

## 대잠용 수온측정계 측정 메커니즘 개선

신상식<sup>\*†</sup> · 조환휘<sup>\*</sup> · 박승수<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 국방기술품질원

<sup>\*\*</sup> 소나테크(주)

### An Improvement of Expendable Bathythermograph Measurement Mechanism for Anti-Submarine Warfare

Shin, Sang-Sik<sup>\*†</sup> · Cho, Hwan Hwi<sup>\*</sup> · Park, Seung Soo<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Defense Agency for Technology and Quality

<sup>\*\*</sup> Sonartech.co.,ltd

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study is to improve a mechanism of expendable bathythermograph measurement by balancing wire resistances between plus wire part and minus wire part and by removing effects of sea water resistance between XBT(Expendable Bathythermograph) and temperature recorder.

**Methods:** The problems are exactly found out through the analysis of XBT and temperature recorder circuit. A process of XBT manufacturing that balances wire resistances between plus wire part and minus wire part is added.

**Results:** The results of this study are as follows; the complicated test process such as temperature accuracy test with a cistern is substituted with a simple process of XBT manufacturing such as balancing wire resistances between plus wire part and minus wire part. Then, the temperature accuracy tolerance of XBT is improved up to  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ .

**Conclusion:** Consequently, balancing wire resistances and removing effects of sea water resistance improve temperature accuracy of XBT and reduce expensive and harassing process of XBT manufacturing.

**Key Words:** Expendable Bathythermograph (XBT), Anti-submarine Warfare, Shadow Area, Snell's Law

● Received 11 August 2014, 1st revised 20 August 2014, 2nd revised 26 August 2014, accepted 29 August 2014

† Corresponding Author(sinppqq@hanmail.net)

© 2014, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unres

# 1. 서론

바다 밑의 수온의 수직분포를 측정하는 수온기록계 양단 전선저항 일치와 해수저항 영향 제거를 통한 대잠수함전용 수온기록계 측정 메커니즘 개선방법을 제시한다. 군전용으로 사용되는 수온측정계는 크게 수온기록계(Expendable Bathythermograph, XBT)와 수온기록기(Temperature Recorder)로 나누어지는데 바다 수심에 실제 투하되어 수심에 따른 수온의 수직분포를 측정하는 것이 수온기록계이며, 수온기록계가 전달하는 수온데이터를 처리하고 정보를 최종 제시하는 것이 수온기록기이다. 본 논문은 수온기록계를 개선하는데 중점을 두고 있다.

3면이 바다인 우리나라의 경우 바다의 중요성은 시간이 지날수록 커지고 있다. 기본적으로 바다에서 생산되는 바다식량(어류, 조개류 등) 뿐만 아니라 점점 그 중요성에 대한 인식이 커지고 있는 해양자원(석유, 천연가스 등) 확보는 국제적 분쟁을 야기 시키고 있다. 또한 해양지형과 조류에 대한 바다 밑 정보도 중요해 지고 있으며 특히, 해양지형은 소나기술의 발달로 그 조사 속도가 급속히 진전되고 있다. 국방 분야에서도 천안함 침몰 사건과 강대국들의 핵잠수함 운용으로 바다 밑 정보 및 소나기술, 특히 음파의 특성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(Waite 2002). 특히, 점점 그 중요성이 커지는 해군의 대잠수함전은 구축함 등 전투함, P-3 및 LYNX에 의한 대잠항공기에 의해 수행되는데, 잠수함을 접촉하는 주 수단인 음파를 이용한 SONAR (Sound Navigation & Ranging) 장비이다. 공기 매질의 경우와 달리 음파의 속도는 수중에서 약 1,500m/s 인데, 직진하지 않고 수중의 상태에 따라 굴절, 반사, 회절, 감쇄하는 물리적인 특성이 있기 때문에 공기를 매질로 사용하며 Line of sight 특성을 가진 전파에 비해서 음파는 잠수함을 정확하게 탐지하는 데 많은 제약과 어려움이 따른다(Donald 1987).

잠수함을 탐지하는 데는 주요 수단인 수중의 음파는 진행하는 특성이 여러 가지 요소들(Parameters)에 의해서 영향을 받는데, 그중에서 수중 음파의 속도가 가장 큰 영향요소이다. 그런데 음속에 영향을 미치는 중요변수는 온도, 염분, 압력이며, 이 세 가지의 크기가 증가할수록 음속도 증가한다. 기본적으로 바다 밑의 음속도는 온도의 영향이 가장 크고, 염분에 의한 변화가 가장 적다(Kim et al. 2006). 어떤 해역의 수직음속 구조를 알고 있다면 음파가 어떤 형태로 전달될 것인가를 예측할 수가 있다. 수직적인 수온 분포는 다양하여 수직적으로 다양한 온도층이 존재하며, 이에 따라 음파는 다양하게 굴절하고, 회절하고, 반사하고, 감쇄한다. 음파는 음속이 작은 쪽으로 굴절하고, Snell's Law에 따라 진행한다. 이 법칙에 따르면 수온에서의 음파의 속도의 차이는 음파의 굴절 각도를 야기 시키며, 음파의 속도가 낮은 쪽으로 굴절되는 것을 알 수 있다. 따라서 음파의 속도는 온도의 영향을 가장 많이 받으며 음파의 속도는 굴절 각도를 결정하므로 바다 밑의 정보 중 음파의 굴절 각도를 가장 주요한 요소는 수온이라는 결과를 얻을 수 있다.

음파의 굴절형태에 따라 수중에는 다양한 경로로 음파가 전달되며, 상황에 따라 일정한 수심 이하로는 음파가 전혀 도달하지 못하기도 하고(주로 여름철), 아주 먼 거리 까지 음파가 도달하기도 하며(음통효과), 수심이 깊어짐에 따라 압력이 증가하여 음속이 증가하므로 층심도(Sonic Layer Depth)가 형성되기도 하여 음파가 아래로 굴절하다가 다시 위로 굴절하는 현상이 나타나며, 즉, 음파 굴절로 인해 음파가 전혀 도달하지 않는 음영구역(Shadow Zone)이 존재하고, 잠수함은 이 구역에서 작전(활동)을 하며 자신의 위치를 숨기며, 대잠 탐색세력은 이 구역을 집중적으로 탐색하여 잠수함의 유무를 확인하게 된다. 이에 따라 바다 밑 수온의 수직분포에 대한 데이터 축적이 대잠수함전의 결정적인 핵심적인 요소가 되며, 실제 군에서는 수온기록계를 이용하여 수심에 따른 수온분포를 주기적으로 조사하고 있으며 그 축적된 수온 측정값을 데이터베이스에 유지하고 있어 유사시에 수온정보를 작전세력에게 제공하며 수온측정데이터의 정확도가 높아지면 높아질수록 대잠수함전에서의 아군의 작전 성공률이 높아질 수 있다.

이에 본 논문은 바다 밑 수온측정 정확도를 높이기 위하여 수온기록계 양단 전선저항 일치 및 해수저항 영향 제거를 통한 개선으로  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 수온측정정확도(Temperature Accuracy)를 달성하였으며, Lockheed Martin Sippican사의 XBT와 동일한 성능을 가진 국산품을 제공함으로써 국산품 품질을 개선하고자 하였다.

## 2. 현 실태와 문제점

군에서 사용하는 수온기록계는 Martin Sippican사의 XBT를 국산화한 제품으로 크게 5개의 부품으로 이루어져 있으며 각각의 명칭 및 모양은 아래와 같다.

- ① Probe : 수중으로 투하되어 정속낙하를 통한 수심별 온도 측정.
- ② Canister Wire Spool : 항해 시 선박에서 와이어가 풀림.  
Launcher Contacts에 연결되어 온도 값을 전달.
- ③ End Cap : Canister에 장착되며 덮개 역할을 수행.
- ④ Canister : 원통모양으로 내부에 Probe, Canister Wire Spool이 저장.
- ⑤ Release Pin : Probe를 Canister에 고정.



Figure 1. Structures of XBT

수온측정의 핵심은 수온기록계에 사용되는 NTC(Negative Temperature of Resistance) Type의 저항온도계의 저항 값을 찾아내는 것이다 즉, 수온기록계 투하체(Probe) 끝에 장착되어 있는 저항의 값을 알 수 있다면 NTC Type 저항온도계에서 제공하는 온도와 저항 관계 표로 측정된 저항 값을 온도로 환산할 수 있게 된다. 그러나 여기에 수온기록계의 구조적인 문제점이 제기된다. Canister Wire Spool에 2000m의 와이어 선이 있으며 Probe 투하 시 수직으로 최대 500m까지 와이어선이 늘어나게 된다. 즉, 약 2500m의 가는 와이어선이 있으며 이 경우 와이어는 감는 방식의 차이로 다양하며 높은 와이어 내부 저항(약 5k $\Omega$ )이 발생하며 그것으로 인해 정확한 NTC Type 저항온도계의 저항을 측정하는데 어려움이 발생한다.

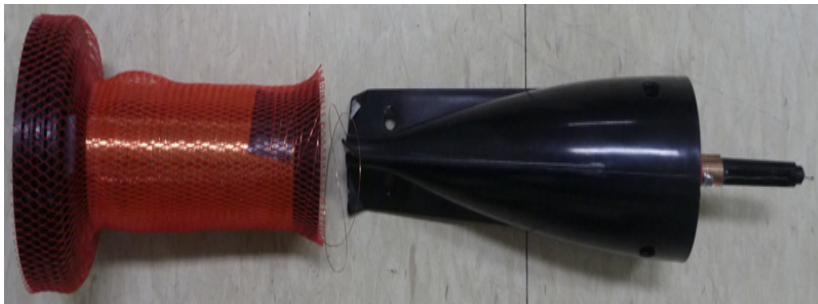


Figure 2. Probe and NTC Type resistance of XBT

그것뿐만 아니라 육지에서와는 다르게 수온측정기 회로의 그라운드(Earth Ground)를 기존 방식으로 대지에 그라운드를 연결할 수 없으므로 해수 그라운드를 사용하여야 하며, 투하체(Probe)의 해수 그라운드와 수온기록기의 해수 그라운드가 다르게 되면, 그것 또한 저항온도계의 저항값을 정확하게 구할 수 없는 이유가 된다. 왜냐하면 투하체(Probe)와 선박의 위치가 최대 2000m까지 벌어질 수 있으므로 만약 2000m 사이에 해수 저항의 차이가 발생(온도 차이 등에 의한)하면 그 만큼의 차이가 저항온도계의 저항값의 차이로 반영이 되는 구조적인 문제를 안고 있다. 즉, 이 두 가지 문제로 인해 수온기록계의 수심에 따른 수온측정의 오차가 발생하며, 그것을 보정하기 위한 저항이 수온기록계 회로에 추가로 들어가게 된다. 각각의 수온기록계가 요구하는 저항 값이 달라서 항온조와 수온기록기(STR-1)을 사용하여 간이 적으로 수온측정오차를 확인하여 그 값만큼 회로에 저항 추가하여 보정하는 형식으로 성능을 확보를 하였으나, 모든 완성된 제품에 대한 수온 온도 오차에 대한 확인 후 오차를 보정해 주어야하는 생산 공정상의 중요한 문제가 대두되었다. 이에 수온측정계 회로를 개선하여 이 문제를 해결하고자 하였다.

### 3. 개선기법

#### 3.1 회로검토

수온기록계와 수온기록기의 회로를 Fig. 3과 같이 검토하였으며, 수온기록계에 사용되는 중요한 값들을 아래와 같이 설정한다.

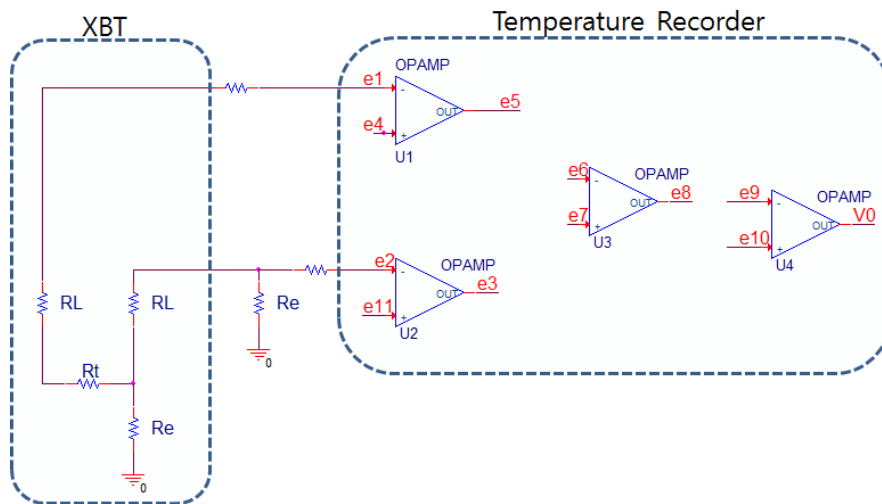


Figure 3. Full circuit of temperature measurement without exact line connections

- 1) 구하고자하는 NTC Type 저항온도계의 저항을  $R_t$ 로 설정
- 2) 해수저항은  $R_e$ 로 설정
- 3) 수온측정기 와이어 저항은  $R_L$ 로 설정
- 4) 필요 시 추가하는 보상저항  $R_C$ 로 설정
- 5) 최종 측정되는 전압(Output)은  $V_0$ 로 설정
- 6)  $V_r$ 은 저항온도계를 작동하기 위한 기준 전압

수온기록기(Temperature Recorder)의 경우 국방기술품질원의 관급으로 납품이 되는 장비가 아니라서 전체 회로에 대한 정보는 표시하지 못하고 부분 회로로 제시하여 이해를 돕도록 하겠다. 수온기록기에 사용되는 OP-AMP는 작은 신호를 증폭하는 용도로 기본적으로 사용되며, 회로분석에 대해서 사용되는 이론에 대해서는 아래에 추가로 설명을 하였다.

## 3.2 적용 원리

### 3.2.1 중첩의 원리(Superposition Principle)

여러 개의 전원이 존재하는 복잡한 회로의 해석에 유용하게 사용할 수 있는 기본원리로써, 각각의 전원에 대하여 회로를 분석한 후 나온 결과를 모두 더하여 줌으로써 회로를 최종 해석하는 원리이다(Albert and Bates 2006). 예를 들면, 두 개의 전원이 존재하는 회로에서 회로 내의 특정소자에 흐르는 전류나 전압을 구하고자 한다면 다음의 과정을 따르게 된다. 첫 번째로 전원이 하나만 존재한다고 가정하고 다른 나머지 전원은 회로에서 제거한 후, 하나의 전원을 가지고 원하는 소자에 흐르는 전류나 전압을 계산한다. 두 번째로 처음에 회로에서 제거한 전원만 존재한다고 가정하고 처음에 사용했던 전원을 회로에서 제거한 후, 확인하고 싶어 하는 소자에 흐르는 전류나 전압을 계산한다. 마지막으로 그 원하는 소자에 흐르는 전류나 전압 결과 값을 합산(중첩)함으로써 여러 개의 전원이 동시에 존재하는 경우의 회로 값(전압, 전류)을 찾아낼 수 있으며, 이것이 중첩의 원리이다.

### 3.2.2 OP-AMP의 Virtual GND(Ground)

OP-AMP는 단일 실리콘 웨이퍼에 많은 집적 소자를 가지고 이상적인 증폭기처럼 동작하도록 설계되어진 제품이다. 즉, 기본적으로 교류(AC) 또는 직류(DC) 전압을 이득을 가지고 증폭시키는데 사용하는 집적 회로다. OP-AMP는 입력 단자간의 전압 차에 비례하는 선형 출력 전압을 만들어 내는 기본동작을 하는데, 그 기본 동작 방정식은 아래와 같다.

$$V_0 = A(V_+ - V_-) \quad (1)$$

$V_0$  : 출력전압     $A$  : Gain,     $V_+$  : (+)입력전압,     $V_-$  : (-)입력전압

OP-AMP의 주요특성 첫 번째는 두 개의 입력단자로 전류가 흘러 들어가지는 않는 것이다(높은 입력단의 임피던스 값). 두 번째는 Negative Feedback이 있는 경우, 두 입력 전압이 같아지도록 출력( $V_0$ )이 형성이 되는 것이다. Virtual GND(Ground)는 OP-AMP의 주요특성 중 두 번째 특성을 말하는 것으로 Negative Feedback이 걸릴 경우 입력 양단의 전압이 동일하도록  $V_{out}(V_0)$ 이 변경되며 특히, (+)단자가 GND와 연결되었을 경우 OP-AMP의 Virtual GND라고 하며, 다르게는 Auto Gain Control이라고 명명되어 지기도 한다(James and Susan 2010).

위의 두 가지 이론을 바탕으로 수온측정기 회로에서  $R_t$ 를 찾아내기 위해서 필요로 하는 방정식을 도출하여 우리가 알고자 하는  $R_t$ 를 찾아내는 수식을 정리할 수 있다.

### 3.2.3 적용

Fig. 3에서 정의한 것과 같이 OP-AMP 입력단과 출력 단을 전원 소스 원으로 가정을 하며 중첩을 원리를 적용하여 e1의 값을 e5와 e2의 함수로 방정식을 도출할 수 있으며 다시 e1과 e4는 OP-AMP의 Virtual GND를 활용하여 방정식을 도출할 수 있다. 각각의 방정식을 정리하고 각 라인에 들어있는 저항들의 합(직/병렬 저항)은 과감하게 대문자K로 정리를 하여 수식을 정리하면, 아래의 수식들로 정리가 되며, 그 회로는 아래와 같다.

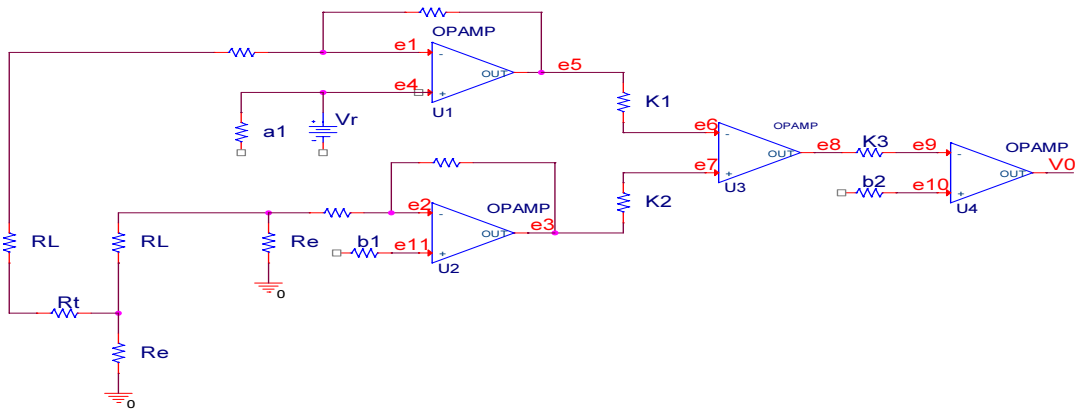


Figure 4. Full circuit of temperature measurement

Fig 4. 에서 가장 중요한 것은  $R_t$ 를 구하여 수온의 온도를 표에서 찾는 것으로써  $R_t$ 를 구하기 위한 수식을 다음과 같이 최종정리를 할 수 있다.

$$K_3 V_0 = \frac{K_1 V_r}{2} \left( \frac{R_t + b_1 - a_1 + b_2}{R_t + b_1 - a_1} \right) - K_2 V_r \tag{2}$$

$$a_1, b_1, b_2 : \text{Constant} \tag{3}$$

$$K_1 = \frac{R_a}{R_a + R_b} : \text{Constant} \tag{4}$$

$$K_2 = \frac{(R_v + R_2) // R_3}{(R_v + R_2) // R_3 + R_1} : \text{Constant} \tag{5}$$

$$K_3 = \frac{(R_v + R_2) // R_1}{(R_v + R_2) // R_1 + R_3} : \text{Constant} \tag{6}$$

$a_1, b_1, b_2$ 의 경우 Fig 4에서 보이는 것처럼 임의의 저항값이며,  $K_1, K_2, K_3$ ( $R_v, R_1, R_2, R_3$  포함)의 경우에도 임의의 저항에 대한 상수값으로 정확한 내부저항 값과 회로는 업체노하우(Know-How) 문제로 여기에서는 임의의 저항값으로 정리를 한다. 식(2)에서  $V_0$ 의 값을 수온기록기의 측정 전압의 값으로 알 수 있으며,  $V_r$ 은 제공되는 전압 임으로 알 수 있으며, 그 밖의  $R_t$ 를 제외한 값들은 상수(Constant)로 정해진 값이므로 최종 수온저항값을  $R_t$  구할 수 있으며, 구한  $R_t$ 와 수온의 상관표를 가지고 최종 수온의 온도를 알 수 있게 된다. 여기서 최종 수식에서 풀기위한 가장 중요한 점은 최종 수식에서 양단의 와이어 저항이  $R_L$ 로 동일한 경우에만 가능하다는 것이며, 만약 와이어 양단의 저항이 다를 경우, 수식(2)을 얻을 수 없으며  $R_L$ 이 계속해서 살아 있게 되어 온도저항계의 저항 측정의 정확도에 영향을 미치게 된다. 와이어 양단 저항  $R_L$ 이 동일하게만 만들어주면 와이어의 길이가 얼마나 긴던 그리고 와이어 연신율에 따른 와이어 자체 저항의 변동이 얼마나 크던 수온측정에 영향이 없게 만들 수 있다는 것이다. 이럴 경우 와이어 저항의 변동으로 인하여 모든 제품에 대해서 완제품 상태에서 수온을 측정하여 온도를 보정하는 작업이 필요하지 않게 되며 다만 와이어 양단의 저항을 측정하여 그 값만큼만 보정하는 저항을 추가하면 된다. 즉, 완제품 상태에서의 최종 온도측정 보정 공정을 와이어 저항 차이 측정이라는 단순 공정으로 대체가 가능하다는 결론에 도달하게

된다. 또한 식 (2)에 해수저항 $Re$ 가 사라져서 수온측정계의 온도 정확도에 영향을 미치는 해수저항의 값의 영향이 사라짐을 확인함으로써 실제 회로에서 해수저항에 대한 고려가 필요 없음을 최종 확인할 수 있다.

## 4. 입증실험 및 결과

### 4.1 입증시험

개선적용 후 성능 향상을 입증하기 위해서 시험이 필요하나 정확한 측정을 위해서는 함정을 가지고 측정해역으로 가서 시험을 진행하여야하는 진행의 어려움이 있어 간이적으로 온도를 유지하고 측정할 수 있는 정밀 온도계(F200)와 항온조(WCR-08)를 가지고 실험을 하고자한다. 투하체(Probe)를 투하시키기 위한 hand-Held Type 발사대(해군에서 사용 중인 발사대와 동일한 성능을 발휘하는 발사대)와 수온을 측정하기 위한 수온기록기와 S/W를 준비하여 개선된 제품의 수온측정정확도(Temperature Accuracy)를 확인한다. 시험순서는 먼저 hand-Held Type 발사대에 투하체(Probe)를 설치하여 25℃로 세팅되어 있는 항온조에 투하를 하며, 수온기록기에 측정되어지는 온도값을 확인하여 정밀온도계와의 차이를 확인하고 얼마나 수온측정이 정확한지를 확인 할 수 있다. 실험에 사용되어지는 수온기록기(STR-1) 및 수온기록계는 현재 해군에 납품되고 있는 제품을 사용하여 실험에 신뢰도를 높였으며, 실험에 사용되는 절차나 제품도 현재 수온기록계 양산품 품질관정을 받고 있는 절차 그대로 따라서 진행하여 실제 개선 적용 시 얼마나 수온측정정확도(Temperature Accuracy)가 높아지는지 확인하였다.

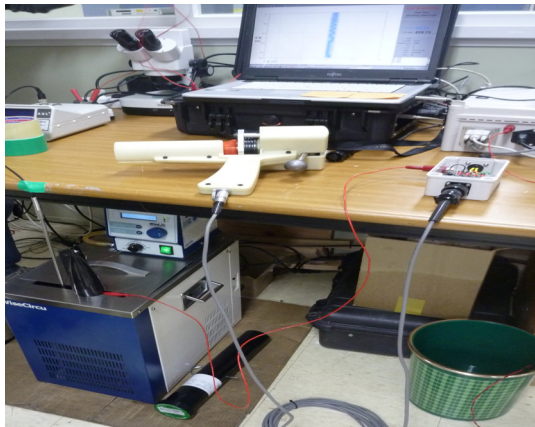


Figure 5. Simple test equipment

#### 4.1.1 개선 전 시험결과

수온기록기에 사용되는 측정 S/W(STX-MV)를 사용하여 측정을 하였으며, 빨간색 표시선(음속)과 파란색 표시선(수온)으로 그래프가 그려진다. Y축은 수심을 나타내는 축으로 투하체의 해저수심에 따라서 그래프가 작성이 되는데 간이실험에서는 투하체(Probe)가 실제 항온조에서는 떨어지지 않고 고정되어 있다. 현재 해군에 납품되는 수온기록계의 경우 투하체 앞부분에 무거운 납을 추가설치하여 바다에 투하시 수직으로 등속도로 하강을 하는 구조로 제품을 개발하여 식(1)에서 제시된 음파속도(음속) 계산식을 사용하여 시간에 따른 음속을 표시를 할 수 있으며 수온의 온도는 변화가 없다는 것을 알 수 있다. 실제 실험결과 항온조의 온도 세팅(25℃)보다 1℃(26℃측정)가 높은 것을 확인

할 수 있다. 이 경우 개선 전에는 이 간이확인실험 이후에 측정제품 와이어에 임의의 저항을 추가하여 온도보정을 해주어야 한다.

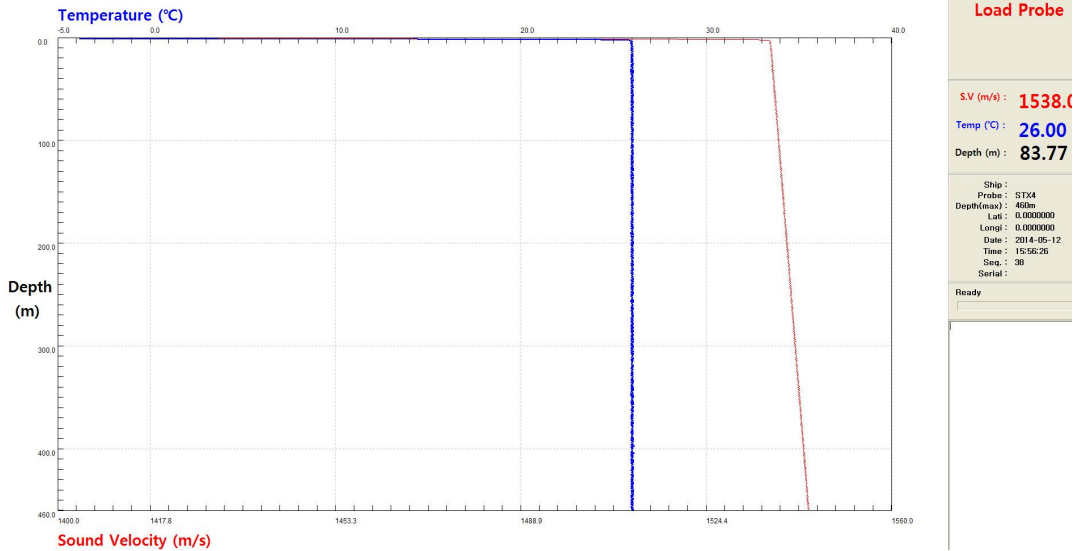


Figure 6. Result of temperature accuracy without the improvement method

#### 4.1.2 개선 후 시험결과

와이어 양단의 저항의 차이를 확인하여 보정 후(양단 저항의 차이 없음) 개선된 수온기록계의 투하체(Probe) 항온조에 투하 시 좌측편의 수온 온도의 값을 확인하면 실제 항온조 온도(25°C)와 동일한 온도를 제시하고 있는 실험 결과를 얻을 수 있다.

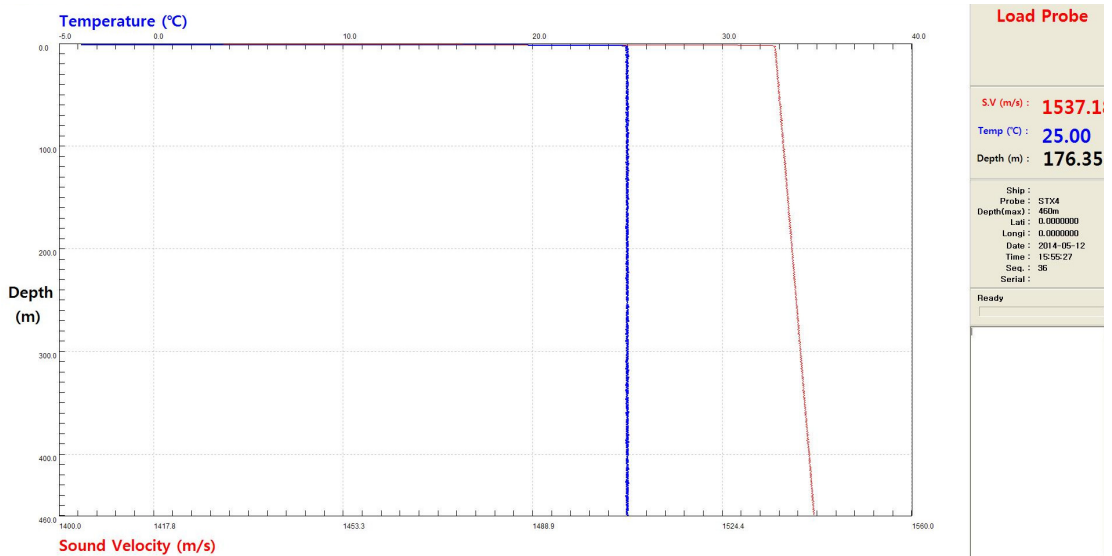


Figure 7. Result of Temperature Accuracy with improvement method



이전에는 제품 각각에 대해서 항온조 간이 실험 후 온도 차이를 확인하여 와이어 양단에 저항을 추가하는 공정이 있었지만, 개선 후에는 단순히 제품 와이어 양단의 저항치만을 측정하여 그 차이만큼의 저항을 보정하여 양단을 같게만 하는 단순공정의 추가만으로 바다 수온의 정확한 온도를 측정할 수 있다는 것을 이번 실험으로 확인 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 수온측정계의 메커니즘 분석(회로 분석 등)한 후 중첩의 원리 및 OP-AMP의 Virtual GND 이론을 사용하여 통하여 수온기록계의 NTC Type 저항값을 미지수로 하는 방정식 식(4)을 최종 도출하였다. 최종 방정식 식(4)을 도출하기 위해서는 수온측정계 양단 와이어 저항을 일치시켜야 한다는 것을 확인하였으며, 이로 인해 수온기록계 와이어 전선 저항의 영향을 제거할 수 있었다. 또한 수온기록계와 수온기록기 사이에 발생할 수 있는 해수접점의 저항값도 최종방정식 식(4)에서 제거할 수 있다는 것을 확인하였다. 수온기록계 와이어 전선 저항의 영향 제거로 인해 번거로운 온도보정 공정을 단순 공정(와이어 저항의 차이만을 관리하여 보정)으로 변경하여 공정개선효과를 가져오게 되었다. 개선 검증을 위하여 항온조에서 간이 실험을 통하여 개선된 제품의 수온을 측정한 결과 성능이  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 수온측정 정확도(Temperature Accuracy) 이상을 가지는 것을 확인하였으며, 항온조 수조에 수온기록계의 투하체를 투하하여 수온측정 값을 확인 후 저항을 추가하는 복잡하고 공수가 많이 드는 공정에서 와이어 저항의 편차만 관리하여 편차가 없게 보정하는 공정으로 공정프로세스를 개선하였다. 기대효과로는 첫 번째로 국산화 제품의 경쟁력 강화를 들 수 있다.  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  이하의 수온측정 정확도(Temperature Accuracy)를 가진 국산화 제품을 확보함으로써 외국 제품과 성능 면에서 떨어지지 않는 제품을 해군에 제공하여 국산화 제품 경쟁력 강화에 기여를 하였다. 또한 공정 개선 면에서도 복잡한 완제품 시험공정을 단순한 제조공정만으로 성능을 향상시켜 제품에 들어가는 공수를 줄일 수 있어 제품 경쟁력을 가지게 되었다.

## REFERENCES

- Albert, David., and Bates, J. 2006. *Electronic Principles*, 7th Edi. Mcgraw-Hill.
- Donald, Ross. W. 1987. *Mechanics of Underwater Noise*. Peninsula Publishing.
- James, W. N., and Susan R. 2010. *Electric circuits*, 9th Edi. Pearson.
- Kim, D. Y., Jeon, J. J., and Kim, Y, G. 2006. "Sea and Defence Technology." *The Korean Physical Society* 15:25-30.
- Waite, A. D. 2002. *Sonar for Practising Engineers*. John Wiley & Sons.

