

월동시 양식장의 연료 절감 대책

박 종 운 · 한 규 일*

(여천실업고등학교 · *부산수산대학교)

기 호

- A : fin의 단면적 m
 A_m : fin의 측면적 m²
h : 열 전달 계수 W/m² · °C
 κ : 열 전도율 W/m · °C
P : fin의 주변장 m
Z : fin의 폭 m
L : fin의 높이 m
 L_c : 수정된 fin의 높이 m
t : fin의 두께 m
 η_f : fin의 효율
 π : 원주율
D : 지름 m
 θ_0 : 바닥 온도와 유체 온도와의 차이 °C
 T_w : 튜브의 벽 온도 °C
 T_b : 혼합 평균 온도 °C
 T_{b1} : 혼합 평균 온도(입구) °C
 T_{b2} : 혼합 평균 온도(출구) °C
 T_0 : fin의 바닥 온도 °C
 T_u : fin과 접촉한 유체의 온도 °C
m : 질량유량 Kg/s
g : 단위 길이당 열 이동량 W/m
 C_p : 비열

I. 서론

양식 어류는 늦봄과 하절기와 초가을에는 수온이 적절하여 수온을 유지하기 위한 난방의 필요성은 없으나, 늦가을부터 겨울, 이른 봄까지는 수온이 떨어져 어류의 성장에 지장을 초래하며, 또한 질병에도 약한 특성을 보이고 있다. 그래서 양식 어류가 동절기를 보내기 위해서는 양식장에 가온조 시설을 해주어야 한다. 이와같이 양식 어류를 질병 없이 정상적인 성장을 도모하기 위해서는 가온조 시설의 필요성은 크지만 기존의 양식장에서는 가온조 시설을 하지 못하거나, 또는 시설을 해놓고 있지만, 완전히 가동하고 있지 않고 있다. 특히 영세한 양식장의 경우는 대부분 이러한 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그 이유는 보일러를 가동하는 데 소모되는 연료의 소비량이 많아서, 그것에 의한 경비 지출이 상당히 들기 때문이다. 보일러에 사용되고 있는 연료로는 방카 C유, 경유, 휘발유, LPG인데 이중에 가장 연료비가 저렴한 것은 방카 C유이다. 방카 C유는 가격이 저렴한 반면 이 연료를 사용할 경우 설치하는 경비가 비싸서 시설에 어려움을 겪고 있다. 그리고 주로 영세한 양식장에서는 경유를 사용하는 보일러를 많이 쓰고 있는데, 월동 기간이 년중 4개월 이상되기 때문에 영세한 양식장에서는 막대한 경비를 충당할 수 없어서 동절기에는 양식을 그만두고 전업을 해야하는 처지에 놓이게 되기도 한다. 다만 해산어의 경우에는, 바다에 가두리를 설치하여 월동을 하는 경우가 있다. 설령 가온조 시설을 하였지만 단열시설을 해놓지 않아서 온수를 순환시킬 때 열손실이 크게되어 열이 낭비 되기도한다. 그래서 가온조 시설의 설치를 할때 단열효과를 극대화 할 수 있는 방안을 제시하여 영세성규모의 양식장에 효율성이 높은 가온조 시설을 해서 연료를 절감하여 경쟁력을 높일 수 있도록 하고자 한다. 본 연구는 현재 가온 시설로 가장 많이 사용하고 있는 가온 튜브인 엑셀 튜브와 재질이 다른 동 튜브, Copper - Nickel 튜브와 AL - Brass 튜브를 사용하여 열 전달율과 부식성 정도를 조사하였다.

II. 이론적 배경

1. 튜브의 종류

(단위 mm)

Item NO	Tube의 종류			
	1	2	3	4
Tube 종류	XL Tube	copper	Copper - Nickel	AL - Brass
Fin 외경(Df)		19.05	19.05	19.05
Fin근원경(Dr)		15.88	15.88	15.88
Fin 내경(D0)		13.4	13.4	13.4
Fin바닥두께 t		1.24	1.24	1.24
Fin 높이(H)		1.58	1.58	1.58
재 질	엑셀	C 1220T	C 7060T	C 6870T
관외 표면적(m ² /m)	0.0597	0.0597	0.1575	0.1575
관내 표면적(m ² /m)	0.0502	0.0493	0.0427	0.0427
관내외 면적비	1.19	1.21	3.69	3.69

2. 재질에 따른 열 전달율

물질 내에서 열 에너지는 높은 온도로부터 낮은 온도로 이동한다. 이러한 열은 이동하는 속도에 따라 다르며, 금속 중에는 열을 가장 잘 전달하는 것은 은이 열 전도율이 가장 높다. 그 다음은 구리이고, 알루미늄, 마그네슘, 철, 납의 순서로 되고, 비금속에서는 수정, 마그네사이트, 대리석의 순서이다". 액체는 수은, 물, 프레온의 순서이다". 기체는 수소, 헬륨, 공기의 순서로 열 전달이 이루어진다. 금속 중에 열 전도율이 가장 큰 은은 열 전도성은 매우 좋지만, 너무 가격이 비싸기 때문에 경제성이 떨어진다. 순동은 열 전도율이 은 다음으로 높아 379 W/m.℃이고", 가격도 저렴하여 열 교환기에 많이 사용되고 있다. 그리고 순수한 동은 재질이 연하여 변형이 잘 되고 또한 부식도 쉬워 동의 합금을 사용하였다. 동 합금의 종류로는 니켈이 함유된 백동이 있고, 알루미늄, 아연, 주석의 합금인 AL-Brass 튜브가 있다. 그리고 부식성이 매우 좋은 티타늄이라는 재질도 있다. 비금속으로는 XL-튜브가 있고, 또한 한양 화학에서 개발한 XK-PE 파이프도 있다. 최근에 유공에서 개발한 알루미늄과 합성수지로 제작한 유공 카이텍 파이프도 있다. 본 실험에서는 XL-튜브와 동 튜브, 동과 니켈의 합금 튜브와 AL-Brass 튜브를 실험하였다. 그런데 요즘은 주택 뿐만 아니라 양식장의 가온 시설로 가장 많이 쓰이는 것은 엑셀 튜브이다 이 튜브를 선호하는 것은 값이 싸면서 구입하기가 쉽다는 장점이 있다. 그래서 본 실험에서는 이 엑셀 튜브의 열 전도율을 실험을 통해서 검증하고, 이것보다 열 전도율이 뛰어난 동 합금을 사용할 때의 연료 효율을 알아보았다.

3. 핀의 형상에 따른 열 효율

원통면에 핀이 가공된 형상은 여러 가지로 다양하다. 원통 주위에 원주 방향의 수직 핀의 핀들이 연속적으로 부착되어 있는 Vertical-Plate의 형태가 있으며, 이것은 Hirasawa²⁾와 Mori³⁾가 연구하였는데, 포물선과 삼각형 형상의 수직핀에 관하여 표면 장력이 중요시되는 응축 이론을 개발하였다. Gregoring⁴⁾는 볼록하고 수직인 표면 형상은 응축액 배출을 개선하기 위한 홈의 볼록한 부분을 수평 파형의 골 형상을 연구하였다. Rudy 와 Webb⁵⁾는 다양한 'ntegral-fin 튜브의 응축액 역류 각도를 측정했다. 그들은 핀 사이의 튜브 표면에 응축액이 역류하고 있는 사실을 알게 되었다. 역류 표면의 증가는 응축률 효과의 감소를 의미한다. 이와같이 면적을 변수로 생각하여 기초 미분 방정식의 해와 수학적인 방법으로 핀의 효율을 계산하면 다음과 같다.

$$\eta_f = \frac{\text{실제로 전달되는 열량}}{\text{핀 전 표면의 전달되는 열량}} \quad (\eta_f \text{는 핀 효율})$$

$$\eta_f = \sqrt{\frac{h \cdot p \cdot k \cdot A \theta_0 \cdot \tanh mL}{h \cdot p \cdot L \cdot \theta_0}} = \frac{\tanh mL}{m \cdot L}$$

핀은 충분히 폭이 넓고, 열 흐름은 1 차원 이라고 가정하면

$$mL = \sqrt{\frac{h \cdot p}{k \cdot A}} L = \sqrt{\frac{h(2z+2r)}{k2t}} L$$

핀의 폭이 충분히 크다고 하면, $2Z$ 는 $2t$ 에 비해서 크므로 다음과 같다.

$$mL = \sqrt{\frac{2h \cdot z}{k \cdot t \cdot z}} L = \sqrt{\frac{2h}{k \cdot t}} L$$

분모 분자에 $L^{\frac{1}{2}}$ 을 곱하면

$$mL = \sqrt{\frac{2h}{k \cdot L \cdot t}} L^{\frac{3}{2}}$$

$L \cdot t$ 는 핀의 측면적이다. 이것을 $Am = L \cdot t$ 라 하면,

$$mL = \sqrt{\frac{2h}{k \cdot A \cdot m}} L \cdot A^{\frac{3}{2}}$$

여기서 fin의 길이가 두께의 $\frac{1}{2}$ 이 된다고 하면, 끝이 단열된 fin에 적용하는 방정식에서 수정된 길이 L_c 를 사용한다⁶⁾.

$$L_c = L + \frac{1}{2}$$

핀의 성능을 평가하는 핀이 있을 때의 열 이동량과 핀이 없을 때의 열 이동량을 비교하는 것이 어떤 경우에는 유효한 방법이 된다.

$$\text{열 이동량의 비} = \frac{\text{핀이 있을 때의 } q}{\text{핀이 없을 때의 } q} = \frac{\eta_f \cdot A_f \cdot h \cdot \theta_0}{\eta \cdot A_b \cdot \theta_0}$$

끝이 단열된 핀에서는 $A_f = P \cdot L$ (핀의 전 표면적)

$$A_b = A(\text{핀의 밑 면적})$$

열 이동량의 비는 다음과 같이 표시한다.

$$\text{열 이동량} = \frac{\tanh m \cdot L}{\sqrt{\frac{h \cdot A}{K \cdot p}}}$$

4. 에너지 평형 관계식

관내를 유동하는 유체의 열 이동량은 보일러에서 순환하는 유체의 혼합 평균 온도의 차이로 설명할 수 있고, 높은 온도의 유체에서 열 전달 튜브를 통과하여 수조의 수온에 전달되는데, 이러한 열의 전달 과정을 조사하여보면, 열의 평형식을 알 수 있다.

$$Q = M \cdot C_p(T_{b2} - T_{b1})$$

여기서 비열 CP는 전체 길이에 대해서 일정하다고 본다.

$$Q = h \cdot A_s(T_w - T_b)_{av}$$

여기서 T_w, T_b 는 벽 온도 및 혼합 평균 온도이다.

먼저 유동의 양식을 정하기 위하여 입구 혼합 온도에 대한 Reynolds수를 구하여 흐름이 층류인지 난류인지를 확인한다.

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu} > 2300 \text{ 이면 난류라고 판단한다.}$$

Reynolds수의 값이 난류이라고 판단되면, 열 이동량의 계산은 다음식으로 안다.

$$Nu = \frac{h \cdot d}{\kappa} = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

원관 내의 난류 열전달에 대해서 위의 관계식을 사용한다⁷⁾.

여기서 물성치는 유체의 혼합 평균 온도에 대한 값을 사용하며, 지수 n은 다음과 같은 값을 취한다.

$$n = 0.4 \text{ (유체를 가열하는 경우)}$$

$$n = 0.3 \text{ (유체를 냉각하는 경우)}$$

Ⅲ. 실험 장치 및 방법

실험 장치는 Fig.1과 같이 온수 보일러(1)는 12500 Kcal/h의 용량을 사용하고 실험 수조를 4개 제작한다. 하나의 수조에는 엑셀 튜브를 사용하고, 또 다른 수조에는 동의 fin이 가공 안된 튜브를 사용하고, 세번째 수조에는 fin이 가공된 니켈이 함유한 백동튜브를 사용하고, 나머지 수조에는 핀이 가공된 Al-Brass 튜브를 설치한다. 수조의 재질은 폴리스티렌 폼으로 단열을 완벽하게 시켰다. 보일러의 온도 조절은 온도 센서를 보일러에 넣어 지정된 온도에서 자동으로 제어되도록 제작하였다. 보일러 내에서 온도가 설정된 온도까지 가온되면 순환수 펌프가 자동적으로 작동하여 온수가 자동적으로 순환하도록 되어 있다. 순환하는 유량의 조절은 자동 변속기에 의해서 순환펌프의 속도를 제어하여, 가온수의 양과 유압을 조절한다. 그리고 노출된 배관 이음부에는 열 손실을 방지하기 위한 단열재인 직경 16mm의 폴리스티렌 폼으로 감쌌다. 또한 네개의 수조에는 수조내의 온도를 감지하기 위해서 디지털 온도계를 부착시켰다. 가온수의 순환에 의해 가온조의 온도가 수조에 따라 가열되는 속도가 편차를 보이게 되는데 이것을 1분 간격으로 측정하여 열 확산율을 계산하고 각 튜브의 열전달 계수를 산출한다. 그리고 가온수의 온도에 따른 열 전달률을 고려해보고, 순환 압력에 따른 열 전도율을 측정한다. 또한 보일러에 가열된 열량과 수조에 전달된 열량과의 에너지 평형이 이루어 지는지 확인하고 순환 과정에서 열 손실이 얼마나 발생하는 지를 계산한다. 수조내에서 실제 가온 실험을 하기 전에 엑셀 튜브와 핀이 없는 동 튜브

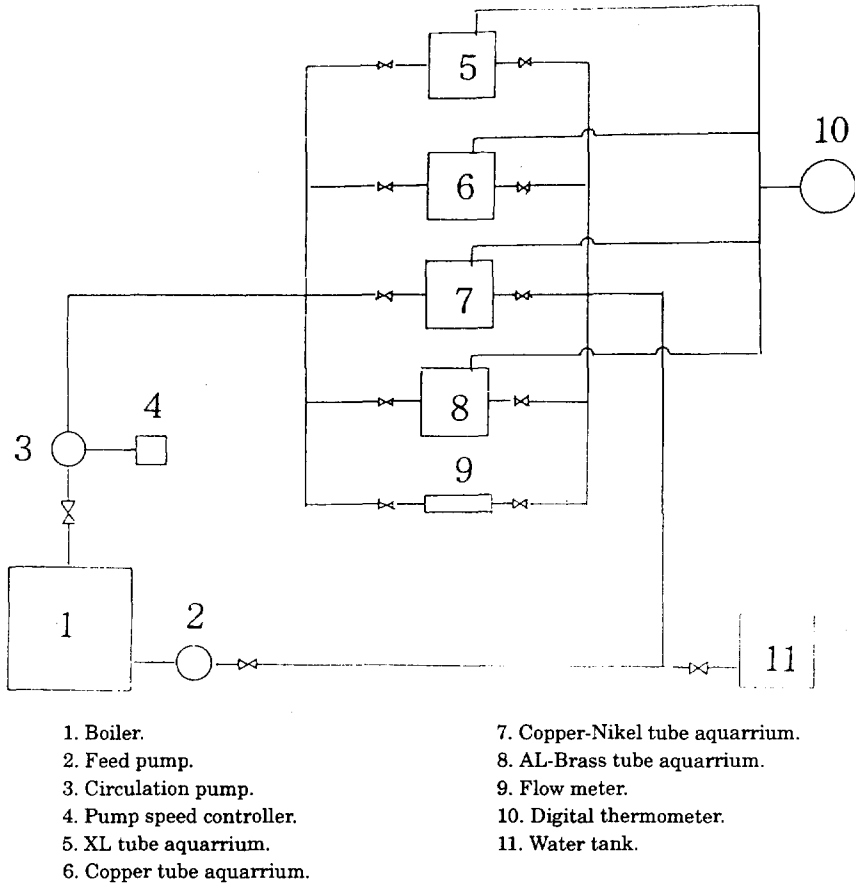


Fig. 1 Schematic diagram of experiment.

와 편이 가공된 백동튜브의 열 전달율을 분석해 보는 것이 선행되어야 한다 이렇게 조사된 성능 분석에 따라서 실제 수조에서 튜브의 성능 시험을 하도록 한다. 이때 응축 실험에서 조사된 값과 실제 수조에서 전달된 열량을 비교 분석을 해 봄으로서 양식장에 실제 설치를 하였을 때의 현실성 문제를 고려해 본다.

1. 튜브의 설치

실험에 사용할 모형 수조는 우선 외부와의 단열을 고려하여서 폴리스티렌 폼으로 제작된 용기를 사용하였다. 수조의 규격은 Fig.2와 같이 모두 동일한 것으로, 가로 50cm, 세로 30cm, 높이 20cm, 규격의 용기를 이용하였다. 실험에 사용할 튜브의 설치는 Fig.2와 같이 Copper 튜브를 길이 40cm로 3개를 절단하고, 20cm로 4개를 절단하여 pvc 엘보로 직각이 되게 연결한다. 이때에 방수용 접착제를 사용하여 기밀을 유지 하였다. 이렇게 연결된 튜브를 엘보를 이용하여 수직으로 15cm 연결하여 수조 외부로 연결 시켰다. 이렇게 연결된 튜브에 PVC 밸브를 부착시키고, 24시간 경과후에 튜브 내부의 기밀을 확인하기 위하여 물을 튜브 안으로 공급한다. 이때 누설이 발견되면 누설 부위의 기밀을 유지한다. 그리고 24시간 경

과후에 누설 확인을 한다. 만약 누설이 되지 않으면 이것을 수조에 설치를 하는데, 수조의 바닥에서 5cm 높이에 설치를 한다. 그리고 수조 외부에 있는 액셀 밸브에서 보일러까지는 액셀 튜브로 연결하였다. 이렇게 보일러까지 연결이 되면 순환수 펌프를 이용하여 튜브의 내부에 기밀 시험을 해 본다. 만일 이때에 누설이 발견되면 누설 부위에 방수용 접착제로 기밀을 유지한다. 수조 내부에 누설이 없다고 판단되면, 수조의 내부 에너지의 보존을 위하여 두껍을 덮어 단열을 유지한다. 그리고 외부에 노출된 튜브에는 폴리 스틸렌 포움으로 감쌌다. 이렇게 해서 Copper 튜브의 설치는 완성된다. 이외의 Copper - Nickel 튜브와 AL - brass 튜브도 Copper 튜브와 동일한 방법으로 설치하면 된다. 여기에서 주의할 사항은

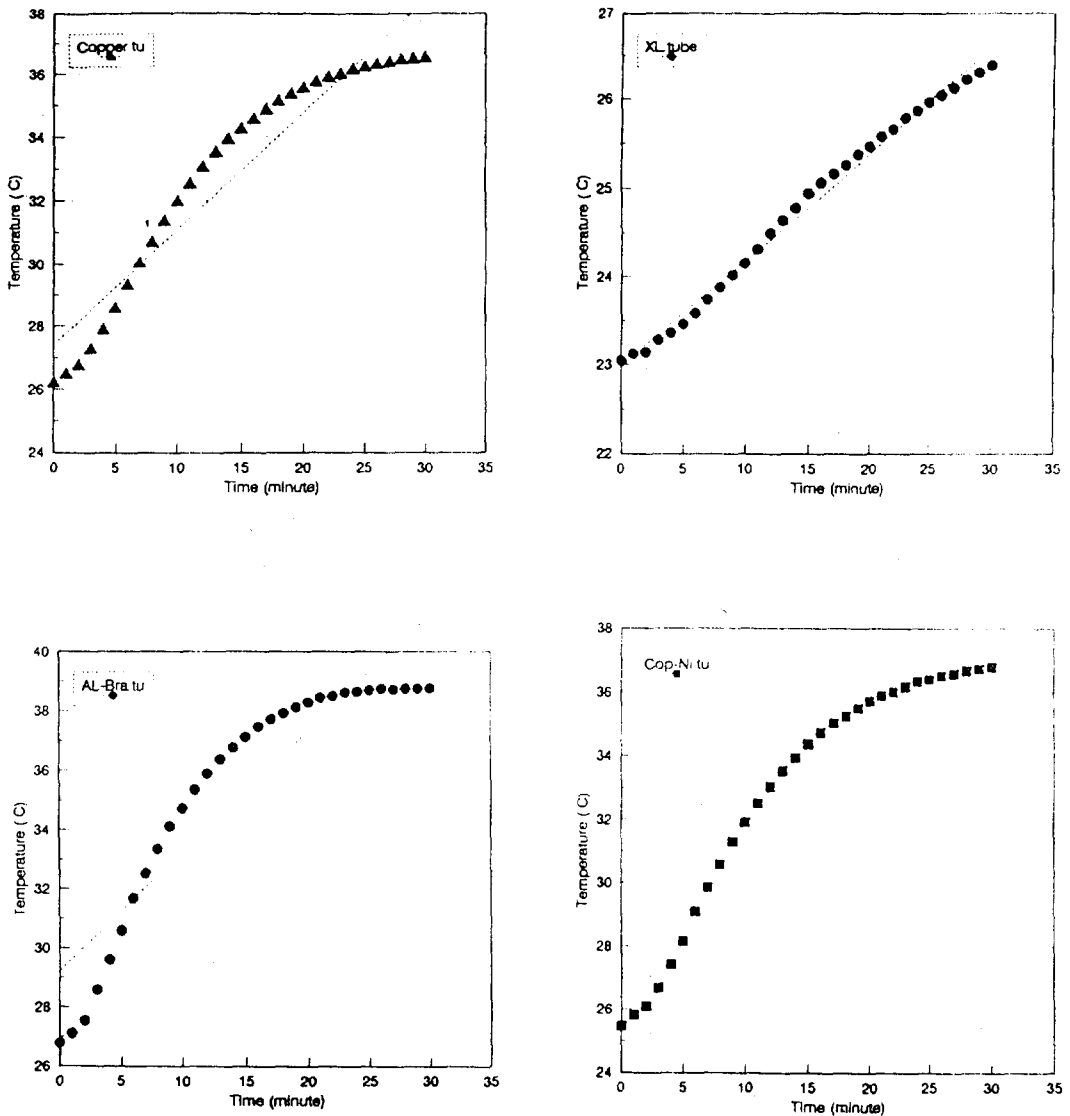


Fig. 2 Average temperature of four tubes.

Copper-Nikel 튜브와 AL-brass 튜브는 외부에 핀이 부착되었기 때문에 Fin 부위를 잘 가공하여 엘보와 연결하도록 하는것이 중요하다. 그리고 엑셀 튜브는 16mm의 튜브를 사용하여 위와 동일한 방법으로 설치하면 된다.

2. 튜브 열 전달율 측정

튜브의 열 전달 측정 장치는 보일러에서 가온된 온수를 튜브 내로 흐르게 하고, 수조의 내부에 물을 채우고, 보일러에서 가온된 온수를 순환하여 수조의 내부의 온도의 변화를 측정한다. 여기에 외부의 열 손실을 방지하기 위하여 배관에도 단열재를 감고, 수조의 열 손실을 방지하기 위하여 수조의 두께를 달아서 외부와의 공기 차단을 시켰다. 먼저 엑셀 튜브의 열 전달율을 측정하였고, 그리고 동 튜브의 열 전달율을 측정하였다. 이때 열 평형을 고려하여 보일러 온도와 수조의 온도를 일정한 시간으로 측정을 하였다. 이렇게 개별적으로 실험을 한 후 4개의 튜브를 함께 동일한 조건으로 열 전도율을 측정하여 서로 비교값을 산출하였다. 순환수의 속도는 속도 조절기를 이용하여 순환수의 양을 조절하였다. 온수 보일러의 온도를 상승시킨 후에 실험을 시작하기 전에 온수를 순환시킨 후에 일정한 온도가 유지될 때 실험을 시작하게 된다. 이렇게 측정한 후 온도의 변화를 디지털 온도계로 1분 간격으로 온도 변화를 측정한다. 온도의 측정은 몇 차례 실시한 후 평균값을 산출하여 데이터로 처리한다. 또한 가온 실험을 끝난 후 냉각 실험을 실시하는데, 각 수조마다, 상승된 온도에서 그대로 냉각 실험을 실시한다. 이때 수조마다 냉각되는 온도를 5분 간격으로 냉각 온도를 측정한다.

3. 부식성 실험

튜브의 재질은 양식 어류에 영향을 미치는 경우가 발생하게 되는데, 엑셀 튜브는 청수나 해수에 반응을 적게 보이지만 동관은 수질에 따라 반응을 보인다. 그래서 본 연구에 동관의 부식성 실험도 아울러 하였다. 실험에 사용한 튜브는 열 전달 실험을 한 4개의 튜브 외에 탄소강으로 제작된 튜브도 함께 부식성 실험을 하였다. 측정 시간은 60일동안 실시 하였는데, 먼저 청수에 대한 튜브의 반응을 살펴 보았고, 두 번째는 해수에 대한 반응 정도, 세번째는 대기 상태에서의 부식성을 조사하였다. 시험 편을 청수나 해수를 담은 용기에 넣고 매일 부식성을 조사하였다. 그리고 수조를 세척하기 위해서 수중에서 노출될 경우 공기와 접할 수 있는 경우를 예상하여 튜브에 물을 뿌려두고 부식되는 정도도 조사하였다.

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 에너지 평형

관내를 유동하는 유체는 유동장의 해석과 에너지 평형을 생각할 필요가 있다. 실험에 사용한 4개의 튜브를 통과하는 물은 먼저 유동 양식을 정하기 위하여 보일러 입구 혼합 평균 온도에 대한 Reynolds 수를 구하면 64.2°C 에서의 물성치는 $\rho=980\text{Kg/m}^3$, $C_p=4.18\text{KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$, $\mu=4.3 \times 10^{-4}\text{Kg/m.S}$, $\kappa=0.659$

W/m.℃, Pr=2.73, 이고 유체의 유속은 1.3m/s, 튜브의 직경은 0.016m 이므로 레이놀드 수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_m \cdot d}{\mu} = \frac{980 \times 1.3 \times 0.016}{4.3 \times 10^{-4}} = 47040 > 2300 \text{이 되어}$$

Reynolds 수의 값에서 흐름도 난류임을 알게 되었으므로 열 이동량을 계산하면

$$Nu = \frac{h \cdot d}{\kappa} = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} = 189$$

$$h = \frac{\kappa}{d} = 7784 \text{ w/m}^2\text{℃}$$

열 이동량은 다음과 같다.

$$\frac{q}{L} = h \cdot \pi \cdot d (T_w - T_b)$$

$$\begin{aligned} q &= h \cdot L \cdot \pi \cdot d (T_i - T_o) \\ &= 7784 \times 2 \times 3.14 \times 0.016 (64.2 - 41) \\ &= 18067 (w/m) \end{aligned}$$

다음에 관의 길이 2m당 혼합 평균 온도의 상승을 계산하기 위하여 에너지 평형식을 생각하면, $q = m \cdot C_p \cdot \Delta T_t$ 가 되며, 한편 $m = \rho \cdot U_m (\pi \cdot d^2) / 4 = 0.2548 (Kg/s)$ 위의 두식을 상치하여 튜브의 혼합 평균 온도를 계산하면 다음과 같다.

$$h \cdot L \cdot \pi \cdot d \cdot (T_i - T_o) = m \cdot C_p \cdot \Delta T_t$$

18067 = 0.2548 × 4180 × ΔT_t에서 ΔT_t를 계산하면, ΔT_t = 16.9℃가 된다. 이렇게 이론적으로 계산한 혼합 평균 온도의 상승율이 16.9℃ 인데, 각 튜브의 온도 상의 정도는 Fig.4에서 보게 되면, 액셀 튜브의 경우는 불과 3.34℃ 에 불과하고, Copper 튜브의 경우는 10.34℃ 정도로 대체로 양호하게 나타나고 있다. Copper-Nikel tube는 11.34℃ 이고, AL-Brass tube는 12.02℃로 나타났다. 이 결과로 알수 있는 것은 원통 면에 fin을 가공한 합금 동인 AL-Brass tube가 제일 높게 나타나고 있다. 또한 에너지 평형식에서 보일러에서 공급한 열량(Kcal)과 튜브에서 전달된 열량의 비교치는 Fig.5와 Fig.6에서 알 수가 있다. 여기서 막대 그래프의 좌측이 보일러의 공급한 열량을 가르키고, 우측이 튜브에 공급된 열량을 서로 비교하여 보았다. 여기서 보면 측정된 시간별로 튜브에 전달된 열량의 변화를 볼 수 있는데, 약 6분이 경과한 시간의 범위가 제일 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 보일러에서 30분 동안 공급한 총 열량은 41982Kcal인데, 튜브에 전달된 열량은 40474 Kcal로서 약 96%의 열량이 전달되었다. 그리고 약 4%

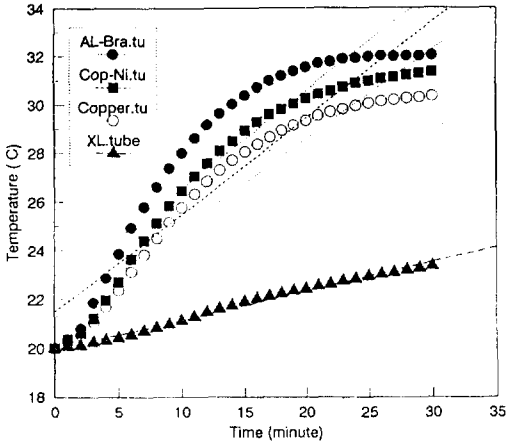


Fig. 3 Comparison average temperature of four tubes.(current speed : 9.3m/sec, boiler temperature : 64.2 - 41C, atm1013mb)

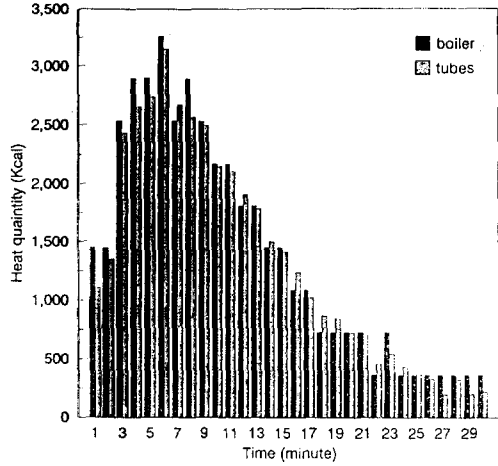


Fig. 5 Comparison heat quantity of boiler and heat tubes.

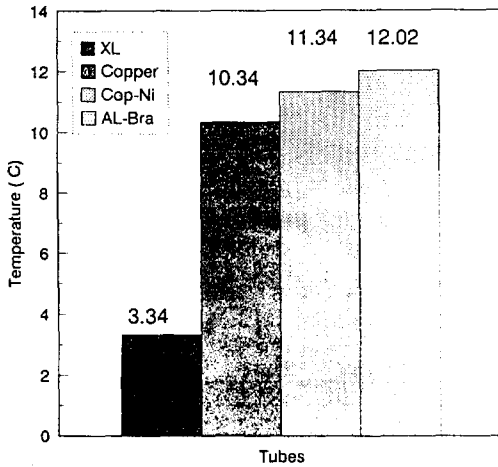


Fig. 4 Comparison average temperature difference of four tubes.

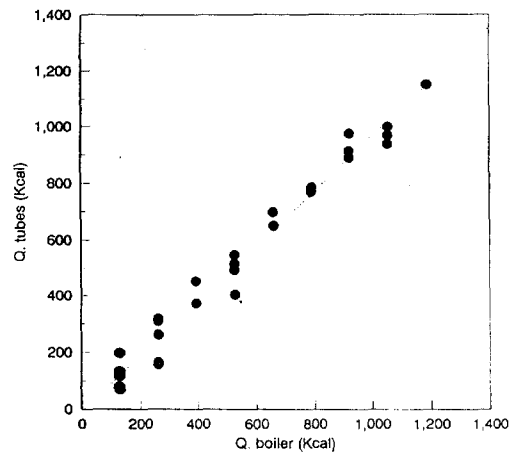


Fig. 6 Comparison heat quantity of boiler and heat tubes.

의 열량은 순환 과정에서 누설되었다.

2. 평균 온도의 비교

실험에 사용한 4개의 튜브의 온도 상승은 Fig.3에서 알아볼 수 있다. 보일러의 온도가 64.2℃에서 41℃로 튜브에 전달되고, 유속이 1.3(m/s),기압이 1기압일 때의 결과는 다음과 같다. 30분간의 측정 결과 액셀 튜브는 20℃에서 23.34℃로, Copper tube는 20℃에서 30.34℃로, Copper - Nickel tube는 20℃에서 31.34℃로, AL - Brass 20℃에서 32.02℃로 상승하였다. Fig.3에서 보면 10분이 경과 하였을 때의 각 튜브의 온도는 액셀이 21.12℃이고, Copper 튜브는 25.76℃이고, Copper - Nickel 튜브는 26.46℃이고,

AL-Brass 튜브는 28℃이다. 이것으로 볼 때 20℃에서 측정 한 온도가 액셀의 경우는 불과 1.12℃ 밖에 상승하지 못했다. 이때의 보일러에서 순환되는 온도는 50.6℃이었다. heating tube의 역할은 보일러 온수를 수조에 빠른 시간내에 전달하는 것이 매우 중요한데 액셀 튜브는 그 역할을 하고 있지 못하다고 판단된다. 그리고 온도의 편차가 가장 심한 시간대를 조사하면 액셀의 경우는 12분이 경과한 후가 0.18℃로 가장 높고, Copper 튜브는 6분 후가 0.76℃로 가장 높고, Copper-Nikel 튜브는 6분 후가 0.94℃로 가장 높고, AL-Brass 튜브는 6분 후가 1.08℃로 가장 높게 나타났다.

이와같이 동관은 온수를 순환시키고 6분만에 열량을 수조에 최대로 전달하고 있는 반면 액셀은 12분이 경과되어도 불과 AL-Brass 튜브의 1/6의 온도 밖에 전달하지 못하고 있음을 본 실험을 통해서 알 수 있다. 그리고 보일러의 가동을 중지하였을 때의 냉각 온도를 측정 한 것은 Fig.7에서 알 수 있다. 냉각 시간은 60분동안 수조의 온도 변화를 측정 하였는데, 이때의 보일러 온도는 37℃이고, 대기 온도는 18.3℃, 대기압 하에서 실시하였다. 이결과 액셀 튜브는 온도가 다소 상승하다가 측정 후 35분경부터 하락하고 있는데 이것은 액셀 튜브내에 아직 전달되지 못한 열량이 계속적으로 전달되고 있기 때문이고, 그밖의 튜브들은 측정 후 점차 온도가 하락하고 있음을 알 수 있다.

3. 열 전달 계수

열 전달 계수의 값은 단위 면적당 전달한 열량을 말한다. 이것은 Fig.8에서 알 수 있는데, fin이 부착된 AL-Brass tube와 Copper-Nikel tube는 fin이 없는 Copper tube에 비하여 전열 면적이 약 3배 정도 되기 때문에 단위 면적당 열 전달율을 보면, Copper tube가 높게 나타난다. 그리고 액셀 튜브는 가장 저조하게 나타나고 있는데, 이것은 액셀의 열 전달 성능이 매우 저조하다는 것을 말하는 것이다. 동관의 열 전달율은 액셀 튜브의 15배에 달하고, 온도 상승율은 약 4배에 달한다. 이것은 액셀을 사용하는 경우보

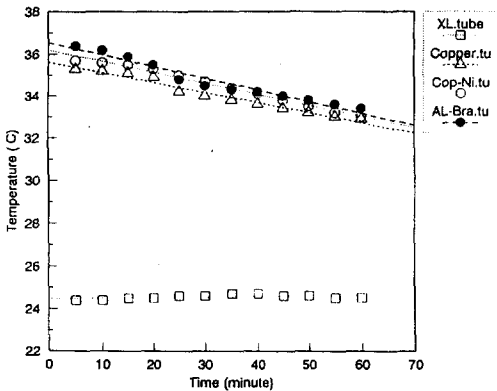


Fig. 7 Comparison cooling temperature of four tubes(boiler : 37C, atm. temp. : 18.3C, atm. pressure : 1013mb)

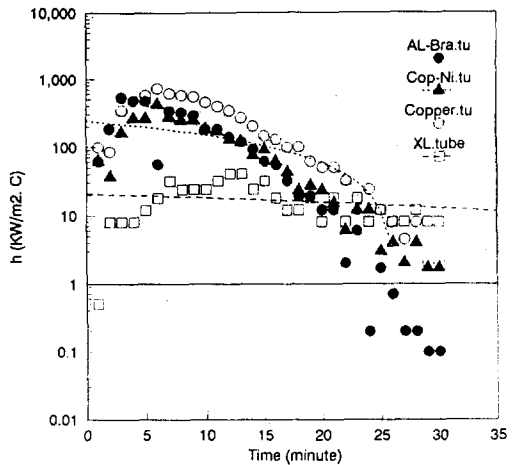


Fig. 8 Comparison heat transfer coefficient of four tubes.

다. 동관을 사용하게 되면 연료의 전달 속도를 4배 빨리 전달할 수가 있다는 결론에 도달하게 된다. 또한 연료비도 절약할 수 있다. 또한 액셀을 사용할 경우는 보일러 온도를 매우 높여야 하기 때문에 자연 방열되는 열량의 손실은 더욱 커지게 된다.

4. 부식성

튜브의 부식성을 조사하기 위하여 청수와 해수에서 튜브의 반응을 살펴보고, 공기 중에서도 어떻게 반응을 하는지 조사하였다. 먼저 청수 속에 4개의 튜브를 넣어두고 매일 매일 부식의 상태를 파악하였다. 그결과 7일이 경과한 후 copper tube에서 표면에 푸른 피막이 형성되는 것을 발견하였다. 10일 후에는 피막이 좀더 진전되고 14일이 경과할 때에는 튜브 전 면적으로 확산되었다. 이것은 동관을 수조에 설치할 때 어류에 영향을 미치는 요인이 된다고 판단된다. 다음으로 액셀 튜브는 재질이 금속이 아니므로 반응이 나타나지 않았고, 합금 튜브인 Copper-Nikel tube와 Al-Brass tube는 60일 동안 측정 결과 전혀 반응을 보이지 않았다. 또한 해수에서 부식성을 측정한 결과 Copper tube는 5일 경과 후 푸른 피막이 형성되었고, Copper-Nikel tube는 20일이 경과 후 정도가 매우 약하지만 푸른 피막이 형성되었다. 그러나 AL-Brass tube는 60일이 경과한 후에도 전혀 반응을 보이지 않았다. 그리고 각 튜브들을 대기중에서 측정한 결과 20일 경과한 후 푸른색의 녹이 발생하기 시작하여 30일이 경과한 후 fin 부위에 푸른색의 녹이 약간 발생하였다. 그러나 그 밖의 튜브는 아무런 반응을 보이지 않았다.

이 결과 수조에 Copper tube는 수조에 설치하기는 곤란하다고 판단되고, 그 밖의 튜브들은 청수, 해수, 대기중에 사용해도 무관하다고 판단된다.

V. 결 론

- 1) 4개의 튜브의 평균 온도 상승율은 액셀 튜브는 20℃에서 23.34℃로 3.34℃ 상승하고, Copper tube는 20℃에서 30.34℃, Copper-Nikel tube는 20℃에서 31.34℃로 AL-Brass tube는 20℃에서 32.02℃로 상승하였다. 이렇게 볼 때 AL-Brass tube가 30분간 동안 12.02℃로 최고치를 보인다.
- 2) 가열된 튜브를 그 상태 그대로 냉각시킬 때 온도의 강하 정도는 열 전달율이 가장 저조한 액셀 튜브는 열량의 손실 정도도 느려서 거의 온도의 변화를 보이지 않다가 40분이 경과한 후 조금씩 하강하는 현상을 보인다. 그리고 그밖의 튜브는 상승된 온도가 높아서 60분동안 약 3℃정도 하락하였다.
- 3) 단위 면적당 열 전달율은 Copper tube가 가장 높게 나타나고, AL-Brass, Copper-Nikel, 그리고 액셀 튜브의 순서이다. 동튜브와 액셀 튜브와의 차이는 약 15배정도이다.
- 4) 튜브의 온도 상승은 6분이 경과한 후에 3300 Kcal의 열량을 전달하여 최대의 값을 보이고, 점차 떨어진다.
- 5) 부식성은 액셀 튜브, Copper-Nikel, AL-Brass tube는 청수, 해수, 공기와 접촉하여도 반응을 하지 않지만, Copper tube는 청수와 해수에 매우 민감하게 반응을 하여 푸른 색의 피막을 형성한다.

참고문헌

1. Holman, J. P. : "heat Transfer" Sixth Edition, Professor of mechanical Engineering Southern Methodist University, 1992.
2. Hirasawa, S., Hijikata, K., Mori, Y., Nakayama, W., "Effect of surface Tension on Condensation Motion in Laminar Film Condensation(Stud of Liquid Film in Small Trough)", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.23, 1980, pp.1471 - 1478.
3. Mori, Y., Hijikata, K., Hirasawa, S., Nakayama, W., "Optimized Performance Condensers with Outside Condensing Surface", Condensation heat Transfer, Edited by P.J. Matro and P. G. Kreager from Symposium at 18th National Heat Transfer Conference, San Diego, Calif., Aug., 1979, pp.55 - 62.
4. Gregoring, R., Zeitschrift für angewandte Mathematik and Physik, Vol.5, 1954, pp.36 - 49.
5. Rudy, T. M., Webb, R. L., "Condensate Retention on Horizontal Integral - Fin Tubing" Advances in Advanced Heat Transfer 1981, HTD - Vol 18, presented at 20th National heat Transfer Conference, Meeting, Milwaukee, Wisc, Aug. 1981.
6. Harper, W. B., and D. R. Brown : Mathematical Equations for heat Conduction in the Fins of Air - cooled Engines, NACA Rep. 158, 1922.
7. Dittus, F. W., and L. M. K. Boelter : Univ. Calif.(Berkeley) Pub. Eng., vol.2, p.443, 1930.
8. Nusselt, W. : Der Wärmeaustausch zwischen Wand und Wasser im Rohr, Forsch. Geb. Ingenieurwes, vol.2, p.309, 1931.
9. 조동현, "수평 원형 전열관의 핀 효과에 의한 응축 및 비등 열전달 촉진에 관한 연구, MS, 부산수산대학원, 1992.

A study on the reduction of fuel consumption for fish farm during winter season.

Jong - Un PARK · Kyu - Il HAN

For the fuel saving in the fish farm, the heat transfer performances of various tubes, XL-tube, copper-tube, copper - Nickel - tube and Al - brass - tube, were compared. The XL - tube, which is most commonly used for heating water, showed the poorest heater transfer performance, while the Al - Brass tube shows the best performance. As far as average temperature difference of four tubes concerns, XL tube is 3.34℃, Copper tube is 10.34℃, Copper - Nickel tube is 11.3℃, Al - Brass tube is 12℃. The best heat transfer performance of Al - Brass tube results from the enhancement of heat transfer coefficient caused by fin effect and good conductivity of the material.