한국마린엔지니어링학회지 제36권 제8호, pp. 1097~1103, 2012. 11(ISSN 2234-8352 Online) / (ISSN 2234-7925 Print)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.8.1097

밑이 트인 단열수조의 온도제어에 관한 연구

한승훈[1] · 배철오[2] · 안병원†

(원고접수일 : 2012년 5월 10일, 원고수정일 : 2012년 7월 17일, 심사완료일 : 2012년 8월 10일)

A study on the Temperature Control of Insulated Open-End Water Vessel

Seung-Hun Han[1] · Cherl-O Bae[2] · Byong-Won Ahn†

요 약 : 우리나라의 서남해안은 어류의 양식 어가가 많이 있다. 양식 어가의 양식장은 해수를 유입시켜 순환시키는 기본적인 특성에 기인하는 관계로 약간의 부주의 및 잘못된 설계는 양식어의 폐사에 까지 영향을 끼치며, 또한 어종별로 최적의 서식온도가 존재함이 이미 밝혀져 있으며 이러한 환경을 사계절에 무관하게 유지하기는 극히 힘든 일인 동시에 필수적 과제이다. 이 논문에서는 열의 기본 성질과 열전달 메커니즘에 대하여 연구하였고, 이를 바탕으로 일정한 격리된 공간에 열을 축적하기 위해 샌드위치 판넬 단열재를 이용하여 밑이 트인 단열 수조를 설계 및 제작을 하고 모의실험을 하였다. 이를 바탕으로 무한히 많은 물중에서 일정 구획을 단열재로 단열하고, 밑이 트인 단열 수조에 히터를 장치하여 국부적인 부분만 가열하여 일정온도를 유지하는 것이 가능함을 확인하였다. 또한 마이크로프로세서를 통하여 온도를 검출하기 위한 온도제어기를 제작하였으며, 일정한 온도 값을 유지하기 위한 AC 전력 제어기를 제작하여 히터의 발열량 제어가 가능한 시스템을 구현하였다.

주제어 : 열전달, 밑이 트인 단열수조, 샌드위치 단열판넬, AC 전력 제어기

Abstract: There are many fish farms being cultivated in the southwestern cost of South Korea. Because the farms cultivating use the basic method that inflow and circulate sea-water, slight negligence and bad design cause major negative impact on fish deaths. Also, the optimal temperature for each specie of fishes has already been proven to differ on each specie. Maintaining this environment, regardless of seasons, is very difficult and that requires research to develop. In this paper, basic characteristics of heat and mechanism of heat transfer are studied. Based on this, Open-end water vessel is designed and constructed using sandwich-insulation panels and simulated to store the heat in certain isolated space. This study confirmed that it is possible to keep constant temperature by this method, in large areas of water where it is insulated by heat insulator. and equipped with heater in Open-end water vessel where the other part is heated. The AC power controller maintains the constant temperature required and the temperature controller detects and displays the temperature by using the micro-processor.

Key words: Heat transfer, Open-End water vessel, Sandwich-insulation panel, AC power controller

1. 서 론

우리나라의 서남해안은 해안선의 드나듦이 심한 리아스식 긴 해안선을 가지고 있으며, 맑고 청정한 바다를 이용한 어류의 양식 어가가 많은 편이다. 양식 어가의 양식장은 해수를 유입시켜 순환시키는 구조로 약간의 부주의 및 잘못된 설계는 양식어의 집단폐사를 일으킬 수 있고, 또한 어종별로 최적의 서식온도가 존재함이 이미 밝혀져 있으며,

† 교신저자(목포해양대학교 기관시스템공학부, E-mail: ds4cbt@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7214)
1 목포해양대학교 기관시스템공학부 대학원 E-mail: nicehsh1@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7463
2 목포해양대학교 기관시스템공학부 E-mail: baeco@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7223

이러한 양식장의 수온환경을 사계절에 무관하게 유지하기는 극히 힘든 일 인 동시에 필수적인 과제로 이와 관련된 연구 개발이 요구되고 있다[1-2]. 예를 들면, 고가 어종의 하나인 넙치의 성장은 수온과 밀접한 관계를 가지고 있으며 25[℃]이상의 고 수온과 15[℃]이하의 저 수온에서는 성장이 둔화하며, 25[℃]이상이 되면 폐사율이 급격히 증가한다는 것이 알려져 있다[3].

또한 일반적으로 물이 고여 있는 경우 온도는 표층에서 가장 높고 수심이 깊어질수록 반비례하다가 200[m]부근에서 3.5[℃]에서 4[℃]로 일정하게 된다[4]. 이런 환경을 이용하여 해양온도차 발전이 제시되었고 주간의 온도가 높은 표층수를 모와 둘 수 있는 공간을 만들어 바다에 띄워두고 밤에는 이 표층수에 모여진 열을 이용하여 계속 발전할 수 있는 구조의 공간을 만들어 이용할 수 있으며[5], 물의 대류 현상 성질을 이용하여 단열 박스 내에서 가열하여 필요한 열량을 저장할 수도 있다.

본 연구에서 열의 기본 성질과 열전달 메커니즘을 바탕으로 상하가 뚫린 격리된 공간에 열을 축적하도록 하였다. 샌드위치판넬 단열재를 이용하여 밑이 트인 단열 수조를 설계 및 제작을 하고 모의실험을 하였다. 이것은 넓은 양식장 전체를 가열하지 않고 움직임이 둔한 물고기를 일정한 공간에 가두어 두고, 이 공간만 가온하는 것을 상정하여 만든 실험장치이다. 가열 면적의 규모에 따라 태양열이나 보일러 등의 다양한 열원을 활용할 수 있지만 실험의 편리상 제어가 용이한 히터로 유체를 가열하는 실험을 하였다.

무한히 많은 물중에서 일정 구획을 단열재로 단열하고, 히터를 장치하여 히터의 전력 제어를 함으로써 국부적인 부분만 특정 온도로 일정하게 유지되는 것이 가능함을 확인하였다. 또한 마이크로프로세서를 통하여 온도를 검출하기 위한 온도제어기를 제작하였으며, 일정한 온도 값을 유지하기 위한 AC 전력 제어기를 제작하여 히터의 발열량 제어가 가능한 시스템을 구현하였다.

2. 전체 System 구성

본 실험의 제어를 위해 사용된 소프트웨어 언어는 CCS(Customs Computer Services)사에 만든 PIC용 C 컴파일러이고, 컴파일러에서 작성된 Source file은 USB 통신으로 된 ICD-U40 유니트를 통해 컴퓨터와 마이크로프로세서 사이를 연결하여 Hex 파일을 다운로드 함으로써 디버깅을 실시하였다.

Figure 1은 전체 시스템의 구성도를 나타낸다. 시스템은 밑이 트인 단열수조, 제어계측을 위한 마이크로프로세서, 가온을 위한 전열기(Heater)로 등으로 구성되어 있다.

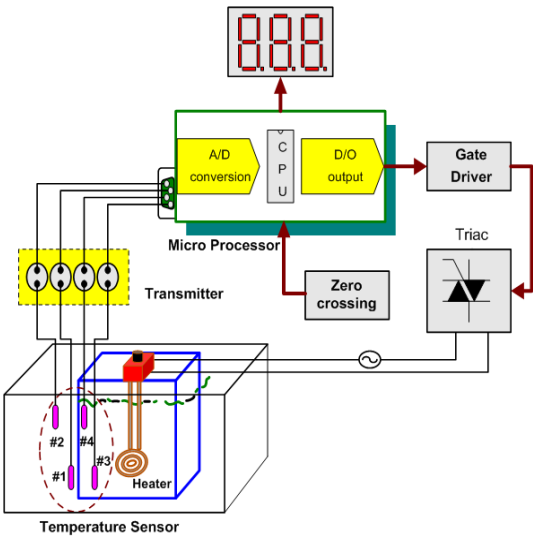

Figure 1: Schematic diagram of temperature control system

마이크로프로세서의 아날로그채널에 입력된 전압값은 A/D 변환을 통하여 온도값을 FND로 표시하고, 제로크로싱(Zero-crossing) 검출회로를 통하여 교류파형의 0점을 지날 때마다 인터럽트를 발생시킨다. 이 인터럽트가 발생되면 Timer1을 사용하여 트라이악에 가해지는 Gate 전류신호의 Delay시간을 조정하여 전열기(Heater)에 가해지는 AC 전력을 제어하게 된다.

2.1 온도 제어기

PT100 온도센서의 출력은 온도가 올라감에 따라 전기저항이 변하는 특성을 가지고 있으며, 상온 25[℃]에서 28.84[Ω]의 저항 값을 갖는다. 센서부는 온도가 올라감에 따라 트랜스미터를 통하여 0

[℃] 일 때 전류신호 4[mA], 100[℃] 일 때 20[mA] 신호를 출력하게 된다. 이 전류신호를 마이크로프로세서 내부에 있는 A/D 변환 입력으로 받기 위해 저항을 이용한 전압강하를 통하여, 1～5[V]의 전압신호로 변환하였다.

마이크로프로세서 PIC18F4520에 내장된 A/D 컨버터의 분해능은 10비트로서, 1/1024의 정밀도를 가지고 있다.(사용전압이 1～5[V]까지인 경우 5/1024=0.004883(약 5[mV])의 정밀도를 가지고 있다) 수온이 0℃일 때, 전압은 1[V]와 Hex값은 205에 각각 대응이 되고, 100[℃]일 때, 전압은 5[V]이고 Hex값은 1023이 된다. 0～100[℃]의 물은 Hex값이 205～1023으로 대응되므로 $\triangle t/\triangle bit$는 100/818로 약 0.12[℃/bit]의 분해능을 갖고 있다.

Table 1은 온도에 따른 A/D 분해능 값을 나타낸다.

Table 1: Temperature control of A/D values

온도(℃)	0℃	100℃
전류값(A)	4mA	20mA
전압(V)	1V	5V
Hex	205	1023

Table 1을 이용하여 마이크로프로세서의 온도측정을 위한 식은 아래와 같다.

$$t = \frac{\triangle t}{\triangle bit}(V_H - 205)[℃]$$
$$= \frac{50}{409}(V_H - 205)[℃] \quad (1)$$

2.2 AC 전력 제어기

2.2.1 Zero-crossing 검출회로

Figure 2는 제로크로스싱 회로를 나타낸다. (A) 부분의 트랜지스터 입력에 전파정류된 12[V]의 전압파형이 입력되고 교류파형의 0[V] 부근에서만 트랜지스터는 + 펄스로 출력된다. 여기서 발생된 출력 파형의 폭은 500[㎲]였고, 정확한 제로크로싱 점을 검출하기 위해 74LS123을 이용하여 폭이 4[㎲]인 펄스로 출력하도록 설계하였다.

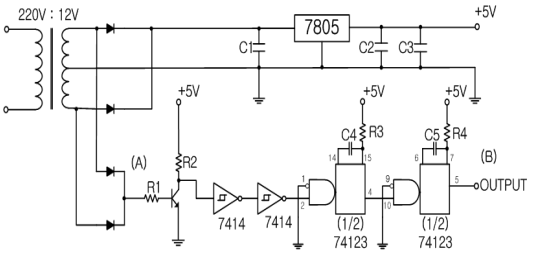

Figure 2: Zero-crossing circuit

Figure 3은 제로크로스싱 회로에서 얻어진 파형을 나타낸다. Ch2는 **Figure 2**의 (A)점에서 전파정류회로를 거친 + 전압 파형으로 트랜지스터의 베이스 입력신호이다. Ch1은 (B)점의 출력파형으로 Ch2 파형의 제로점 통과부분인 최저점에서만 신호를 출력하여 제로점을 정확하게 검출하고 있음을 알 수 있다. 두 파형의 Time/Div은 2.0[ms]이고 Volts/Div은 5[V]이다.

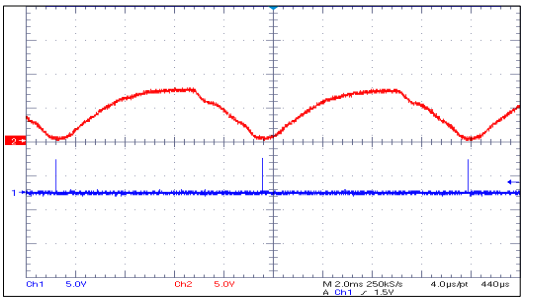

Figure 3: Waveforms of Zero-crossing point

2.2.2 Triac에 의한 전력제어

Figure 4는 일반적으로 사용되는 트라이악에 의한 전력제어회로이다. 제어 측과 전력 측의 접지를 절연하기 위하여 TLP 560J 소자를 이용하였다.

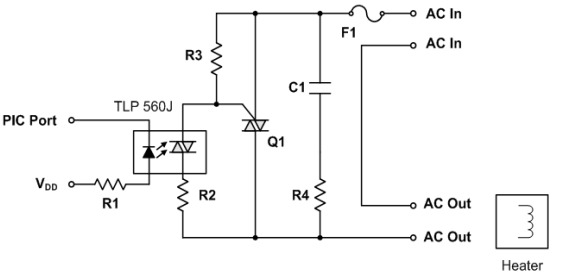

Figure 4: Triac and Gate driving circuits

Figure 5는 온도에 의한 위상제어회로의 범위를 나타내고 있다. 그래프의 가로축은 온도 센서의 A/D 변화 값을 나타내고, 왼쪽 세로축은 위상각을 나타내며 오른쪽 세로축은 타이머1의 SFR에 입력하는 Hex값을 나타낸다. 즉, 0[℃]~100[℃] 사이에 위상각에 따른 A/D 값을 나타내고 있다. 시작과 끝의 위상각 2.8°구간은 트라이악의 확실한 점호와 소호를 위해 동작하지 못하도록 하였다.

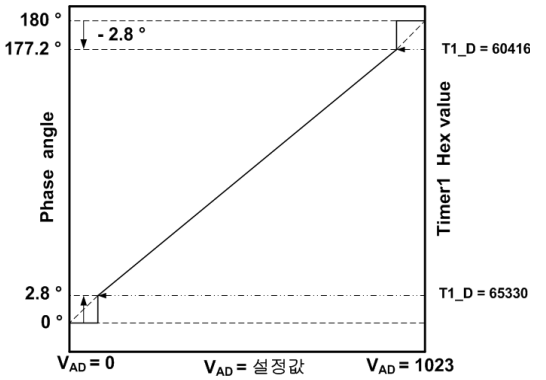

Figure 5: Calibration of A/D values & Phase angle

3. 실험장치 및 결과

3.1 온도제어 실험장치

Figure 6은 샌드위치 단열판넬을 이용하여 제작한 단열수조의 개념도를 나타내고 있다. 수면에 띄워 두고 밑면이 개방된 상태로 4개의 측면만 5[cm] 두께의 단열재로 둘러싼 수조 50×40×50(L×W×H,cm)에 밑에서 10[cm]가량에 3[kw]의 히터를 설치하여 온도조절이 가능하도록 설계를 하였다.

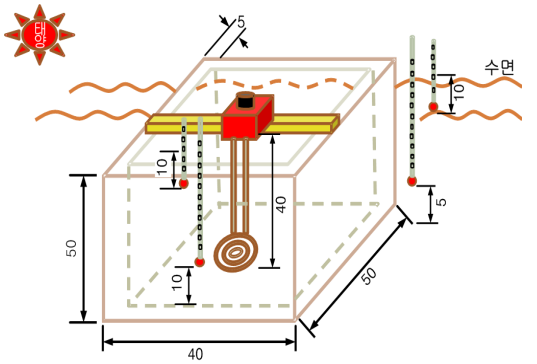

Figure 6: Schematic diagram of insulated open-end water vessel

Figure 7은 센서의 위치에 따른 온도측정을 나타내고 있다. 외부 크기가 100×100×100 (L×W×H,cm)인 수조를 샌드위치 단열판넬을 이용하여 제작하였고, 단열수조 내부 하부 10[cm]에 T3, 상부 10[cm]에 T4 2개의 온도계를 외부수조 하부 5[cm]에 T1, 상부 10[cm]에 T2 2개의 온도계를 각각 설치하여 온도를 측정하였다.

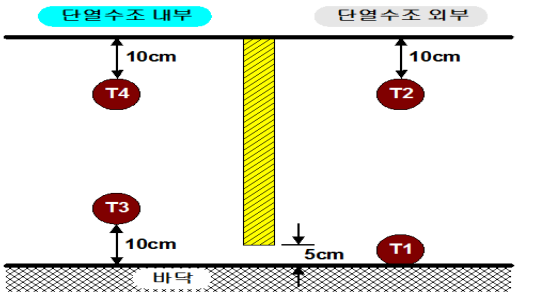

Figure 7: Sensor position of temperature measurement

Figure 8은 실제 실험장치의 사진을 나타내고 있다. 좌측 사진은 밑면이 개방된 단열수조와 히터를 나타내고 있고, 우측 사진은 외부 수조에 내부수조를 넣고 물을 채운 사진이다. 가열된 내부수조의 물과 외부수조의 물 사이에 온도차를 가질 수 있도록 차폐하는 구조로 되어 있다.

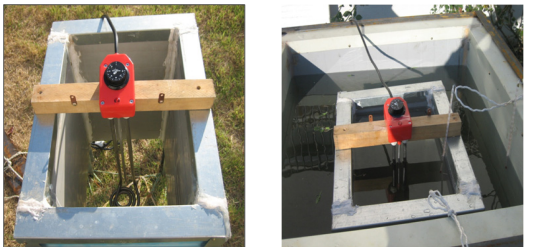

Figure 8: Real image of insulated open-end water vessel

3.2 전력제어 실험장치

실험장치의 검증을 위해 백열전구로 부하시험을 실시하였다. 실험의 편의를 위해 가변저항을 이용하여 0부터 1023까지 입력을 받도록 하였고, 이 값을 반주기 동안 8.333[ms]에 대응시켰다. 즉 8.333[ms]/1024=8[μs/bit]로 제어하였다.

반파 동안에 히터의 전력제어 데이터 값은 10 비트의 값을 입력하게 되는데, 그 값이 0이면 히터는 가열이 정지되고, 1023이면 가장 큰 전압을 출력한다. 즉 이 히터의 전력은 교류전원 반주기당 0부터 5208까지의 오버플로우 횟수에 매칭이 되어 있으며, 결국 트라이악의 게이트 스위칭 시간에 해당이 된다. 이를 토대로 교류전원 반주기당 오버플로우 횟수를 계산하면 식 (2)로 표현된다.

$$\frac{20MHz}{120Hz \times 8 \times 4} \fallingdotseq 5208 \tag{2}$$

Figure 9는 트라이악의 점호시간과 타이머1의 오버플로우를 나타낸다. 처음 Zero crossing 지점부터 다음 Zero crossing 클럭이 입력되기 까지 5208번 오버플로우가 발생되고, 트라이악의 점호는 이 오버플로우 타이밍에 맞추어 이루어진다.

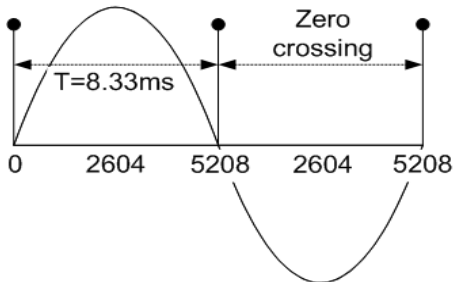

Figure 9: Triac firing delay & Timer1 overflow data

본 실험에서 전압 파형 측정은 +, - 단의 전압 파형을 동시에 보기 쉽게 측정하기 위해 AC 전력 콘트롤러에 220[V] 대신 100[V]만 입력시켰다. **Figure 10~12**는 트라이악의 위상제어에 따른 출력 전압을 나타낸 그래프로 위상각을 각각 177.2°, 90°, 2.8°로 하여 측정한 파형을 나타낸다. Ch1의 파형은 트라이악 출력단자의 전압파형이고, Ch2는 부하단에 입력되는 전압파형을 나타낸다. Time/Div은 4.0[ms]이고 Volts/Div은 100[V]이다.

Figure 10은 교류전원의 끝부분에서 트라이악이 도통되어 전력이 최소이고, **Figure 12**는 교류전원의 제로점을 지나자마자 트라이악이 도통되어 전력이 최대로 된다.

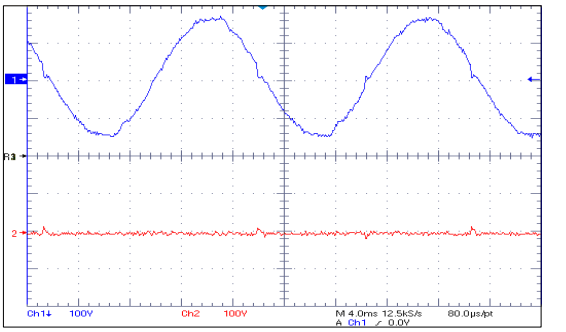

Figure 10: Voltage waveforms of triac output and load at 177.2°

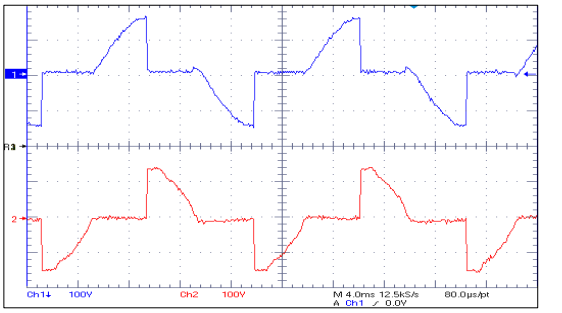

Figure 11: Voltage waveforms of triac output and load at 90°

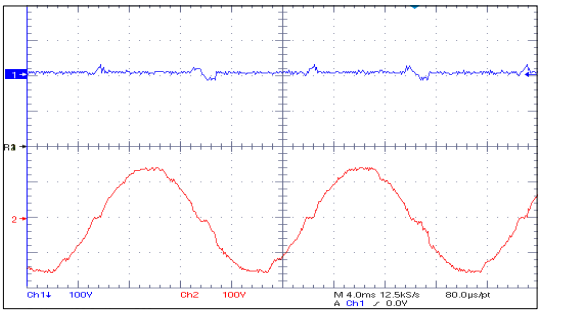

Figure 12: Voltage waveforms of triac output and load at 2.8°

3.3 온도 제어 실험결과

서남해안의 양식장 한파피해는 최근 겨울철 이상기온 현상이 나타나면서 지속적으로 발생하고 있으며 특히 강추위가 닥치는 1월과 2월 초순에 집중적으로 발생하고 있다. 이를 바탕으로 이번 온도실험은 2011년 1월 13일부터 24일까지 폭설을 동반한 이상 한파가 발생된 전남 목포지역에서 실

시하였다. 우리나라 겨울철 대부분의 어종은 10℃ 이상의 월동수온을 요하기 때문에 경제성을 고려하여 적정 월동수온을 15[℃]로 설정하였으며, 1차 실험은 보온효과와 외부조건에 의한 외란을 없애기 위해 비닐을 덮은 상태에서 온도실험을 하였고, 2차 실험은 대기 개방상태에서 온도실험을 실시하였다.

3.3.1 비닐을 덮은 상태의 온도실험

Figure 13은 2011년 1월 13일 14:00시부터 1월 14일 14:00시까지 24시간 동안 온도 제어 실험결과 그래프를 나타낸다. 기상청 자료에 의하면 일평균풍속 2.6[m/s][6] 대기온도가 -4～15[℃]였다. 실험은 내부수조 상부 온도계 T4를 15[℃]로 설정하여 실시하였다.

본 실험에서는 비닐하우스용 비닐을 이용하여 커버를 제작하였으며, 외부수조를 수밀한 상태에서 내부 수조로부터의 열의 발산을 막을 수 있도록 실험하였다. 실험 결과 외부수조 하부 T1, 상부 T2는 7.5[℃]로 거의 온도 변화가 없이 일치 하다가 14일 오전 00:00시 대기온도가 낮아짐에 따라 약1[℃]정도의 온도 차이를 보였고 09:00시부터 대기온도 상승으로 약간의 오차를 보이며 9[℃]까지 상승하였다. 내부수조 하부 T3, 상부 T4는 설정온도 15[℃]보다 1[℃]높게 나타났으며, 16[℃]로 온도차이가 거의 나지 않았다. 외부수조의 비닐하우스용 비닐커버 제작에 따른 비닐의 보온효과와 바람막이 역할로 인해 설정온도 15[℃]보다 온도가 상승됨을 확인하였고, 또한 온도의 변화도 거의 없음을 확인하였다. 그러나 14일 오후 13:00시에 온도차가 발생하는 것은 햇볕에 의한 온도 상승효과로 판단된다.

3.3.2 대기 개방상태의 온도실험

Figure 14는 2011년 1월 18일 20:00시부터 1월 19일 20:00시까지 24시간 동안 온도 제어 실험결과 그래프이며, 이에 따른 전압[V] 변화량을 나타낸다. 기상청 자료에 의하면 일평균풍속 2.4[m/s][6] 대기온도가 -4～13[℃]였고, 비닐을 덮은 상태와 마찬가지로 내부수조 상부 온도계 T4를 15[℃]로 설정하여 실험을 실시하였다. 실험 결과 외부수조 하부 T1은 6[℃], 상부 T2는 4.5[℃]로 거의 온도 변화가 없이 일치 하다가 19일 오후 12:00시 대기온도가 상승함에 따라 온도가 T1, T2의 온도가 6[℃]까지 올라갔다. 내부수조 하부 T3, 상부 T4는 18일 15:00시 이후 약간의 오차가 발생하였으나 설정온도 15[℃]로 나타났다. 또한 18일 오후 23:00시부터 19일 오전 09:00시까지 대기온도가 낮아짐에 따라 전압값이 20[V] 이상을 나타냈으나 19일 오전 09:00시부터 16:00까지 대기온도가 상승됨에 따라 전압값이 10[V]로 낮아져 대기온도에 따라 전압값이 반비례적으로 변화됨을 알 수 있었다. 내부

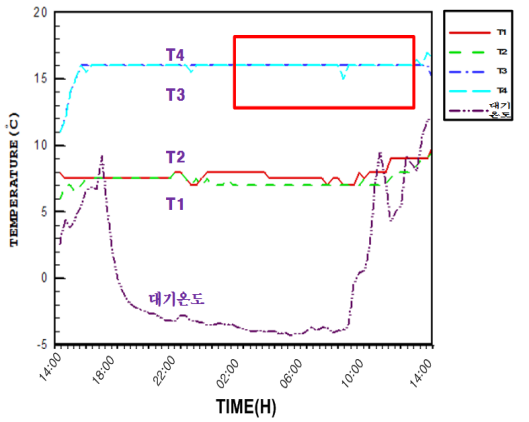

Figure 13: Temperature control graph of insulated open-end water vessel(2011.JAN.13～14)

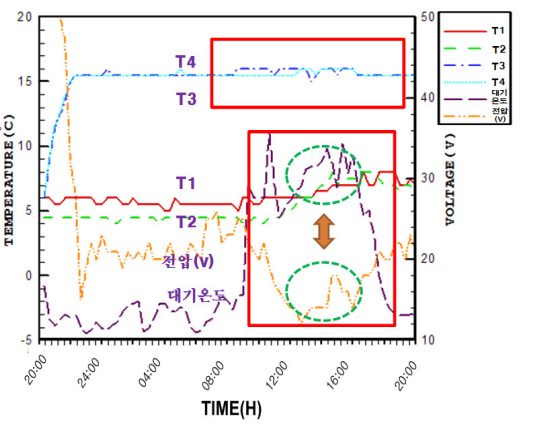

Figure 14: Temperature & Voltage control graph of insulated open-end water vessel(2011.JAN.18～19)

수조 T3, T4는 진눈깨비와 강한 바람에도 외부수조 T1, T2와 열교환이 이루어지지 않음을 추론해 볼 수 있었고, T4 내부수조의 온도 변화에 따라 전압값이 변화하여, 설정된 온도를 잘 유지함을 확인하였다. 또한 대기의 온도와 전압값이 시간차를 가지며 변하는 것은 물의 비중과 대기의 밀도차가 있음을 추론해 볼 수 있다.

Figure 15는 2011년 1월 24일 21:00시부터 1월 25일 21:00시까지 24시간 동안 온도 제어 실험결과 그래프이며, 이에 따른 전압 변화량을 나타낸다. 기상청 자료에 의하면 일평균풍속 6.4[m/s][6] 대기온도가 -4～15[℃]였으며, 실험은 내부수조 상부 온도계 T4를 15[℃]로 설정하여 실시하였다. 실험 결과 외부수조 하부 T1은 6[℃], 상부 T2는 4.5[℃]로 거의 온도 변화가 없이 일치 하다가 25일 오후 13:00시부터 오후 16:00까지 대기온도가 상승함에 따라 T1, T2의 온도가 7[℃]까지 올라갔다. 내부수조 하부 T3, 상부 T4는 25일 13:00시부터 16:00까지 2[℃] 정도의 온도 차이를 가지는 것은 대기온도와 햇볕에 의한 영향으로 T4의 온도가 상승된 것으로 판단되며, 그 이후에는 설정온도 15[℃]로 나타났다. 전압값은 25일 00:00시부터 오전 09:00시까지 대기온도가 -3[℃]로 낮아 20[V]이상의 값을 나타내다가 25일 오후 13:00시부터 16:00까지 대기온도가 상승됨에 따라 전압값은 15[V]로 낮아져 대기온도에 따라 전압값이 반비례적으로 변화됨을 알 수 있었다.

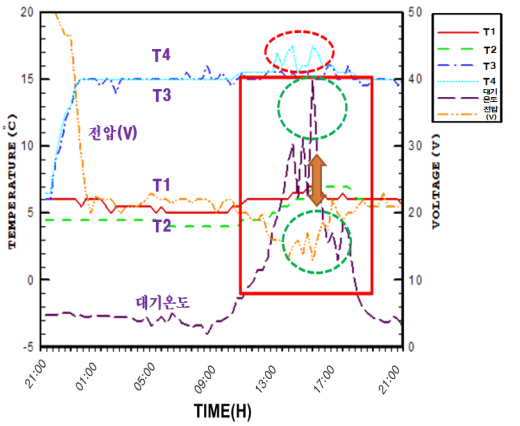

Figure 15: Temperature & Voltage control graph of insulated open-end water vessel(2011.JAN.24～25)

4. 결 론

본 연구에서는 무한히 많은 물중에서 일정 구획을 단열재로 단열하고 밑이 트인 수조에 히터를 장치하여 일정온도를 유지하는 모의실험의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 겨울철 이상적인 한파와 폭설이 내린 상태에서 모의실험을 하였으며, 대기의 온도변화가 심했음에도 불구하고 밑이 트인 단열수조 내의 설정온도인 15[℃]로 잘 추종됨을 확인하였다.

(2) PIC 마이크로프로세서를 이용하여 히터의 발열량을 피드백 제어함으로써 수온을 일정하게 유지시킬 수 있음을 확인하였다.

(3) 트라이악에 의한 위상제어로 전력제어가 가능한 시스템을 구현하였으며, 선박의 배터리 충전장치 등에도 응용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] “Fish form handbook” National Fisheries Research & Development Agency, vol. 2, pp. 165-174, 1987 (in Korean).

[2] H. M. Jeong, H. S. Jeong, S. H Ahn et al., “Farms within water tank thermal and flow characteristics”, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 628-633, 1997 (in Korean).

[3] Fisheriesnews, vol. 4, pp. 72-75, 1991 (in Korean).

[4] N. J. Kim, “A study on the ocean thermal energy conversion cycle of thermodynamics” Journal of The Korean Solar Energy Society, 2006 (in Korean).

[5] B. W. Ahn, A Fish Feedstuff System for Winter Season The Academic Consortium of Mokpo National Maritime University, 2009 (in Korean).

[6] http://www.kma.go.kr/weather/obervation, Accessed 25. Jan, 2011.