한국항해항만학회지 제30권 제8호, pp. 721~727, 2006 (ISSN-1598-5725)
Journal of Korean Navigation and Port Research

해상 가두리 양식장 암모니아 모니터링 시스템에 관한 연구

오 진 석*

*한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수

A Study on the Monitoring System for Ocean Fish Farm

*Jin-Seok, Oh**

**Division of Mechatronics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

요 약 : 해상 가두리 양식장은 수중 내 암모니아성 질소 배설물을 제거 할 수 있는 것이 불가능하다. 암모니아성 질소를 효과적으로 제거하지 못하여 대량 폐사를 하거나 섭이 활동을 저하 시키는 원인이 된다. 또한 공급된 사료를 어류들의 섭이 활동 저하로 낭비 되는 것이 현실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 해상 가두리 양식장의 환경 요인 중에 암모니아를 원격에서 자동으로 측정하고 감시 할 수 있는 장치를 구성 하고자 한다.

핵심용어 : 암모니아, 해상 가두리 양식장, 암모니아성 질소, 모니터링 시스템, 이온 전극

Abstract : *Ammoniac nitrogen excretion is not able to be removed in ocean fish farm. It is the reason for fish being dead in large quantities or declining feeding activity that ammoniac nitrogen is not removed efficiently in ocean fish farm. Because of declining with feeding activity, it is true that feed is wasted for the present. To solve this problem, NH3, one of environment factors in ocean fish farm, monitoring system is suggested to be formed in this paper.*

Key words : *NH_3, Ocean fish farm, Ammoniac nitrogen, Monitoring system, Ion electrode*

1. 서 론

우리나라 어류 양식 산업의 경우 1990년 후반부터 강이나 호수에 설치 운영되고 있는 담수어 가두리양식이 법적인 규제를 받아 대부분 철거되고 있으며, 그 이후 현재까지 양식 생산되고 있는 어류의 대부분은 해산어류이다. 이들의 대부분은 해상 가두리양식장 혹은 육상 수조식 탱크양식장에서 생산되고 있으며 해산어류의 60%~70% 이상이 해상 가두리 양식장에서 양식 생산되고 있다. 육상 수조식 탱크양식장의 경우는 어류에 공급된 사료의 찌꺼기, 소비되지 않은 사료 및 어류의 신진대사작용에 의하여 배설물에 의해 수중 내 암모니아성 질소가 발생한다. 이를 제거하기 위해 인위적인 시설물(침전조나 생물학적 여과조 등)을 설치하여 비교적 효과적으로 암모니아를 제거하고 있다. 그러나 해상 가두리양식장의 경우 수중 내 암모니아성 질소 배설물을 제거할 수 있는 인위적인 시설물의 설치가 거의 불가능하다. 양식장내 수중 암모니아성 질소를 효과적으로 제거하지 못하면 사육중인 어류는 그 독성 때문에 대량폐사를 하거나, 섭이활동(Feeding activity)이 저하되어

성장이 지연된다. 이로 인해 어류의 생산성이 감소되고, 어류에 의해 섭취되지 않은 사료 양의 증가(섭이활동으로 인해)로 인하여, 어류성장이 둔화되고, 생산단가를 상승시키므로 경쟁력을 상실시키는 등의 악영향을 미친다. 수중내의 암모니아성 질소는 해안 연안의 부영양화나 적조를 일으키는 주요 영양염이 되고 있기 때문에 해상 가두리양식장의 수중 내 여러 가지 영양 염 중에서 특히, 암모니아를 모니터링 하는 것은 대단히 중요하다. 이는 수중 내 암모니아의 함량에 따라 어류 성장에 적합한 사료의 양을 적절하게 조절할 수 있어야 하고, 연안 양식장에 사육중인 어류의 대량폐사를 야기할 수 있는 적조방지를 위하여 반드시 연구되어야 하는 분야이다.(Allegrini et al., 1984; Ameur et al., 2001)

현재 국내의 경우 수중 내 암모니아 측정을 위하여 대부분 portable 암모니아 측정기를 활용하며, 원하는 시간대에 측정을 하거나 또는 현장에서 물을 채취 후 실험실로 운반하여 비색법으로서 측정하고 있는 실정이다. 그러나 연안의 부영양화, 적조의 출현 또는 수중내의 암모니아에 의한 급성독성 출현을 대비하기 위해서는 연속적인 모니터링이 필요하기 때문에 위와 같은 방법은 문제점을 야기한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 미국 등의 선진국 중심으로 '수심 20 m 이상의 외해 심층 가두리양식장 내의 환경요

* 대표저자 : 오진석(종신회원), ojs@hhu.ac.kr 051)410-4283

인 및 상황을 자동 감시할 수 있는 원격 자동 환경모니터링 시스템'에 관한 연구를 체계적으로 수행하고 있다. 본 연구에서도 선진국 수준의 다목적 해양환경 및 생태계 자동 모니터링 시스템에 필요한 기반연구를 수행하고자 한다.(Allegrini et al., 1996; Xin et al., 2002)

2. 시스템 구성

수중 내 영양염 중의 하나인 암모니아 농도를 실시간으로 자동 측정하여 모니터링 할 수 있는 암모니아 자동계측시스템을 확보하기 위해서는 다음 세 가지가 필요하다.

첫째, 가두리 양식장의 환경 특성 및 사육 특성 분석

둘째, 분석결과를 활용한 암모니아 자동계측시스템용 알고리즘 및 계측 프로그램을 구축

셋째, 가두리 양식장 특성에 적합한 자동계측시스템이 되도록 하드웨어시스템 설계

수중 내 암모니아를 측정하기 위하여 이온 전극을 이용한 암모니아 측정 모듈을 개발하고, 측정된 신호를 마이크로프로세서로 처리하기 위한 신호 보정 및 변환 회로를 운용특성에 적합하게 제작한다. 측정된 데이터는 데이터 수집 장치와 무선 통신 모뎀을 거쳐 호스트 컴퓨터로 전송되며 호스트 컴퓨터의 화면을 이용한 모니터링 시스템을 구축하고자 한다.

2.1 측정 방법

수중 내 암모니아 농도를 측정하는 방법은 일반적으로 흡광광도법(인도페놀법), 중화적정법, 이온 전극법 등이 주로 사용되고 있다. 본 연구에서 활용하고자 하는 이온 전극 법은 시료중의 분석대상 이온이 농도(이온활량)에 감응하여 비교전극과 이온 전극 간에 나타나는 전위차를 이용하여 목적이온의 농도를 정량하는 방법이다. 시료 중 음이온(Cl^-, NO_2^-, NO_3^-, CN^-, F^-) 및 양이온(NH_4^+, 중금속 이온 등)의 분석에 주로 이용되는 방법으로 암모니아의 경우 시료에 수산화나트륨을 넣어 pH 11~13으로 하여 암모늄이온을 암모니아로 변화시킨 다음 암모니아 이온전극을 이용하여 암모니아성 질소를 정량하는 방법이다.(Hitchcock, 1984)

해상 가두리 양식장에서의 암모니아의 자동 측정을 위해서는 측정방법이 가능한 간결하면서도 정확해야 한다. 흡광광도법과 중화적정법은 화학반응을 일으켜 관찰·측정하는 것으로 이를 자동화하기에는 많은 어려움이 있다. 반면 이온 전극법은 시료의 성분에 따른 전위차를 이용하여 측정하므로 계측장치의 자동화에 비교적 어려움이 적다. 그러므로 본 논문에서는 이온 전극법을 이용한 암모니아 자동 측정 장치에 대하여 연구하고자 한다.

이온 전극을 사용하여 암모니아를 측정할 때에는 시료와 Standard 용액, ISA 용액 등의 온도차가 ±1℃이내이어야 하며, 시료를 교반하여야 하고, 교반작용으로 인한 온도상승이 없어야 하며, 교반 속도는 일정하게 유지되어야 한다. 이온 전극의 기본적인 특성을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Characteristics of ammonia electrode

항 목	특 성
농도 범위	5×10^{-7} ~ 1 M NH_3 (0.01 ~ 17000 ppm NH_3) (0.01 ~ 14000 ppm N)
pH 범위	11 이상
온도 범위	0 ~ 50℃
내부 몸체 저항	1000MΩ 이하
재현성	±2%
크기	길이 - 110㎜, 지름 - 12㎜
저장 방법	전극을 0.1M NH_4Cl 용액에 저장

2.2 검출 알고리즘

수중 내의 암모니아 농도가 일정하더라도 주위의 환경에 따라 이온 전극의 측정값은 변화하게 된다. 따라서 이온 전극을 사용하여 암모니아를 검출하려면 우선 '암모니아 보정 곡선'을 얻어야 한다. Fig. 1에 보정 알고리즘과 검출 알고리즘을 정리하여 나타내었다.

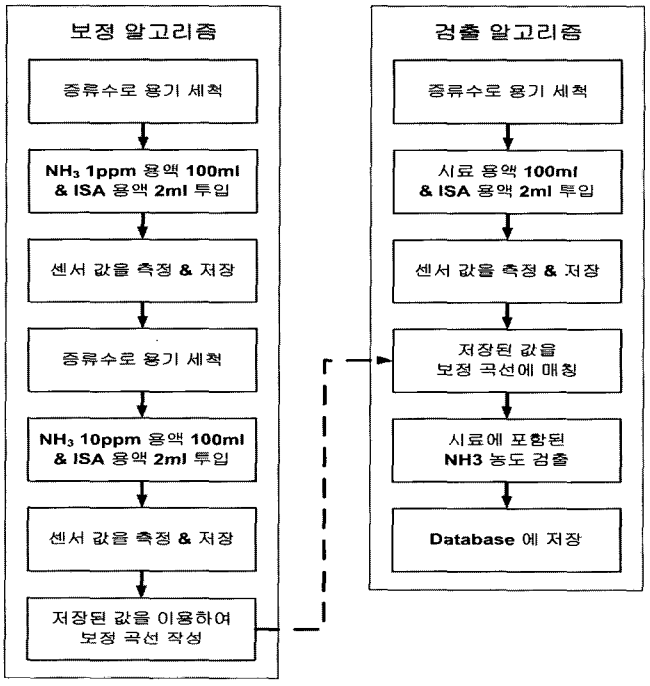

Fig. 1 The Flowchart for calibration algorithms and Measurement algorithms

보정곡선은 측정 시와 동일한 환경에서, 서로 10배의 농도 차이를 가지는 2개의 Standard 용액을 이용하여 얻을 수 있다. 이온 전극이 정상 동작할 때, 농도가 10배 차이나는 두 용액에서 측정한 전위차의 기울기 값은 55㎷~60㎷/decade의 값을 가진다. 그러므로 각 Standard 용액의 일정량을 이온 전

극에 접촉 시켜 전위를 측정한 후 기울기를 계산하여 정상값의 95~100% 범위내의 값이 얻어지면 정상이라 판단하고 일차 함수 형식의 보정 곡선을 작성한다.

이후 이온 전극을 이용하여 시료를 측정하여 얻어진 전위값을 보정곡선에 대입하면 수중내의 암모니아 농도를 검출할 수 있다. 보정곡선은 매 측정 시 또는 일정 시간마다 새로 작성되어 이온 전극 주위의 환경 변화에 따라 발생할 수 있는 측정 오차를 줄일 수 있다. 보정 및 검출 알고리즘을 이용하여 얻은 측정값들은 실제 농도를 계산한 후 마이크로프로세서에 측정 시각과 함께 저장하여 데이터베이스화 한다.

2.3 하드웨어

이온 전극을 사용하여 암모니아 용액의 농도를 측정하기 위해서는 전극 보정, 세척, 보관 등에 관련된 일련의 과정들이 반드시 필요하다. 기존의 portable 암모니아 계측 장비는 매번 측정할 때 마다 사용자가 일일이 보정을 해주어야 하며, 고가의 자동화된 장비를 사용하는 경우에는 현장에서 직접 측정할 수 없고 시료를 채취하여 실험실 등으로 이동하여야만 측정이 가능하였다. 이온 전극을 이용하여 해상 가두리 양식장의 암모니아 모니터링 시스템 구축을 위해서는 이온 전극을 자동적으로 관리할 수 있는 장치 개발이 필수적이다. 이를 위하여 다수의 정량펌프와 솔레노이드 밸브, 스테핑 모터, DC 기어 모터 등을 이용하여 세척 보관 등의 기본적인 관리 기능을 수행할 수 있는 자동화 장치를 개발하였다. Fig. 2에 설계된 이온 전극 관리 구성도를 도시한다.

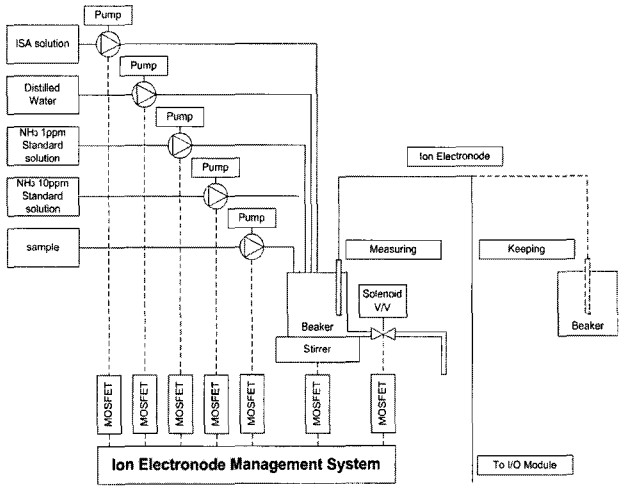

Fig. 2 Schematic diagram of electrode management system

각각의 정량펌프는 ISA 용액, 증류수, 두 가지의 Standard 용액, 시료를 각각 시료 통으로 일정량을 이송하는 역할을 하며 교반기는 용액을 일정한 속도로 섞어주는 기능을 하고 솔레노이드 밸브는 시료 통에 용액을 유지시키거나 배출시키는 역할을 한다. 이온 전극은 측정 시에 시료 통으로 옮겨져 암모니아 농도를 측정하고 측정하지 않을 때에는 시약 통으로 옮겨져 보관하게 된다. 각각의 부분은 전기적 노이즈 및 동작의 정확성, 수명 등을 고려하여 무접점 소자를 이용하였으며 ON/OFF 혹은 PWM 기법을 적용하여 최적의 동작을 하도록 하였다.

1) I/O 모듈

암모니아의 농도에 따라 변화하는 이온 전극의 전위차는 ± 수~수십㎷ 값을 나타낸다. I/O 모듈을 통해서 0~5V 레벨로 변환된 신호는 마이크로프로세서의 A/D 컨버터 부분으로 입력되어 보다 높은 분해능을 가질 수 있도록 해준다.

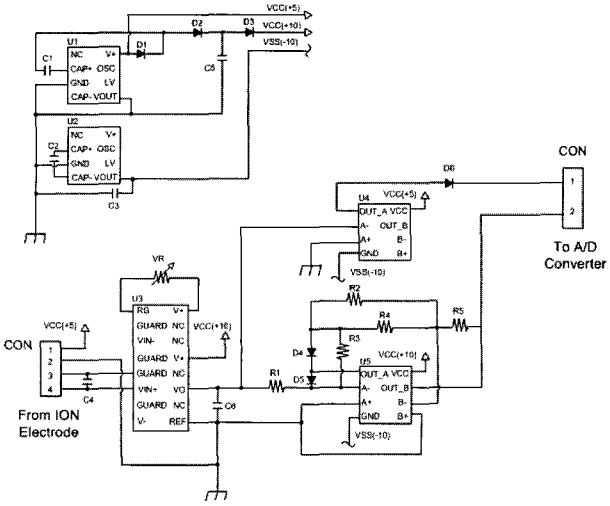

Fig. 3 Schematic diagram of I/O module

또한 I/O 모듈에서는 이온 전극으로부터 섞여오는 Noise 성분을 줄여 보다 안정된 출력 신호를 낼 수 있도록 도와주는 역할을 한다. I/O 모듈 제작을 위해 pH 측정이나 누설 전류 측정 등 아주 적은 입력 바이어스 전류를 필요로 하는 시스템에 적용되는 OP-Amp 소자를 사용하고 Voltage Doubler 소자를 이용하여 양전원을 공급하여 측정 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 또한 암모니아 이온 전극을 최대 16 채널 까지 확장이 가능하도록 설계하여 언제든지 암모니아 이온 전극을 추가하여 측정할 수 있도록 구성하였다. Fig. 3은 I/O 모듈의 회로도이다.

2) DAU 모듈

DAU 모듈에서는 기본 기능인 암모니아 농도 데이터 수집 기능 이외에 이온 전극을 통해 측정된 전압값을 실제 암모니아 농도로 변환하는 A/D 컨버터를 비롯하여 이온 전극 관리 장치를 제어하는 기능, 통신 모듈에 데이터를 전송하기 위한 신호변환 기능들이 포함되어 있다. 이러한 다양한 기능들을 수행하기 위해서 마이크로프로세서를 이용하여 하드웨어를 구성하고 C언어를 이용하여 구동 소프트웨어를 구성하였다. DAU모듈의 마이크로프로세서는 Microchips사의 PIC16F877A를 사용하였으며, Fig. 4에 DAU 모듈의 하드웨어 구성도를 도시하였다.

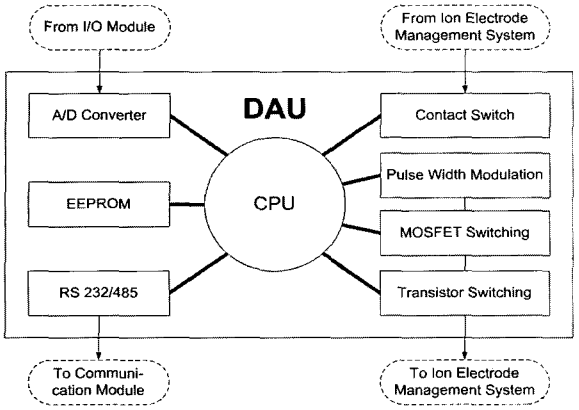

Fig. 4 Structure of Date Acquisition Unit

암모니아 이온 전극에서 측정된 신호는 I/O 모듈을 거쳐 A/D 컨버터로 입력되어 변환된다. 변환된 암모니아 농도 값은 마이크로프로세서 내부의 EEPROM에서 통신모듈을 통해 호스트 PC로 전송할 때까지 보관된다. 마이크로프로세서 내부의 EEPROM은 시스템의 전원이 끊어지더라도 지워지지 않으므로 데이터 보존이 확실하며, 십만 번 이상의 쓰기/지우기 동작이 가능하므로 거의 반영구적인 수명을 가진다.

암모니아 농도의 데이터 수집 횟수는 1일 최대 24회까지 설정이 가능하지만 기본 값으로 12시간에 한번 데이터를 측정하여 보관하는 것으로 설정하였다.

이온 전극을 통해 수집되어 EEPROM에 저장된 데이터는 RS232/485 통신 프로토콜을 사용하여 통신 모듈로 전달된다. 육상의 호스트 PC와 통신하기 위해서는 무선 통신을 이용하는 것이 좋으며, 무선 통신을 담당하는 통신 모듈과의 데이터 교환을 위해서 RS232/485 규격을 사용하였다.(Rikard, 2002)

2.4 프로그램

해상 가두리 양식장에서 측정된 암모니아 농도를 육상의 호스트 PC에서 모니터링 하기 위해서 윈도우 기반의 모니터링 프로그램을 제작하였다. National Instrument 사의 LabVIEW 7.1을 사용하여 검출 프로그램을 구성하였다. Fig. 5는 구성된 프로그램의 화면이다.

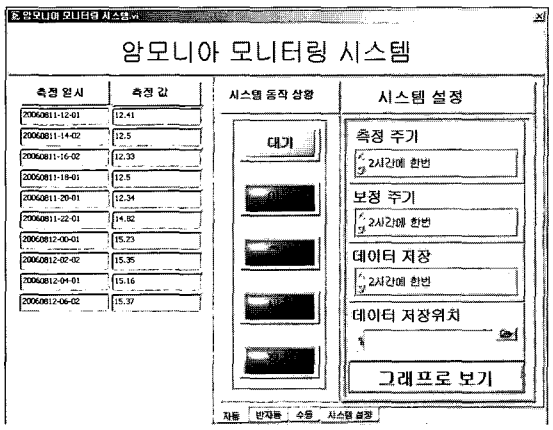

Fig. 5 Window of ammonia monitoring system

Fig. 5는 암모니아 모니터링 시스템이 자동 상태로 되어 있을 때를 나타낸 것으로, 암모니아 농도의 측정 시각 및 측정 값을 실시간 표시 및 DB화 기능, 제어기 운전 상태 표시 기능 및 설정사항 변경 기능 등을 포함하고 있다.

3. 실험 및 고찰

3.1 이온전극 관리 모듈

상하 이동용 샤프트와 지지대, 가이드를 이용하여 이온 전극을 이동시키기 위해서는 스테핑 모터를 이용하여 정밀한 위치 제어가 가능하도록 하였다. 샤프트의 상부와 하부에 부착한 접점 스위치의 신호에 따라 지지대가 샤프트를 이탈하지 않고, 정해진 이동 루트를 따라 움직이도록 하였다. Fig. 6은 스테핑 모터를 정방향 혹은 역방향으로 구동할 때 DAU 모듈의 트랜지스터 스위칭 부분에 인가된 전압을 측정한 파형이다.

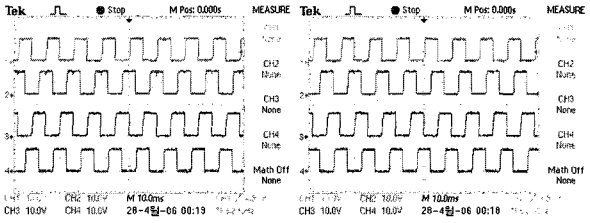

Fig. 6 Waveform of stepping motor
(left-counterclockwise, right-clockwise rotation)

스테핑 모터의 움직임을 부드럽게 하고 강한 토크를 주기 위해 2상 구동방식으로 작동하였다. 각 채널에서 우회전과 좌회전에 따라 파형의 위상차가 반전됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 이온 전극을 이동시키는 지지대가 위치에 따라서 다르게 움직이는 것을 나타낸 것이다. 파형 A는 지지대가 최상부에 다다랐을 때, 파형 B는 최상부에서 아래쪽으로 내려올 때, 파형 C는 최하부에 다다랐을 때, 파형 D는 최하부에서 위쪽으로 올라갈 때의 파형을 나타낸 것이다.

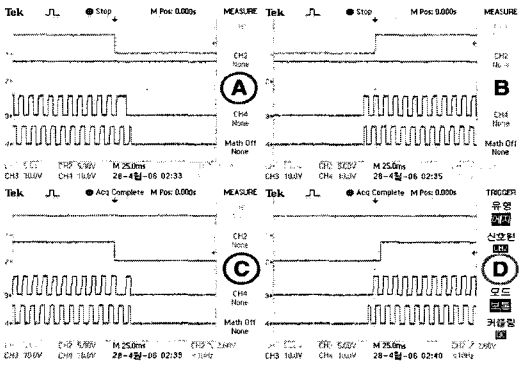

Fig. 7 Switch point and stepping motor waveform
ch1: High switch point,
ch2: Low switch point,
ch3,4: Stepping motor

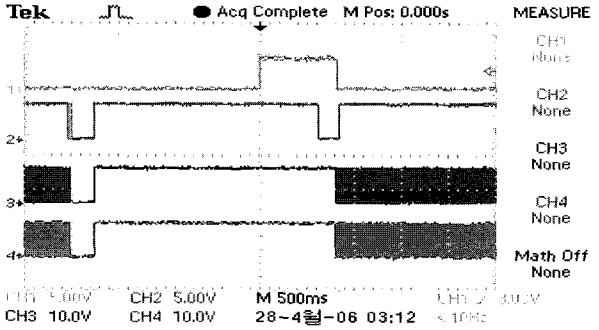

Fig. 8 Waveform of DC motor, Switch point and stepping motor
ch1 : DC motor
ch2 : High switch point
ch3.4 : stepping motor

Fig. 8은 이온 전극을 고정하는 지지대가 보관용기에서 측정용기로 이동할 때의 동작 파형을 나타낸 것이다. 지지대가 이동하여 나사 상부의 접점 스위치가 동작하면 스테핑 모터가 멈추고 지지대를 고정하는 DC 기어모터가 동작한 뒤, 다시 스테핑 모터의 회전 방향이 바뀌어 지지대가 측정 용기로 정확히 투입되도록 하는 동작이다. 이렇게 DC모터로 조정 하는 것은 측정 용기에 정확하게 투입하도록 하기 위해서 이다.

3.2 이송용 정량 펌프

보관된 용액을 측정용기로 이송하기 위한 정량 펌프는 MOSFET 소자를 이용하여 구동하며, 정확한 양을 투입하기 위해서 일정 시간 동안 동작하게 되어있다. Fig. 9는 정량 펌프가 ISA 용액을 측정용기에 2㎖ 투입하는 동작을 나타낸 파형이다.

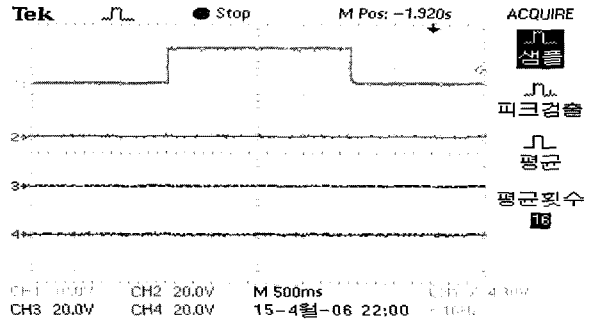

Fig. 9 Waveform of fixed quantity pump
ch1 : ISA solution
ch2 : Distilled water
ch3 : NH_3 1ppm solution
ch4 : NH_3 10ppm solution

1분에 60㎖를 이송하는 정량 펌프를 사용하여 2초 작동 시 2㎖를 이동하도록 하였다. 그림에서 보듯이 2초 동안 모터가 구동 되는 것을 알 수 있다.

3.3 I/O 모듈

이온 전극으로부터 발생되는 수~수십㎷의 전위차 값을 입력받아 안정된 0~5V 신호 레벨로 변환하여 DAU모듈로 전달하는 역할을 한다. Fig. 10은 10ppm NH_3 Standard 용액에 이온 전극을 넣었을 때 나타나는 파형이다. I/O모듈에서는 센서 신호를 필터링과 증폭한 후 절대 값 회로와 비교 회로를 통하여 전위를 변화시킨다.

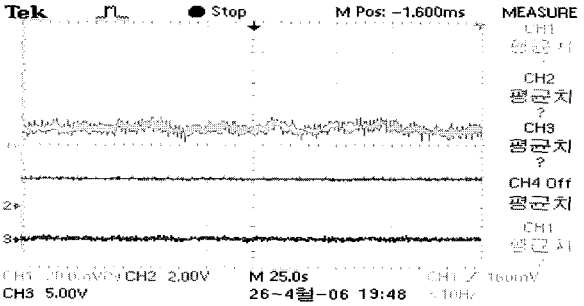

Fig. 10 Waveform of I/O module
(ch1 : Sensor signal, ch2,3: I/O module output)

3.4 통신 모듈

암모니아 농도 측정 데이터를 처리하는 DAU 모듈과 통신 모듈, 혹은 호스트 PC 와 통신 모듈간의 데이터 교환이 정확히 수행되어야 한다. Fig. 11은 통신 모듈이 DAU에서 받은 데이터를 호스트 PC로 전송하는 과정에 나타나는 파형이다. Fig. 11에서 ch1번은 DAU에서 통신 모듈로 출력하는 파형이고, ch2는 통신 모듈에서 다시 PC로 전송하는 파형이다. 통신 모듈은 DAU에서 통신으로 받은 값을 저장 하였다가 DAU와 통신이 끝나면 PC로 그 데이터를 모두 전송하는 방식을 취하고 있다.

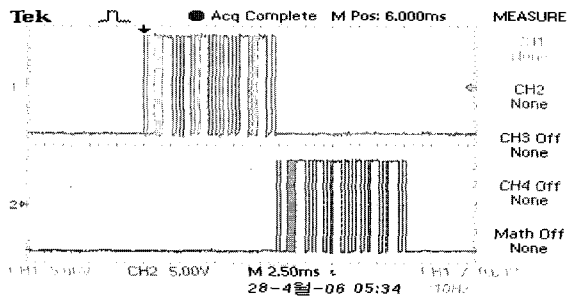

Fig. 11 Waveform of RS-232C modem output

3.5 암모니아의 측정결과

완성된 암모니아 모니터링 시스템의 재현성을 검증하기 위해서 4, 6, 8 ppm 암모니아 용액을 각각 측정하여 Table 2에 그 결과값을 정리하였다. 각각의 전위값은 디지털 멀티미터를 이용하여 실측한 결과이고, 보정 곡선의 기울기 및 측정 농도 값등은 모니터링 프로그램에서 생성된 데이터베이스에서 추출한 것이다. 1차 및 2차 측정값은 I/O 모듈의 출력

전압과 보정곡선에서 추출한 값 모두를 나타내었다. 측정된 값은 ±3% 오차범위내에 있어, 시스템의 재현성이 우수함을 알 수 있었다.

Table 2 Ammonia measuring results

구 분	4 ppm NH_4^+	6 ppm NH_4^+	8 ppm NH_4^+
보정곡선의 기울기(1차)	58.41 ㎷ /decade	59.28 ㎷ /decade	59.32 ㎷ /decade
1 ppm NH_4^+	57.13 ㎷	58.04 ㎷	58.03 ㎷
10 ppm NH_4^+	-1.28 ㎷	-1.24 ㎷	-1.29 ㎷
측정값(1차)	2218 ㎷ 3.89 ppm	1201 ㎷ 5.98 ppm	472 ㎷ 7.92 ppm
보정곡선의 기울기(2차)	58.78 ㎷ /decade	59.64 ㎷ /decade	58.94 ㎷ /decade
1 ppm NH_4^+	57.41 ㎷	58.42 ㎷	59.88 ㎷
10 ppm NH_4^+	-1.37 ㎷	-1.22 ㎷	-1.26 ㎷
측정값(2차)	2286 ㎷ 3.87 ppm	1208 ㎷ 5.98 ppm	688 ㎷ ppm
측정값(평균)	3.88 ppm	5.98 ppm	7.93 ppm

또한 본 시스템의 구성 목적인 암모니아의 연속적인 모니터링을 위하여 2시간 간격으로 보정 및 측정 알고리즘을 수행하고 측정한 결과를 Table 3과 Fig. 12에 나타내었다. 측정 중 인위적으로 시료의 암모니아 농도를 높여보았으며, 이에 따라 변화하는 모습이 눈에 띄게 나타남을 알 수 있었다.

Table 3 Continuous Ammonia measuring results

횟수	시간	측정값
1	12:01	12.41
2	14:02	12.5
3	16:02	12.33
4	18:01	12.5
5	20:01	12.34
6	22:01	14.82
7	00:01	15.23
8	02:02	15.35
9	04:01	15.16
10	06:02	15.37

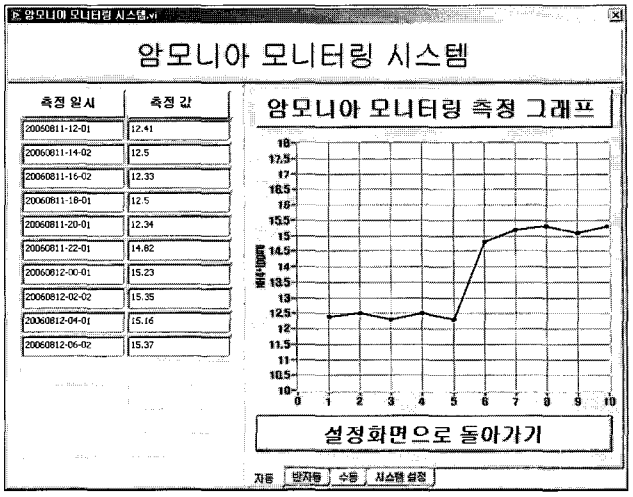

Fig. 12 Picture of Continuous Ammonia monitoring

4. 결 론

본 연구를 통하여 설계 및 제작된 해상 가두리 양식장 암모니아 자동 계측 모니터링 시스템은 많은 실험을 통하여 기존의 portable 계측장비나 고가의 실험실 장비에 뒤지지 않는 성능을 가지고 있음이 확인되었다. 또한 기존의 장비들이 보유하고 있지 않은 원격 모니터링 시스템과 암모니아 자동 계측 시스템은 다양한 해상 환경에 적응성이 높은 새로운 개념의 측정 장비 분야 기술 개발에도 많은 영향을 미칠 수 있을 것이라 생각된다. 본 연구를 통하여 전극관리 자동화 알고리즘 및 정밀 계측용 아날로그 신호 변환 모듈의 기반기술을 확보하였다. 또한 해상 가두리 양식장에 적합한 제어시스템, 원격 감시용 통신프로토콜 및 LabVIEW 기반의 화면 모니터링에 관한 연구결과를 활용하여, 첨단 외해 가두리 양식장 감시 체계를 구축할 수 있는 기반을 확보하였다.

본 연구를 통하여 확보된 연구결과를 실제 양식장에 적용하여 실용화하기 위해서는 다양한 양식장 환경과 연계된 연구 및 실험이 향후에도 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] Allegrini I., De Santis F., Di Palo V. and Liberti A.(1984). "Measurement of particulate ammonia at a rural site by means of newly eveloped high performance diffusion tubes", J. Aerosol Sci. 15, 465-71.

[2] Ameur S., Laghrouche, M., Adane, A. (2001), "Monitoring a greenhouse using a micro controller-based meteorological data acquisition system.", Renewable Energy Vol(24), pp. 19-30.

[3] Bergheim, A. and Asgard, T. (1996), "Waste production from aquaculture. In: Aquaculture and Water Resource Management.", Baird, D.J., Beveridge, M.C.M.,

Kelly, L.A. and Muir, J.F. (eds). Blackwell Science, Oxford, pp. 50-80.

[4] Rikard Kjellberg (2002), "Capacity and Throughout using a Selforganized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveilance Applications", Royal Institute of Technology, Sweden.

[5] Hitchcock, C. (1984), "Structure and distribution of plant acyllipds. In Recent Advances in the Chemistry and Biochemistry of Plant lipids.(eds Gilliard, T. and Mercer, E. I.)", Academic Press, London, pp. 1-19.

[6] Xin, H., Tanaka, A., Wang, T., Gates, R. S., Wheeler, E. F., Casey, K. D., Heber, A. J., Ni, J. and Lim. T. (2002), "A portable system for continuous ammonia measurement in the field", Paper No. 024168. American Society of Engineers, St. Joseph, MI: ASAE.

원고접수일 : 2006년 8월 27일
원고채택일 : 2006년 10월 31일