

## 고정식 부력을 이용한 염도 및 수위 측정 방식에 대한 연구

양승영<sup>1</sup>, 변경석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국자동차연구원, <sup>2</sup>목포대학교 기계공학과

## Salinity and water level measuring device using fixed type buoyancy

Seung-Young Yang<sup>1</sup>, Kyung-Seok Byun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Automotive Technology Institute

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University

**요 약** 염전의 자동화 시스템 구성을 위해서는 증발지의 염도 및 수위 측정이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 2개의 고정된 부력체의 부력을 측정하여 함수의 염도 및 수위를 동시에 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 측정방식은 측정 장치가 함수에 잠기게 될 때 주부력체와 비교부력체의 부력을 측정하고, 두 부력의 합과 차를 통해 염도와 수위를 동시에 측정하는 것이다. 부력의 측정에 기계적인 움직임이 없어서 뺨이 포함된 염전의 환경에서 측정 오류와 유지보수가 필요성을 줄일 수 있다. 제안된 방법을 적용하여 염전의 증발지에서 원격으로 염도 및 수위를 동시에 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 여러 수준의 염도를 갖는 기준함수를 사용한 측정 실험을 통하여 염도 오차 0%, 수위 오차 2mm의 결과를 얻고, 제안된 염도 및 수위 측정 장치의 유효성을 확인하였다. 개발된 염도 및 수위 측정 장치를 활용하여 자동화 시스템을 구성할 경우 노동력 절감 및 작업 환경 개선과 생산성 증진이 기대된다.

• **주제어** : 염도 측정, 수위 측정, 함수(鹹水), 염전, 염전 자동화, 측정 시스템

**Abstract** To make an automated system for a salt field, it is necessary to measure the salinity and water level of the evaporation site. In this paper, a method to simultaneously measure the salinity and water level by measuring the buoyancy forces of two fixed buoyancy bodies is proposed. The proposed measurement method measures the buoyancy of the main part and reference part when the measuring device is immersed in the salty water, and simultaneously measures the salinity and water level through the sum and difference of the two buoyancy forces. Since there is no mechanical movement in the measurement of buoyancy, measurement errors and maintenance needs can be reduced in the muddy environment of salt field. By applying the proposed method, we developed a system that can simultaneously measure salinity and water level remotely at the evaporation site of a salt field. Through a measurement experiment using a reference salty water having various levels of salinity, the results of a salinity error of 0% and a water level error of 2mm were obtained, and the effectiveness of the proposed salinity and water level measuring device was verified. When an automated system is constructed using the developed salinity and water level measuring device, labor reduction, work environment improvement, and productivity improvement are expected.

• **Key Words** : Salinity, Water level, Salty water, Salt field, Salt field automation, Measuring system

---

Received 08 January 2020, Revised 12 February 2020, Accepted 19 March 2020

\* **Corresponding Author** Kyung-Seok Byun, Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University, 1666, Youngsan-ro, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeollanam-do, Korea. E-mail: ksbyun@mokpo.ac.kr

## I. 서론

천일염이 식품으로 등록된 후 식품위생 및 안전성이 강화되어 국내산 천일염의 생산시설 및 근로환경 개선에 대한 관심이 커지고 있다[1].

천일염은 해수를 증발지를 거쳐 염도를 높인 후 해수에 저장하고, 다시 결정지에서 채염하는 단계를 거쳐서 생산된다[2]. 함수(鹹水)는 증발지에서부터 염도 단계별 수많은 물꼬(함수의 급수 및 퇴수용 수문)의 개폐를 통해 결정지까지 이동시킨다. 이러한 함수의 이동은 염부가 수습일 동안 염전에 상주하며 함수의 상태를 수시로 확인해야 한다. 넓은 면적의 염전에서 다수의 결정지와 증발지에서 함수의 염도와 수위를 확인하는 일은 매우 번거롭고 일손이 많이 필요한 작업이다.

이러한 염전의 생산성을 높이기 위해 염전 자동화를 위한 연구가 수행되고 있다. Fig. 1은 자동화된 염전의 개략도를 나타낸 것이다. 자동화를 위해서는 함수의 염도와 수위를 측정하고, 이를 바탕으로 물꼬 개폐 작업을 자동으로 수행하여 보다 좋은 품질의 천일염을 생산할 수 있다. 이에 본 연구에서는 노동집약적인 천일염 생산과정에서 함수의 염도와 수위 측정을 원격으로 자동 측정하는 시스템을 개발하고자 한다.

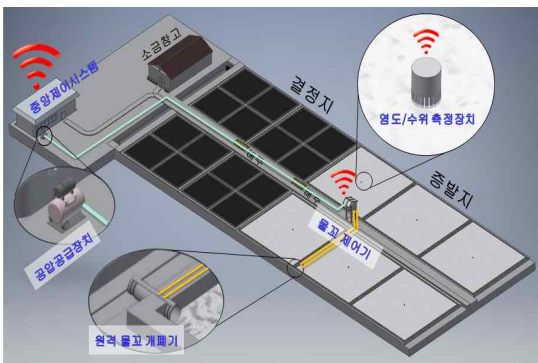


Fig. 1. Automated solar salt field

기존 대부분의 염전에서는 염부가 직접 증발지를 돌아다니며 비중계를 사용하여 염도를 측정하였다. 이를 원격으로 측정하기 위해서는 전기전도도 측정방식[3], 굴절염도계[4] 등이 있다. 염전의 환경에서 함수는 빨 등 이물질이 혼합되어 있다. 전기전도도 방식을 사용하면 접촉부에 부식이 발생하거나, 이물질이 묻어서

굳게 되면 측정오류가 발생할 수 있어서 주기적인 유지 보수가 필요하다. 굴절 염도계의 경우에도 빨로 인한 혼탁으로 측정 오차가 발생할 가능성이 있다.

수위는 염부가 증발지에서 육안으로 확인하거나 경험적인 증발량에 대한 정보로 예측하여 작업을 진행해 오고 있다. 염도와 같이 염전의 자동화를 위해서는 수위의 원격 자동 측정도 필요하다.

기존 연구에서 부력을 이용하여 염도와 수위를 동시에 측정하는 장치[5]가 개발되었으나 부력체가 움직이는 구조이므로 빨로 인한 오염이 이동부의 운동을 제한하는 단점이 있다.

본 논문에서는 고정되어있는 2개 부력체의 부력을 측정하여 염도와 수위를 동시에 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 기계적인 이동부가 없고, 염전 환경에 강한 특성을 갖는다.

제2장에서는 고정식 부력 측정을 통해 염도 및 수위를 측정하는 방식을 제안하고, 제3장에서 제안된 방식을 사용한 염도 및 수위 측정 장치에 대하여 설명한다. 제4장에서 실험 결과를 설명하고 제5장에서 결론을 도출한다.

## II. 고정식 부력을 이용한 염도 및 수위 측정 방식

염전의 증발지는 갯벌 등의 이물질이 포함될 수 있다. 따라서, 이물질의 오염에 의한 영향이나 유지보수 필요성을 줄이기 위하여 기계적인 움직임이 없는 구조의 측정 방식을 제안한다.

본 논문에서 제안한 염도 및 수위 측정 방식은 2개의 상이한 부력체의 부력을 고정방식으로 측정하고, 이를 비교 계산하여 염도 및 수위를 동시에 측정하는 것이다.

Fig. 2는 주부력체(main part)와 비교부력체(ref. part)로 이루어진 2개 부력체의 구성을 나타낸 것이다. 두 부력체의 높이가 고정된 상태에서 염도 및 수위를 측정하려는 함수가 높이  $h$ 로 채워지면 주부력체와 비교부력체는 각각 부력을 받게 된다. 이때 각 부력체와 고정부 사이에 로드셀을 설치하면 각 부력을 고정식으로 측정할 수 있다.

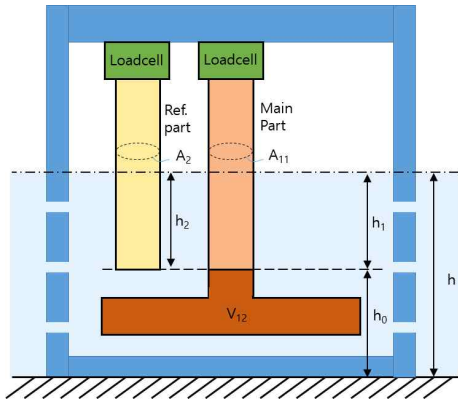


Fig. 2. Principle of measuring system

그림의 예에서는 주부력체가 상부 원기둥부와 하부의 원판부로 구성되어 있다. 이때 주부력체의 부력  $F_1$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_1 = f_{11} + f_{12} \quad (1)$$

여기서,  $f_{11}$ 은 주부력체의 원기둥이 받는 부력이며,  $f_{12}$ 는 원판이 받는 부력으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f_{11} = \rho_T V_{11} g = \rho_T A_{11} h_1 g \quad (2)$$

$$f_{12} = \rho_T V_{12} g \quad (3)$$

여기서,  $\rho_T$ 는 함수의 밀도이고,  $V_{11}$ 은 원기둥부 중 함수에 잠긴 부피,  $A_{11}$ 은 원기둥부의 단면적,  $h_1$ 는 원기둥부가 잠긴 높이,  $V_{12}$ 은 원판부의 부피,  $g$ 는 중력 가속도를 나타낸다.

비교부력체의 부력  $F_2$ 도 동일하게 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_2 = \rho_T V_2 g = \rho_T A_2 h_2 g \quad (4)$$

여기서,  $V_2$ 은 비교부력체의 원기둥부 중 함수에 잠긴 부피,  $A_2$ 은 원기둥부의 단면적,  $h_2$ 는 원기둥부가 잠긴 높이를 나타낸다.

비교부력체의 원기둥부의 단면적과 밑면의 높이를 주부력체의 단면적과 밑면의 높이와 동일하게 하면 두 원기둥부 부력은 다음처럼 동일한 크기를 갖는다.

$$(A_{11} = A_2, h_1 = h_2) \Rightarrow f_{11} = F_2 \quad (5)$$

따라서  $F_1$ 과  $F_2$ 의 차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_1 - F_2 = f_{12} = \rho_T V_{12} g \quad (6)$$

두 부력의 차를 구하면 위의 식으로부터 함수의 밀도  $\rho_T$ 를 계산할 수 있다.

$$\rho_T = \frac{F_1 - F_2}{V_{12} g} \quad (7)$$

염도는 측정된 함수의 밀도로부터 계산할 수 있다. 염도  $S$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S[\%] = \frac{m_s}{m_T} \times 100 = \frac{m_s}{m_s + m_w} \times 100 \quad (8)$$

여기서,  $m_T$ 는 함수의 질량,  $m_s$ 는 함수에 포함된 소금의 질량,  $m_w$ 는 함수에 포함된 물의 질량을 나타낸다. 함수의 밀도는 다음과 같다.

$$\rho_T = \frac{m_T}{V_T} = \frac{m_s + m_w}{V_T} \quad (9)$$

여기서,  $V_T$ 는 함수의 부피를 나타낸다. 식 (9)를  $m_s$ 에 대하여 정리한 후 식 (8)에 대입하여 정리하면 염도와 밀도 사이의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$S[\%] = \left(1 - \frac{m_w}{\rho_T V_T}\right) \times 100 \quad (10)$$

$V_T$ 가 염도에 관계없이 일정하다고 가정하면 다음과 같다.

$$S[\%] = \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_T}\right) \times 100 \quad (11)$$

여기서,  $\rho_w$ 는 물의 밀도를 나타낸다. 식 (7)에서 구

한 함수의 밀도  $\rho_T$ 를 사용하여 함수의 염도를 측정할 수 있다.

다음은 함수의 수위를 구하는 방법에 대해서 살펴본다. 우선 주부력과 비교부력의 합을 구하면 다음과 같다.

$$F_1 + F_2 = f_{11} + f_{12} + F_2 \quad (12)$$

여기서, 식 (5)를 적용하면

$$F_1 + F_2 = 2\rho_T A_{11} h_1 g + \rho_T V_{12} g \quad (13)$$

이 되고, 이를  $h_1$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$h_1 = \frac{F_1 + F_2 - \rho_T V_{12} g}{2\rho_T A_{11} g} \quad (14)$$

따라서, 함수의 수위  $h$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h = h_0 + h_1 \quad (15)$$

여기서,  $h_0$ 는 바닥면에서 원기둥부 밑면까지 높이이다.  $h_0$ 는 부유체 제작 시 결정되는 값이므로 식 (14)를 통해  $h_1$ 의 값을 구하면 함수의 수위  $h$ 를 측정할 수 있다.

### III. 염도 및 수위 측정장치의 제작

#### 3.1 염도 및 수위 측정장치의 구조

Fig. 3은 개발된 염도 및 수위 측정 장치를 나타낸 것이다. 주부유체와 비교부유체는 로드셀에 의해 측정장치 본체에 고정되고, 본체는 하부케이스에 의해 지면에서 일정한 높이로 설치된다. 설계된 측정장치의 파라미터는 Table 1과 같다.



Fig. 3. Salinity and water level measuring device

Table 1. Design parameter of Salinity and water level measuring device

parameter	value
$h_0$	30mm
$A_{11} = A_2$	491mm <sup>2</sup>
$V_{12}$	156,400mm <sup>3</sup>

#### 3.2 염도 및 수위 계측 시스템

염전의 환경적 특성을 고려하여 전원부 및 계측 시스템은 함수에 잠기지 않도록 시스템 상부에 설치되었다. Fig. 4는 계측 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

전원은 배터리로 공급되고, 부력체의 부력을 로드셀 2개로 각각 측정한다. 그 값은 Atmega128의 AD변환기에 의해 변환되고, 지그비모듈을 통해 PC로 전송된다. PC에서는 LabView를 사용하여 측정된 두 부력을 계산하여 염도와 수위를 동시에 측정한다. 부력을 부력체의 무게를 미리 측정하여 원점 조정 후 측정한다. 사용된 계측 시스템의 제원은 Table 2와 같다.

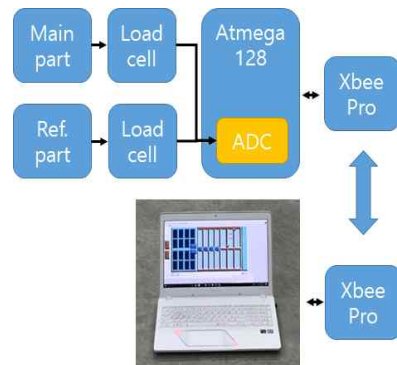


Fig. 4. Configuration of measurement system

Table 2. Specification of measurement system

module	model	specification
로드셀	BCL-1L	1kg
마이크로컨트롤러	Atmega128	8bit CPU
지그비 모듈	Xbee-Pro	2.4GHz

#### IV. 염도 수위 측정 시험

염도 수위 측정 장치 및 자동화 시스템 검증 시험을 진행하였다. 시험은 염도 수위 측정 시스템의 측정 정확도와 원격 물꼬 개폐시스템의 응답성을 확인하기 위해 진행하였다.

##### 4.1 염도 및 수위 측정 시험 방법

시험을 위한 기준 함수의 염도는 0~28%의 염도 측정이 가능한 Atago사의 PAL-03S 굴절식 염도계를 사용하여 Fig. 5와 같이 각각 0%, 5%, 10%, 15%로 별도의 용기에 준비하였다. 수위는 각각 150mm이다. 함수의 염도는 상온 25.0°C ~ 26.5°C 이내에 측정하였다.



Fig. 5. Reference salty water

염도 및 수위 측정장치를 각 기준 함수 용기에 설치하여 값이 안정된 후 측정값을 저장하였다. Fig. 6은 각 기준 함수에 대한 측정 과정을 나타낸 것이다.

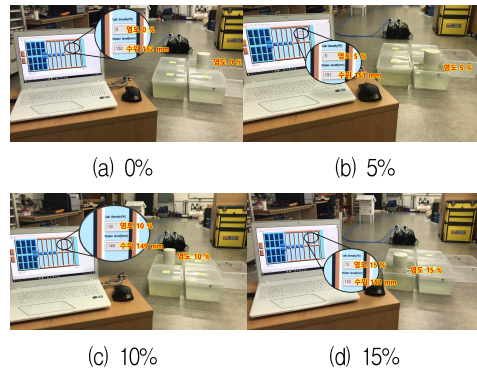


Fig. 6. Experiments for measurement of salinity and water level

##### 4.2 염도 및 수위 측정 결과

염도 및 수위 측정 결과는 Table 3과 같다. 염도는 분해능이 1%로 측정한 결과 4가지의 경우에 오차가 0%로 측정되었다. 수위는 분해능 1mm로 측정하여 최대 2mm의 오차가 측정되었다.

Table 3. Experimental results

	salinity [%]		water level [mm]	
	data	error	data	error
salinity 0 % water level 150mm	0	0	152	2
salinity 5 % water level 150mm	5	0	151	1
salinity 10 % water level 150mm	10	0	149	1
salinity 15 % water level 150mm	15	0	152	2

#### V. 결론

염전의 자동화 시스템 구성을 위해서는 증발지의 염도 및 수위 측정이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 2개의 부력체의 부력을 고정식으로 측정하여 함수의 염도 및 수위를 동시에 측정할 수 있는 방법을 제안하였다.

제안된 측정방식은 측정 장치가 함수에 잠기게 될 때 주부력체와 비교부력체의 부력을 측정하고, 두 부력의 합과 차를 통해 염도와 수위를 동시에 측정하는

것이다. 부력의 측정에 기계적인 움직임이 없어서 뱃이 포함된 염전의 환경에서 측정 오류와 유지보수의 필요성을 줄일 수 있다.

제안된 방법을 적용하여 염전의 증발지에서 원격으로 염도 및 수위를 동시에 측정할 수는 있는 시스템을 개발하였다.

여러 수준의 염도를 갖는 기준함수를 사용한 측정 실험을 통하여 염도 오차 0%, 수위 오차 2mm의 결과를 얻고, 제안된 염도 및 수위 측정 장치의 유효성을 확인하였다.

염도 및 수위 측정 장치를 이용할 경우 증발지에서 부터 결정지에 이르는 소금물의 염도를 일정하게 자동으로 조절할 수 있으므로 국내산 천일염의 품질 향상 및 관리가 가능할 것으로 판단되며, 고품질 천일염의 소비로 인한 천일염의 인식 변화 및 고가격화로 인한 어가의 소득증대 및 고품질 및 균일화 된 상품 생산으로 인한 천일염의 인식 변화와 소비 촉진이 기대된다. 또한, 개발된 염도 및 수위 측정 장치를 활용하여 자동화 시스템을 구성할 경우 노동력 절감 및 작업 환경 개선과 생산성 증진이 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 해양수산부 수산실용화기술개발사업 (국립목포대학교 천일염연구센터, 과제번호 20130290)의 지원에 의해 수행되었음.

### REFERENCES

[1] J. H. Han, B. O. Choi, "Policy issues of sea salt industry," Research reports, Korea rural economic institute, 2010.

[2] H. I. Moon, "A study on the advancement of facilities for producing sun-dried salt in Korea," Journal of the Island Culture, 46, pp. 181-218, 2015.

[3] S. J. GO, B. W. Lee, C. D. Kim and Y. S. Jang, "Development of salinity meter for a ship and its performance evaluation," Journal of Korean Soc. of Mechanical Technology, 10(1), pp. 1-6, 2008.

[4] B. C. Kim, Y. H. Kim, S. M. Chang, "Salinity determination for sea water using Immersion-type

on-line refractometer," Journal of Korean Navigation and Port Research, 26(5), pp. 571-575, 2002.

[5] Y. I. PARK, O. C. LEE, "Hybrid detecting apparatus for sensin solinity and liquid level," Korean patent, 2014. 10-14351040000

---

### 저자 소개

---

양 승 영 (Seung-Young Yang)



2016년 2월 : 목포대학교  
기계공학과(공학사)  
2018년 2월 : 목포대학교  
기계공학과(공학석사)  
2018년 3월~현재 :  
한국자동차연구원 프리미엄  
자동차연구센터(연구원)

관심 분야 : 메카트로닉스, 차량 NVH

변 경 석 (Kyung-Seok Byun)



1996년 2월 : 고려대학교  
기계공학과(공학사)  
1998년 2월 : 고려대학교  
기계공학과(공학석사)  
2002년 8월 : 고려대학교  
기계공학과(공학박사)  
2002년 9월~2006년 2월 : 삼성전자

메카트로닉스센터(책임연구원)

2006년 3월~현재 : 목포대학교 기계공학과(교수)

관심 분야 : 메카트로닉스시스템, 제어응용 시스템, 로봇설계