

침적식 온라인 굴절계를 이용한 해수의 염도 측정

김병철* · 김영한** · 장상목***

*동아대학교 대학원, **동아대학교 화학공학과 교수, ***동아대학교 화학공학과 교수

Salinity Determination for Sea Water Using Immersion-Type On-Line Refractometer

Byoung-Chul Kim* · Young-Han Kim** · Sang-Mok Chang***

*Graduate school of Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

**Department of Chemical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

***Department of Chemical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

요약 : 해수의 염도와 온도를 현장에서 측정할 수 있는 침적식 온라인 굴절계를 제작하고 실제 해수와 유사한 2% 내지 4%의 염수를 사용하여 그 성능을 조사하였다. 굴절률과 온도를 동시에 측정함으로써 온도보상을 신속하게 할 수 있어 염도의 직접측정을 가능하게 하였다. 각기 다른 농도의 염용액에서 측정된 염도의 결과로부터 본 실험의 장치는 안정성과 재현성을 모두 갖는 염도 측정이 가능함을 알았다.

핵심용어 : 해양사고, 조사코드, 인적요소, 조사지침, 해양사고 보고서, USCG 매뉴얼

Abstract : An immersion-type on-line refractometer useful for the in-situ measurement of salinity and temperature of sea water is developed, and its performance is examined by applying the refractometer to known salt solution having salt concentration between 2 and 4. % similar to practical sea water salinity. Since refractive index and temperature are measured simultaneously, it is possible to compensate the effect of temperature for fast and direct measurement.

The outcome of salinity measurement for the different concentrations of salt solution indicates that the device is suitable for the salinity measurement by yielding stable and reproducible reading.

Key words : Salinity Measurement, Refractometer, Temperature-Compensated, On-Line Measurement, Immersion-Type

1. 서 론

해수에서의 염도는 해양 생태계와 직접적인 관련이 있기 때문에 염도의 측정은 매우 중요하며 해수의 수질관리나 수산업에 반드시 필요하기 때문에 연속적이고 무인화된 측정이 가능하다면 대단히 편리하게 활용할 수 있을 것이다. 이러한 염도의 측정을 위하여 비교적 간단한 전기전도도 측정법이 널리 사용되고 있다. 해수의 염 농도가 변화하면 굴절률이 변화하므로 굴절률을 측정하여 해수의 염도를 측정하려는 시도는 이미 발표된 바 있다(Minato et al., 1989; 최·김, 2001). 이러한 광학식 염도 측정센서는 염도이외에 탁도, 미량 해조류의 광학적 동시 측정이 가능하므로 기존의 전기식 센서에 비해 활용도가 높은 이점이 있다. 그러나 기존의 장치는 해수에 직접 담글 수 없는 단점을 가지고 있다.

굴절계가 화학성분의 분석에 널리 활용되고 있음은 액체 크로마토그래프에서 감지기로 굴절계를 사용하는 점이 이를 뒷받침해주고 있다. 굴절계를 사용하면 피측정물질의 광학적 특성 변화를 전기적 신호로 얻을 수 있어 실시간의 측정이 가

능하고 시료처리나 신호처리에 시간이 필요하지 않기 때문에 매우 빠른 속도로 측정할 수 있다.

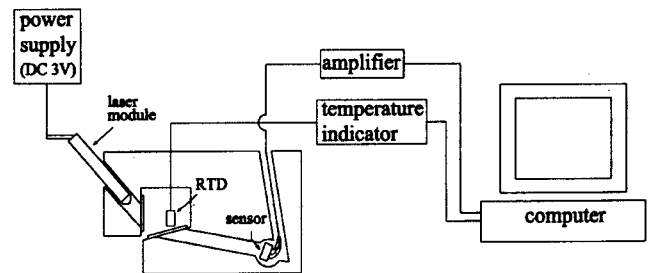


Fig. 1. Schematic diagram of an immersion-type on-line refractometer.

굴절률의 측정시 Abbe 굴절계나 Pulfrich 굴절계처럼 현미경이나 망원경과 같은 광학기기를 이용하는 방법과 광선을 둘로 나누는 2광선 간섭계로 기체 등의 굴절률 측정에 쓰이는 간섭계에 의한 방법 혹은 Brewster 각도법 등을 이용하는 방법들이 있다(Fang and Juncar, 1999). 이러한 기존의 굴절률

* kbc1010@hanmail.net, 051)200-6737

** 정희원, yhkim@mail.donga.ac.kr 051)200-7723

*** smjang@mail.donga.ac.kr, 051)200-7726

측정방법을 개선한 연구들이 최근 많이 발표되고 있다. 온도의 변화에 따른 굴절률의 변화를 보상하기 위한 방법으로 2중 파장을 이용하는 방법(Hanning and Roeraade, 1997), 굴절률 측정의 안정성을 향상하기 위하여 헤테로다인 광과 프리즘을 이용한 방법(Su et al., 1998), 2중 간섭계와 습도센서를 복합한 굴절계방법(Lukosz, 1997), 측면 굴절률의 측정에 의한 방법(Veldhuis et al., 1999) 등이 소개된 바 있다. 또 굴절률 측정의 정도를 높이기 위하여 2개의 서로 다른 파장을 가진 광원을 이용하는 측정방법(Qi et al., 2002)과 다이오드 레이저 광을 이용한 초소형 굴절계(Bodermann et al., 2002)가 개발되어 있다.

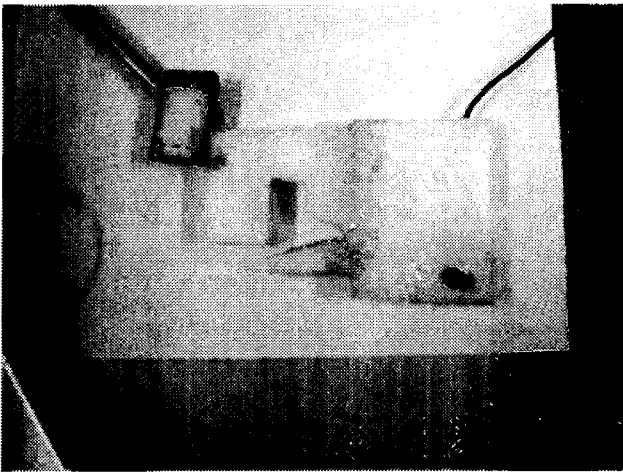


Fig. 2. Photograph of an immersion-type Refractometer

굴절률의 측정 시 온도가 변화하면 측정값이 온도에 매우 민감하게 변화하므로 일정한 온도조건에서 측정을 하거나 온도변화에 따른 굴절률의 변화를 보상해 주어야 정확한 굴절률 측정이 가능하므로 굴절률의 온도 의존성을 해결하려는 노력이 계속되고 있다.

현재 많이 사용하는 자동식 굴절계는 굴절률 측정을 위한 빛의 측정을 위해 CCD (Charge Coupled Device)나 광전 다이오드를 사용하여 빛의 굴절 정도를 감지한다. 이러한 굴절계들은 오프 라인으로 보통 사용하며 온라인으로 사용하는 경우에도 온도보상이 되지 않아 시료의 온도가 일정한 범위 내에 도달하도록 따로 온도조절 장치가 부착되어 있어 장치의 소형화에 어려움이 따른다. 또 온도조절을 위하여 측정시간을 많이 소요하는 단점을 갖고 있다. 예를 들어 온라인 정밀 굴절계 (Kyoto Electronics Co., Japan, Model RA-510)의 경우 시료의 온도가 설정온도에서 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내일 때 측정치를 출력하므로 시료의 온도가 일정하지 않거나 설정온도에서 많이 벗어나는 경우 온도조정에 많은 시간을 필요로 하여 측정 시간이 매우 길다. 또 장치가 커서 해수의 염도 측정에 온라인으로 사용하기에는 적합하지 않다. 뿐만 아니라 굴절률은 염도에 따라 변하기도 하지만 온도에 의해서도 변하기 때문에 온도를 동시에 측정하여 보상을 해줄 필요가 있다.

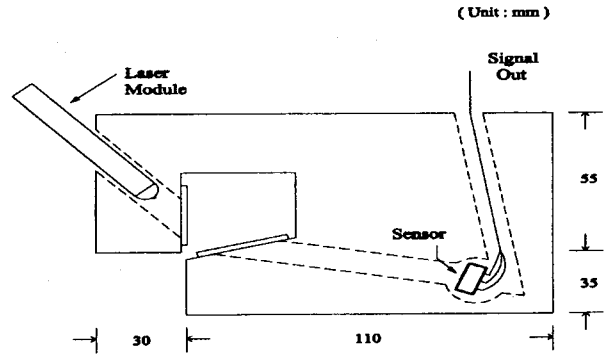


Fig. 3. Schematic diagram of a measuring cell block.

본 연구에서는 해수의 염도를 굴절률로부터 온라인으로 측정할 수 있는 장치를 개발하고 그 성능을 시험해 보고자 한다. 해수의 염도를 측정하기 쉽게 하기 위하여 측정장치를 해수에 침적할 수 있게 하였으며 온도에 상관없이 온도에 따른 굴절률의 변화를 보상할 수 있고 온라인으로 염도를 측정할 수 있도록 제작하였다. 이렇게 제작된 굴절계의 성능은 해수와 유사한 염농도를 가진 염용액을 사용하여 측정정도와 온도의존성을 조사하였다. 본 연구의 광학식 염도 측정장치는 염도 이외에 탁도와 미생물 농도 등을 동시에 측정할 수 있는 장치로의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

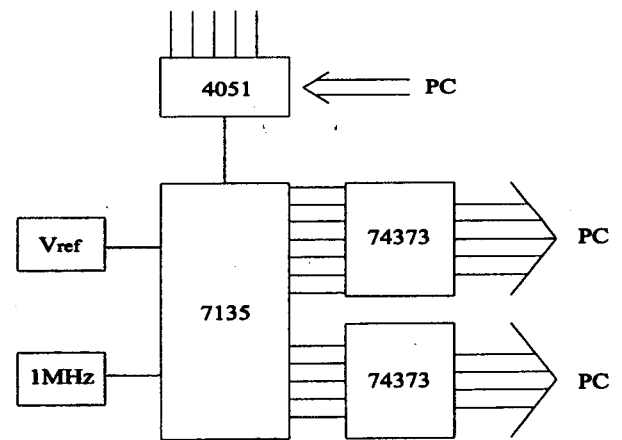


Fig. 4. Schematic of a high precision A/D converter.

2. 침적식 염도계의 구조 및 제작

굴절률을 측정하는 침적식 온라인 굴절계를 포함한 전체 실험장치를 Fig. 1에 나타내었다. 우선 굴절계는 레이저 발광부, 측정부, 광전 센서로 구성되어 있으며 실험사진은 Fig. 2에 있으며 자세한 구조적 배치와 치수는 Fig. 3에 표시되어 있다. 침적식으로 사용이 가능하도록 20mm 두께의 폴리프로필렌 판을 Fig. 3의 치수에 맞게 자르고 레이저 발광부와 광전센서가 액체에 젖지 않도록 폴리프로필렌 판의 가운데에 구멍을 뚫어 그림에서와 같이 다이오드 레이저 발광부와 광전센서를

배치하였다. 발광부와 센서의 구멍에 액체가 들어가지 않도록 측정부 쪽의 구멍 끝에 현미경용 슬라이드 유리를 막아 에폭시 수지로 접착하였다. 또 광전센서의 위치가 레이저 광에 정확하게 맞도록 조정하기 위하여 광전센서가 보이도록 광전센서의 측면으로 작은 구멍을 뚫고 구멍위에도 마찬가지로 슬라이드 유리를 잘라 에폭시 수지로 접착하였다. 측정셀은 레이저 광이 액을 통과할 수 있도록 액의 중앙에 충분히 담가 굴절률을 측정하였다.

센서(코닉스 계기공업(주), 모델 C100/09158)를 레이저광이 지나가는 경로를 방해하지 않도록 경로의 측면에 설치하여 실제 빛이 지나가는 액체의 온도를 측정할 수 있게 배치하였다. 저항 온도계는 온도조절시스템(오토닉스(주), 모델 TZ4W-R4R)에 연결하여 4-20 ma 표준신호에 의한 온도를 측정하고 100 Ω의 전기저항을 이용하여 전압신호로 바꾼 다음 Fig. 4의 A/D변환기를 거쳐 PC에 측정된 온도의 디지털 값을 온라인으로 입력하였다.

측정액체의 농도변화에 따라 레이저 광원의 굴절률이 변화하게 되고 따라서 시료의 농도변화에 따라 굴절된 광원은 수광부의 광전센서 (Hamamatsu Photonics, Japan, 1차원 PSD Model S3932)의 수광위치에 따라 각기 다른 전압신호를 발생하게 되며 Fig. 5의 증폭회로(Hamamatsu Photonics, Japan, Model C3683-01)를 통하여 증폭된 전압신호는 Fig. 4의 A/D 컨버터를 거쳐 PC로 보내지게 된다. 본 실험에서는 시중에서 구할 수 있는 측차추정식 A/D변환기를 사용하지 않고 Fig. 4의 적분형 A/D변환기를 자가제작 사용하였다. 제작된 A/D변환기는 변환속도가 느린 대신 측정신호의 잡음에 영향을 받지 않기 때문에 실험결과를 얻기에 매우 편리한 이점이 있고 변환의 해상도가 약 14 bit에 해당하므로 실험에서 0.0001 V의 측정정밀도를 얻을 수 있다. 또 1초에 4개의 샘플링이 가능하지만 이러한 측정속도는 본 실험에서 필요로 하는 속도보다 빠르기 때문에 문제가 되지 않는다. Fig. 4의 4051은 신호의 multiplexer IC이고 7135는 A/D 변환 IC이며 74373 데이터 latch IC이다.

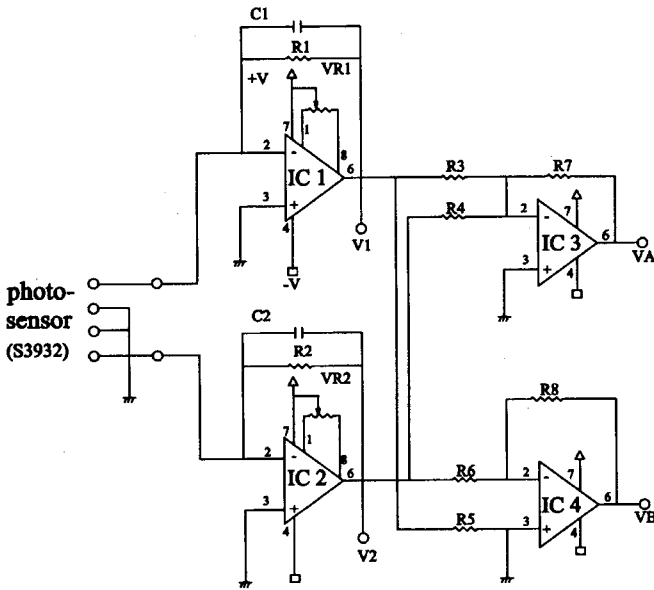


Fig. 5. Schematic diagram of an amplification circuit.

3. 실험

Fig. 1에 나타낸 침적식 온라인 굴절률 측정장치를 이용하여 굴절률을 측정하였다. 굴절률의 측정에 사용된 시료는 해수의 염농도를 고려하여 2.0%에서 4.0%, 범위 내에서 0.5% 단위로 증가시키면서 서로 농도가 다른 염용액의 전압을 측정하고 마지막으로 처음의 2.0% 시료에 대해 측정하여 측정의 재현성을 검증하였다. 동시에 온도를 온라인으로 측정하여 얻어진 굴절률의 온도보정이 가능하도록 하였다. 레이저 모듈에서 발생된 빛이 시료를 통과하면서 굴절된 레이저 광을 광전센서에서 수광하여 전압신호를 발생시키고 이를 A/D변환기를 거쳐 PC에 입력한다. 실험중의 측정신호는 온라인으로 입력되며 측정값과 시간을 동시에 메모리에 저장하여 차후의 실험자료 정리에 참고할 수 있게 한다.

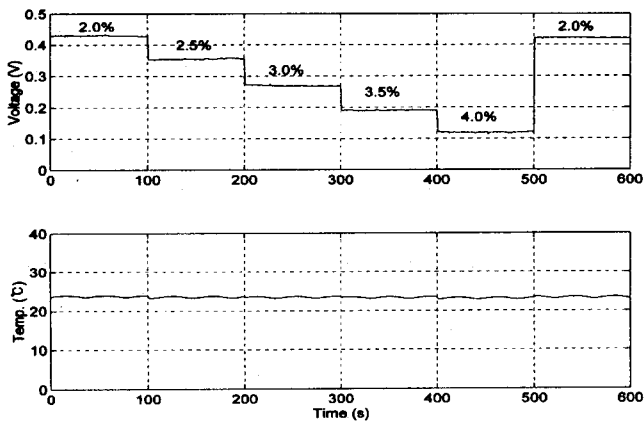


Fig. 6. Variation of measured voltage and temperature for salt solution having concentration between 2.0% and 4.0%.

4. 결과 및 고찰

레이저 발광부는 DC 3V 전원을 사용하는 다이오드 레이저 모듈로부터 발광되어 측정셀로 조사되게 된다. 여기서 레이저 모듈은 일반적인 레이저 포인터를 이용하였다.

측정셀에는 시료의 온도를 측정할 수 있는 세라믹 온도센서(직경 0.9 mm, 길이 15 mm)의 마이크로형 백금저항 온도

기지농도의 염용액에 대해 침적식 굴절계로 측정된 전압과 온도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 농도의 변화를 염의 농도가 2.0%에서 0.5%씩 증가하면서 1초 간격으로 100회씩 측정된 전압이 그림의 상단에 나타나 있다. 처음과 마지막의 동일농도에서의 측정치로부터 재현성과 0.5%의 농도변화에 따

른 전압변화를 감안할 때 약 0.1 %의 농도변화를 감지할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 해수의 염도를 천분률로 측정함을 고려할 때 충분한 정도의 염도측정이 가능함을 보여주고 있다. 또 최초의 농도로 변화시켰을 때 처음의 전압과 거의 유사한 전압이 측정되었음은 굴절계의 재현성이 양호함을 보여주는 것이다. 그림의 하단에는 동시에 측정된 온도를 나타내었다. 여기서는 농도에 의한 굴절률의 변화를 따로 관찰하기 위하여 온도는 거의 일정하게 유지하였다.

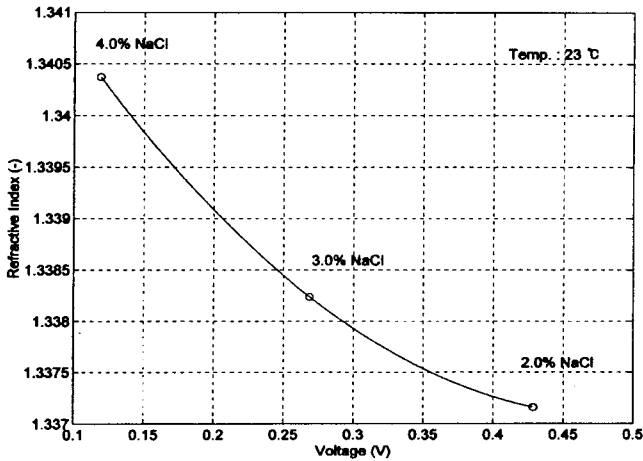


Fig. 7. Relation of measured voltage and refractive index of three different concentrations of solution at the temperature of 23°C.

본 실험의 굴절계는 굴절률 대신 전압을 측정함으로써 측정된 전압을 굴절률로 환산할 필요가 있어 정밀굴절계 (Kyoto Electronics Manufacturing Co., Japan; Model RA-510)로 측정된 굴절률과 본 실험에서의 측정전압을 Fig. 7에 도시하였다. 전압과 실제의 굴절률은 완전한 직선관계를 보이지는 않지만 전압으로부터 굴절률을 환산해내는 것은 어렵지 않다. 정밀굴절계가 23 °C에서 측정치를 표시하기 때문에 그 온도에서의 측정치를 비교한 것이다.

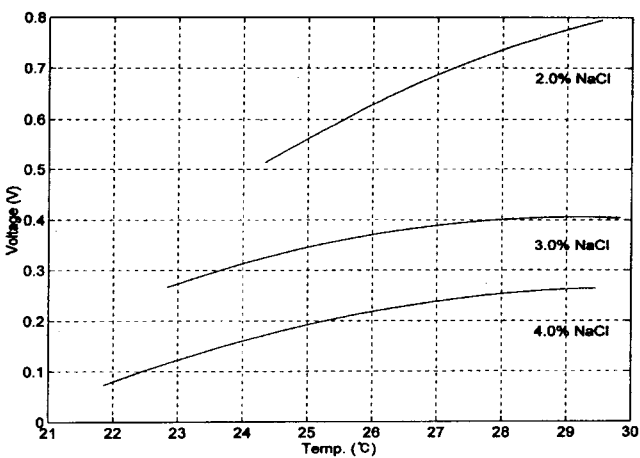


Fig. 8. Dependence of measured voltage on temperature variation.

온도의 변화에 따른 굴절률의 변화를 보기 위하여 2 %, 3 %, 4 %의 염용액을 사용하여 온도를 연속적으로 변화시키면서 온도와 전압을 동시에 측정하여 Fig. 8에 나타내었다. 측정은 1초 간격으로 하였으며 온도변화 속도는 분당 약 0.15 °C였다.

Fig. 6의 결과와 Fig. 8의 결과를 이용하여 자가제작 굴절률계에서 측정된 전압과 온도를 이용하여 시료의 농도를 계산하는 식을 다음의 다변수 2차식으로 만들었다.

$$C = -16.64 - 10.35V + 6.381V^2 + 1.564T - 0.0269T^2 \quad (1)$$

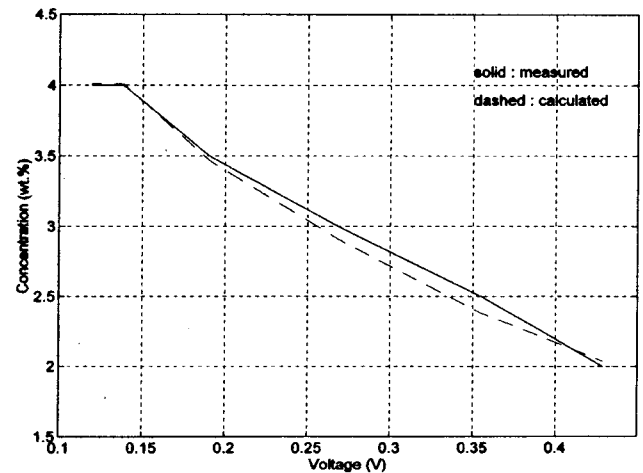


Fig. 9. Comparison of calculated concentration for known concentration of salt.

여기서 C는 % 단위의 농도이고 V는 볼트 단위의 전압이며 T는 °C 단위의 온도를 나타낸다. 식 (1)로부터 시료의 전압과 온도를 측정하여 농도계산이 가능하다. 실제 농도를 알고 있는 시료에 대해 전압과 온도를 측정하여 식 (1)로 농도를 계산하여 그 차이를 Fig. 9에 표시하였다. 21.9 °C에서 29.9 °C 범위의 온도변화에서 얻어진 측정치와 계산치의 비교이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 식으로 계산한 값이 실제 농도에 근사함을 보이고 있다. 온도의 보상은 식 (1)에 나타나 있는 것처럼 염도의 계산 시 온도의 항이 포함되어 있어 측정된 온도만큼 염도계산에 보정이 되게 되어있다.

여기서 측정된 시료의 농도범위가 2.0% - 4.0% 이기 때문에 전 범위의 농도측정은 불가능하나 해수의 염도측정 목적의 농도측정은 대부분 이러한 범위 내의 농도변화를 측정하는 경우가 대부분이므로 농도측정 범위가 좁은 것은 큰 문제가 되지 않는다. 아울러 시료의 농도범위에 상관없이 굴절률의 변화가 있는 영역에서는 모두 적용이 가능하다. 또 본 실험의 자가제작 굴절계는 염가의 재료를 사용하여 제작하였기 때문에 경제성이 우수하며 측정의 정도는 염도의 측정용으로 사용하기에 만족할 만하다.

온도 이외에 굴절률 측정에 영향을 미치는 인자로는 측정

부의 유체유속이나 흐름상태가 영향을 줄 수 있으나 측정신호에 잡음으로 포함되는 경우는 신호의 여과처리를 통하여 제거가 가능하고 유체의 탁도는 빛의 강도를 저하시키기는 하지만 본 장치의 측정센서가 빛의 입사 위치를 측정하기 때문에 굴절률의 측정에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

5. 결 론

해수의 염도와 온도의 측정이 용이하도록 설계된 칩적식 온라인 굴절계를 제작하여 실제 해수와 비슷한 염도를 가진 염용액에서 굴절률과 온도를 측정하여 그 성능을 시험하였다.

시료의 농도변화와 온도변화에 따른 굴절률의 변화정도를 전압으로 측정하여 농도를 계산해 냄으로서 제작된 굴절계가 보통의 염도 측정에 사용되는 0.1 %까지의 농도를 충분히 측정해 낼 수 있고 또 기존의 굴절계와는 다르게 온도의 측정과 온도변화에 따른 굴절률의 보상이 가능함을 제시하였다. 또 측정의 결과로부터 굴절계의 정도 뿐 만 아니라 재현성이 양호함을 입증하였다.

기존의 온라인 굴절계가 넓은 온도 범위에서 사용할 수 없음을 보완하여 본 연구의 칩적식 굴절계는 넓은 온도 범위의 해수의 염도를 현장에서 직접 온라인으로 측정할 수 있는 기능이 있고 측정시간이 매우 짧아 해수의 염도와 온도의 측정에 널리 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 한국과학재단지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

[1] 최한욱, 김영한 (2001), 온도보상형 온라인 굴절계를 이용한 해수의 염도측정, 한국항만학회지, 15권, pp. 99-105.

[2] Bodermann, B., Keppert, M. and Abou-Zeid, A. (2002), "Diode laser refractometer for flight measuring technique", *Tech. Messen*, vol. 69, no. 6, pp. 317-322 .

[3] Fang, H. and Juncar, P. (1999), "A new simple compact refractometer applied to measurements of air density fluctuations", *Review of Scientific Instruments*, vol. 70, no. 7, pp. 3160-3167.

[4] Hanning, A. and Roeraade, J. (1997), "A spectroscopic refractometer for temperature-independent refractive index detection", *Anal. Chem.*, vol. 69, no. 8, pp. 1496-1503.

[5] Lukosz, W., Stamm, C., Moser, H. R., Ryf, R. and Dubendorfer, J. (1997), "Difference interferometer with new phase-measurement method as integrated-optical refractometer, humidity sensor and biosensor", *Sensors and Actuators B*, vol. 39, pp. 316-323.

[6] Minato, H., Kakui, Y., Nishimoto, A. and Nanjo, M. (1989), "Remote refractive index difference meter for salinity sensor", *IEEE Trans. on Instr. and Meas.*, vol. 38, no. 2, pp. 608-612.

[7] Qi, Z. M., Matsuda, N., Santos, J. H., Takatsu, A. and Kato K. (2002), "Prism-coupled multimode waveguide refractometer", *Optics Lett.*, vol. 27, no. 9, pp. 689-691.

[8] Su, D.-C., Lee, J.-Y. and Chiu, M. H. (1998), "New type of liquid refractometer", *Opt. Eng.*, vol. 37, no. 10, pp. 2795-2797.

[9] Veldhuis, G. J., van der Veen, L. E. W. and Lambeck, P. V. (1999), "Integrated optical refractometer based on waveguide bend loss", *J. Lightwave Tech.*, vol. 17, no. 5, pp. 857.

원고접수일 : 2002년 10월 15일
원고채택일 : 2002년 12월 16일