서 유속이 빠를수록 송풍량의 비가 커짐으로 해서 단위면적당 열교환이 많은 효과가 있을 것으로 보인다.

열전달 계산 데이터로 방열열량을 식 (5)를 이용해 계산한 결과를 Table 5에 나타내었다. 열교환에 따른 관경 선정은 관의 표면적비 1.953에 비해 5.14배율을 나타내는 100 mm가 효과적이며, 유속에서는 3.7배를 는 100 mm가 효과적이며, 유속에서는 3.7배를 나타내는 0.5 m/s의 유속이 효과적인 것으로 나타났다.

4. 해수열 취득 실측 실험

4.1 실험장치

위와 같은 이론을 근거로 해수열의 취득효과가 이론과 실측에서 차이를 알아보기 위해 다음과 같은 방법으로 실측을 수행하였다.

Table 4 Air flow rate with pipe diameter and velocity

관경 \ 유속	0.5 m/s	3.5 m/s	배율
100 mm	14.58	102.1	7.0
200 mm	58.63	410.41	7.0
배율	4.02	4.02	

Table 5 Heat transfer capacity [W]

관경 \ 유속	0.5 m/s	3.5 m/s	배율
100 mm	57.66	296.24	5.14
200 mm	213.48	724.26	3.93
배율	3.70	2.45	

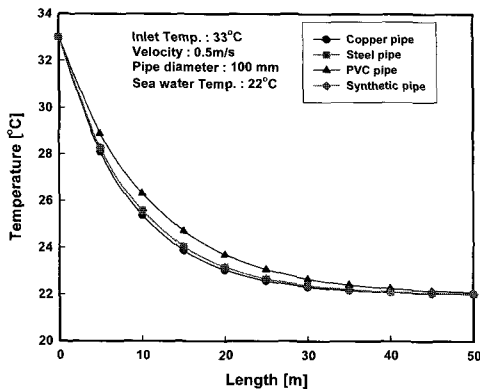


Fig. 4 Bulk temperature at the pipe outlet

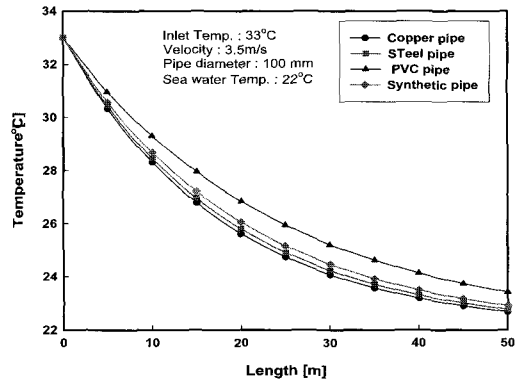


Fig. 5 Bulk temperature at the pipe outlet

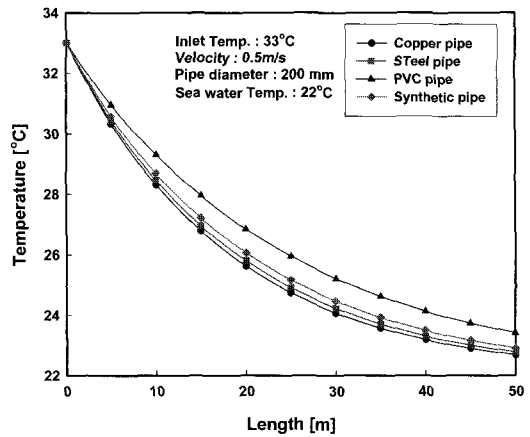


Fig. 6 Bulk temperature at the pipe outlet

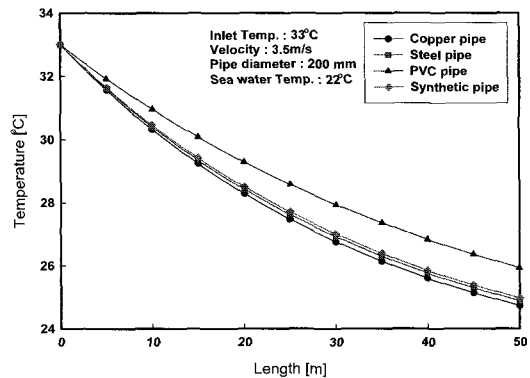


Fig. 7 Bulk temperature at the pipe outlet

실험장치는 부산광역시 기장군 시랑리 408-1번 지 소재 국립수산과학원 내 각 장내 Fig. 4.2와

같은 해수공급 독크 내에 합성관을 설치하여 측정하였고, 2004년 하절기인 7월 하순에 측정 테스트를 거쳐 8월 1일부터 8월 31일까지 우천일을 제외한 날들에 실시하였다.

연 평균적으로 7월 20일경부터 8월 20일까지 일일 최고기온이 30도를 넘어서 냉방이 요구되는 시점을 선정하여 측정하였다.

아래의 Fig. 8은 본 채열 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 그림과 같이 해수면 아래 3m에 소직경 1m의 해수로를 통하여 가로 4m × 세로 4m × 깊이 5m의 해수저장탱크에 자연적으로 해수가 취수되면 여기에서 직경 200×150mm의 해수용 볼류트 펌프(유량 6.5m³/min, 양정 24m, 모타 50hp)로 20m거리의 좌측의 공급 독크에 24시간 자동 공급이 된다.

이로서 해수는 취수장을 거쳐 공급독크에서 바로 각 소요처로 공급됨으로 해수온도는 실 해수중 온도와 독크내의 온도는 약 .05도 이내의 차이를 보이고 있다..

해수면에서 깊이 2m이상 수중에서 부터는 태양열등 외기 온도와는 거의 영향을 받지 않기 때문에 해수 중 3m이상의 깊이로 실험용 합성관을 설치하였다.

해수 중 열교환용 합성관을 설치하는 방법은 부산 연안의 바닷가는 열교환용관을 설치하여 냉방을 이용할 수 있는 장소에는 거의가 수심 2~3m 정도이므로 부력을 고려한 콘크리트 양카를 2m간격으로 합성관에 와이어 로프로써 해수 중 저면의 높이를 고려하여 고정 길이를 조정하여 그대로 해수 중 투하함으로써 설치하였다.

해수공급용 독크내 해수가 유입되는 두 번째 칸에 합성관을 50m(시뮬레이션에 의해 50m정도에서 해수열 교환을 거의 5%이내까지 취득됨으로)를 독크를 비운상태에서 부력에 의한 합성관의 부상을 방지하도록 임시용 앵글 가대를 앵크로 해서 100mm 합성관을 설치하였다.

여기에 유입구 쪽에는 씨로코 1hp 송풍기를 설치하여 주위의 외기를 계속 공급 하였고 출구 쪽에는 Table 4.2의 계측기를 설치 유입구, 유출구 공기온도와 유출공기의 유속을 측정하였다.

Table 8 Specification of measuring equipments

기자재명	규격	오차범위
시험장치기록계	DATA-CONTROL 4.1	-
온습도풍속계	TSI CALC plus	-
휴대용 온도측정기	FOX - 1004	± 0.5℃
다점 온도측정기	ALME MD-5590	-

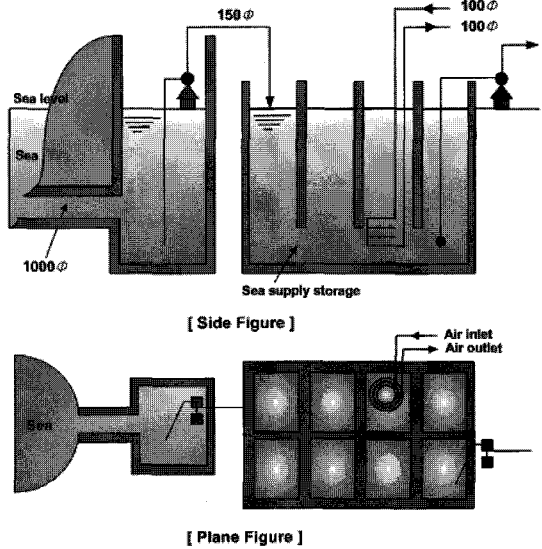


Fig. 8 Schematic diagram of experimental apparatus

측정은 매일 10시 30분부터 송풍기를 가동하여, 7월에는 합성관 설치고정과 측정기기 고정 등 테스트를 마치고 8월 1일부터 8월 31일까지 우천일을 제외한 날들에 측정하였다.

측정 기간 중 맑은 날, 외기온도 30℃이상 되는 날을 선정하여 다점온도측정기(ALME MD5590), 온습도풍속계(TSI CALC PLUS), 휴대용 온도 측정기(FOX-1004) 등의 실험측정 장비로서 측정하였다. Fig. 6은 실험에 사용된 계측장비의 사양과 오차범위(신뢰도)를 나타낸다.

4.2 실험결과 및 고찰

실험실의 실측치 결과를 아래 Table 6에 나타내었다. 또한, Table 6에 상기측정치의 조건 준하여 시뮬레이션한 결과치와 실측치를 비교하여 그

오차를 나타내었다.

Table에 나타난 실험결과와 측정치와 열전달 수식에 의한 이론결과와는 각각의 오차는 2.62~8.83% (전체평균오차 5.34%의 차이를 나타내고 이 오차는 실험실의 장치설치와 열전달 수식의 여러 요소에 의해서 근사의 차이를 나타낸다고 사료되며, 열전달 수식으로 계산하여도 취득열량을 유추 할 수 있다고 생각된다..

Table 6 Comparison between analysis and experimental results

일차	해수 온도	유속 [m/s]	유입구 온도 [°C]	이론해석 유출 온도 [°C]	실측치 유출 온도 [°C]	오차 [%]
7.28	20.10	3.95	33.00	25.74	24.90	3.26
7.28	20.60	3.89	32.90	25.91	24.80	4.28
7.28	20.70	3.95	31.60	25.47	23.80	6.56
7.29	19.80	3.37	32.40	24.68	22.50	8.83
7.29	19.80	3.40	31.90	24.52	22.60	7.83
7.29	19.90	3.42	32.00	24.64	22.90	7.06
7.29	20.30	3.39	32.40	25.00	23.40	6.40
8.05	25.40	4.13	31.10	27.98	27.20	2.79
8.05	25.40	4.22	30.70	27.83	27.10	2.62
8.05	25.40	4.21	30.30	27.64	26.60	3.76

5. 결 론

해수열의 이용을 위해 이론과 실측을 통해 그 이용효과를 연구하여 보았으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 수중 매설관 선정은 초기투자비의 경제성, 시공의 용이성, 유지관리가 용이하고, 열전달 계산식에 의해서 방열면에서 열교환 길이가 35 m 이상 포설시 거의 타 재질과 유사하며, 경제적인 life cycle cost의 점을 감안하면 합성관을 사용하는 것이 가장 바람직하다.

3) 열교환 공기의 유속은 인체에 크게 영향을 미치지 않은 실내냉방에 적합한 3.5m/s전후의 기류속도가 가장 적합하며, 매설관의 size는 100A 관 보다는 200A관이 단면적에 대한 송풍량과 관 표면적비가 양호하여, 열교환면에서 적합하다고 판단된다.

4) 주어진 열전달 식을 이용하여 해수열 취득에 관한 열량계산을 하여도 실험에 의한 실측치와는 평균 5.34%미만의 오차를 보이고 있어 필요한 계산식으로 이용 하여도 무관할 것으로 사료된다.

5) 해수 중에 열교환용 매설관을 설치하여 유입 공기의 온도를 저온인 해수온도를 이용하여 방열하므로 여름철 냉방에 이용 가능케 할 수 있을 것으로 사료되며, 무한한 해수에너지를 냉방에 이용함으로써 앞으로 다가올 에너지 부족에 따른 문제점을 일부 해결하는데 일조를 할 수 있다고 판단 된다.

참고문헌

- [1] 박준택, 방광현, “해수열에너지를 이용한 지역 열 공급시스템”, 설비, 19권, 3호, 2002.
- [2] 박준택, “온도차에너지를 이용한 지역난방기술”, 지역난방기술, Vol. 8, pp.126-142, 2002.
- [3] 박준택, “해수 열에너지의 현황과 전망”, 한국설비기술협회지, 20권 6호, 2003.
- [4] 장기창, 박준택, “온도차에너지이용사례”, 대한설비학회에너지관리부문워크샵, 2001.
- [5] 도근영, “해수를 이용한 지역 냉난방 시스템”, 건축설비, 2권, 4호.
- [6] 박준택, “국내 온도차 에너지의 부존량 조사”, 한국설비기술협회지, 29권, 3호, 2002.
- [7] 박준택, 방광현, “해수열에너지를 이용한 지역 열 공급시스템”, 한국설비기술협회지, 29권, 3호, 2002.
- [8] 연안정지 해양관측 자료, 한국해양자료센터, 1986-1995.
- [9] 방광현, 이경중, 조성화, 박준택, “해수 열에너지 부존량에 관한 연구”, 공기조화냉동학회 하계학술대회, 1998.
- [10] 박준택, “온도차 에너지기술”, 기술개발, 39, pp. 130-145, 1999.
- [11] 이택식, 이재현, 이준식, “Incropera & Dewiff”, p. 406, 1998.

저 자 소 개



김기철 (金基澈)

1950년 7월생, 1997년부경대 산업대학원 졸업(석사), 2003년 동의대 대학원 건축공학과 박사과정수료, 현재 (주)초정 전무, 동의대 건축설비과 겸임교수



이 성 (李星)

1974년 연세 대학교 건축공학과 졸업, 1979년 독일 하노버 대학교 석사과정 졸업, 1993년 독일 하노버 대학교 박사 과정 졸업, 전공분야 : 건축 환경 공학 (태양 에너지), 현재 동의대 건축공학과 정교수