

## 외해 가두리 양식장 데이터 분석 및 원격 감시 시스템 개발

오진석† · 광준호\* · 정성재\*\* · 함연재\*\*\* · 이지영\*\*\*\*

(원고접수일 : 2007년 8월 23일, 심사완료일 : 2007년 11월 16일)

### A Data Analysis and RMS Development for Fish-cage in Open Sea

Jin-Seok Oh† · Jun-Ho Kwak\* · Sung-Jae Jung\*\* · Yeon-Jae Ham\*\*\* · Ji-Young Lee\*\*\*\*

**Abstract** : Recently, the research and development of the fish cage in open sea from domestic is active and it is almost complement with commercial scale test on 'seogwipo'. But domestic technology is not sufficient of management RMS(Remote Monitoring System) with advanced country, so it is difficult to maintenance and monitor fish cage in open sea. This paper introduces a fish cage environmental monitoring system for measuring pH, DO and temperature. A signal is treated with DAU(Data Acquisition Unit) by a wireless communication method and transfers data to host computer for data processing. These data are graphically shown on the monitor with LabVIEW program and logged on the data processing system in the form of file.

**Key words** : Remote monitoring system(원격감시시스템), Fish-cage(양식장), 무선통신(Wireless communication), Open sea(외해)

### 1. 서 론

해상 가두리 양식장의 체계적인 감시 및 관리에 필요한 환경 인자를 검출하고, 이러한 환경 인자를 측정하기 위해 다중신호처리모듈 및 신호처리 모듈 등을 개발하고자 하였다. 또한 IT 기반의 신호처리 기술과 태양광 전력공급시스템을 연계하여 원격 감시 모니터링이 가능하도록 시스템을 구현하는데 초점을 두었다. 현재 국내의 경우 수중 내 암모니아 측정을 위하여 대부분 portable 암모니아 측정기

를 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<sup>[1]</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 미국 등의 선진국 중심으로 '수심 20 m 이상의 외해 심층 가두리 양식장 내의 환경요인 및 상황을 자동 감시할 수

† 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계 교수), E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4283

\* 수중운동체특화연구센터 SM42

\*\* 국립수산물품질관리원 수산공학팀

\*\*\* 동현씨스텍 대표이사

\*\*\*\* Cardiff university the manufacturing engineering

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 [2].

이를 위해 제주도 인근의 서귀포 해역에 설치된 외해가두리 양식장의 환경데이터를 활용하여 가두리 양식장용 원격감시 알고리즘을 구축하고, 구축된 알고리즘을 운용할 수 있는 환경데이터 수집장치를 개발하여 이를 통해 수집된 데이터를 실시간으로 무선통신시스템을 통하여 육상에서 감시할 수 있는 시스템을 구현하고자 한다. 감시용 데이터 처리는 다중 데이터 통신 및 무선통신기술 기반으로 구축하고, 양식장 환경 데이터 모니터링 화면은 LabVIEW 기반으로 구현하여 확장성 및 신뢰성을 갖도록 하였다.

## 2. 해상 가두리 양식장의 환경 데이터 분석

본 연구대상으로 삼고 있는 외해 가두리 양식장은 현재 국립수산물과학원에서 주도한 제주도에 설치되어 있는 외해 가두리 양식장의 환경 데이터를 분석하여 연구에 활용하고자 하였다. 연구조사는 양식장 환경에 영향을 많이 미치는 인자인 유속, 수온, 영양염류 및 각종 수산 생물의 적정 사육 수온 및 폐사 온도에 대하여 조사 분석 하였다 [3].

### 2.1 유속

외해가두리 양식장 인근해역의 유속 특성을 조사하기 위해 측류판 추적실험 및 연속조류관측을 실시하여 분석하였다. 외해가두리 해역의 해수유통특성을 간략히 요약해보면 최대유속의 범위는 표층에서 약 60~70 cm/s, 가두리 시설물이 설치되어 있는 수심 25m 부근은 약 50~60 cm/s 범위로 나타나며, 기상요인이나 해류의 영향에 의해 불규칙적으로 1m/s 전후의 강한 유속이 출현하는 것으로 관찰되었다. Fig. 1은 측류판 추적 실험을 수행한 결과를 나타낸다.

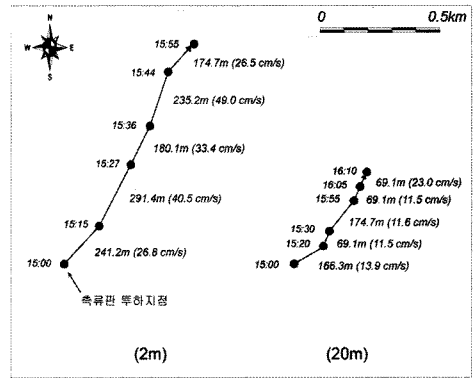


Fig. 1 Trace test results of Side flow board

### 2.2 수온 및 염분

수온조사는 가두리 양식장 설치 후 설치지점과 설치지점으로 부터 북쪽 지점 및 동쪽 지점을 중심으로 수행하였고, Fig. 2에 수온 및 염분 검출 결과를 도시하였다. 표층은 24 ℃, 저층에서는 16 ℃까지의 분포를 보여주었고 염분은 표층에서 31 ‰, 저층에서 34.5 ‰까지의 분포를 보여주었다. 또한, 수심 약 20m 부근에서 수온 약층이 생성되는 것을 알 수 있다.

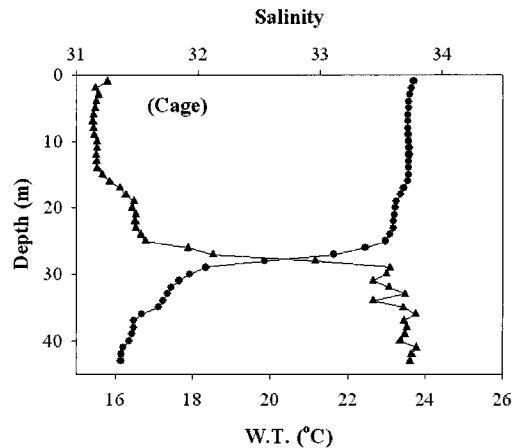


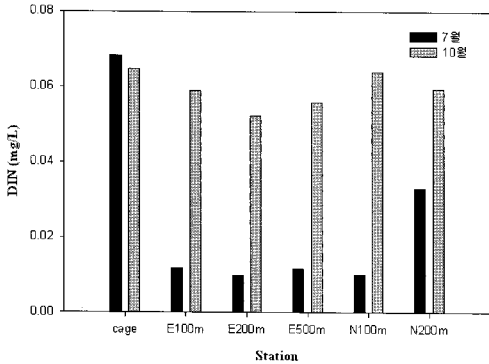
Fig. 2 Temperature and salinity distribution

### 2.3 영양염류

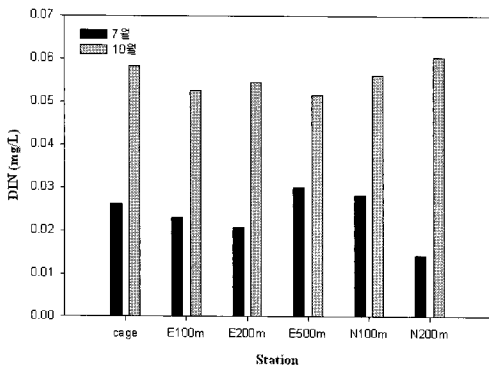
일반적으로 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen)는 암모니아성-질소(NH<sub>4</sub>-N), 아질산성-질소(NO<sub>2</sub>-N), 질산성-질소(NO<sub>3</sub>-N)의 합으로 산

출하며, 질산-질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 일반적으로 용존무기질소(DIN)중 가장 많은 부분을 차지하는 영양염류이다. DIN의 농도 분포는 가두리 양식장 설치 전, 7월 표층에서  $0.024 \pm 0.023 \text{ mg/L}$ 였고 저층에서  $0.047 \pm 0.018 \text{ mg/L}$ 로 저층에서 높은

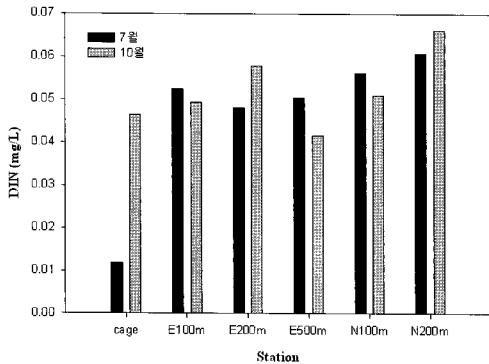
농도를 보여주었으며, 설치 후, 10월 표층에서  $0.059 \pm 0.005 \text{ mg/L}$ , 저층에서  $0.052 \pm 0.009 \text{ mg/L}$ 로 층간의 농도 차이를 보이지 않았다. 특히, 저층의 경우는 설치 전·후의 농도 차가 나지 않지만, 표층과 중층에서 설치 후의 농도가 높은 것으로 나타났다.



(a) DIN density in surface layer



(b) DIN density in middle layer



(c) DIN density in bottom layer

Fig. 3 Temperature distribution

2.4 각종 수산 생물의 적정 사육 수온 및 폐사 온도

해상 가두리 양식장에 사육될 각종 어종과 해당 어종의 최적 사육 수온, 그리고 폐사온도 등을 조사하여 다음의 표와 같이 정리하였다. 이러한 정보는 환경 데이터베이스 프로그램에 입력하여 사용자가 해당 어종을 선택할 경우 적정 수온에 대한 정보를 알려주고 폐사 온도에 근접할 경우 즉시 사용자에게 알려주는 경보시스템용 알고리즘 및 프로그램 설계에 활용한다.

Table 1 Death and breeding temperature for a marine organisms

Species of fish	breeding temperature	optimized breeding temperature	mortality temperature
sweet fish	15°C ~ 25°C	20°C ~ 25°C	
trout	12°C ~ 23°C	12°C ~ 18°C	under 8°C above 27°C
bass	10°C ~ 28°C	14°C ~ 22°C	
yellowtail	18°C ~ 27°C	22°C ~ 26°C	under 7°C above 31°C
tiger puffer	15°C ~ 25°C	20°C ~ 25°C	under 3~6°C above 28°C
flathead mullet	20°C ~ 27°C	22°C ~ 26°C	under 1.2°C above 29.8°C
flatfish	15°C ~ 26°C	21°C ~ 24°C	under 10°C above 27°C
black sea bream	15°C ~ 30°C	20°C ~ 28°C	above 30°C
red sea bream	13°C ~ 28°C	20°C ~ 28°C	under 7°C above 30°C
rock bream	10°C ~ 25°C	18°C ~ 26°C	under 5~7°C above 33°C

3. 감시시스템

3.1 측정 알고리즘

기존의 portable 측정 장비는 매번 측정할 때마다 사용자가 일일이 보정을 해주어야 하며, 고가

의 자동화된 장비를 사용하는 경우에는 현장에서 직접 측정할 수 없고 시료를 채취하여 실험실 등으로 이동하여야만 측정이 가능하였다. 본 연구에서는 해상 가두리 양식장의 환경 인자를 현장에서 자동으로 측정하기 위해 이온 전극을 사용하여 실시간으로 pH 및  $NH_4^+$ 를 측정하고, 이 때 사용된 이온 전극을 자동으로 세척, 보관하기 위한 별도의 이온 전극 관리 시스템을 설계 제작하였다. 이온 전극 관리 시스템은 다수의 정량펌프, 밸브, 모터 등의 구동부와 마이크로 컨트롤러 및 무접점 소자 및 각종 IC 들로 이루어진 제어부로 구성되어 PWM 기법 및 각종 제어 알고리즘을 통해 적절한 동작을 하도록 구현되었다<sup>[4]</sup>.

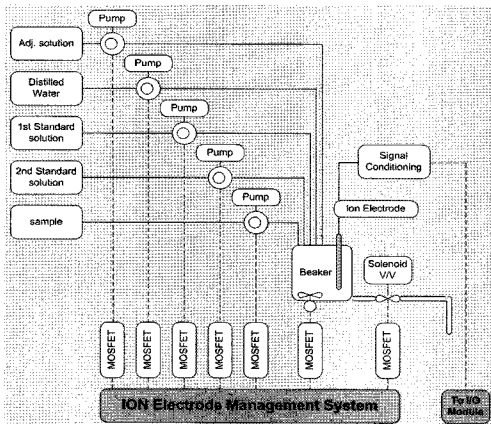


Fig. 4 Ion electrode management system

이온 전극을 사용하여 pH,  $NH_4^+$  등 각종 환경 요인을 측정하기 위해서는 각 이온 전극에 대한 보정곡선을 얻어야 한다. 보정곡선은 두 가지 혹은 세 가지의 Standard 용액에 이온전극의 전위차를 각각 측정하여 그래프를 그려내는 것을 말한다. 보정 곡선이 얻어지면 실제 시료를 측정하여 보정 곡선과 비교하여 실제 측정 인자의 농도를 읽어내는 방식이다. 보정 알고리즘은 2차 혹은 3차 까지 이루어질 수 있으며, 해상 가두리 양식장내 환경 인자의 농도 측정 바로 직전에 수행하여 측정 오차를 줄이고 재현성을 유지할 수 있었다. pH와  $NH_4^+$  측정 방법은 거의 흡사하므로 동일한 알고리즘을 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 보정 알고리즘 및

검출 알고리즘을 정리하여 나타내었다.

보정 곡선을 만들기 위한 알고리즘은 보정 곡선의 오차를 줄이기 위해 측정 전 세정을 한 후, standard 용액을 2,3회 측정하여 데이터를 저장한다. 이 측정된 결과가 저장된 데이터는 검출 알고리즘에서 용액의 이온농도를 측정했을 때의 전압값과 비교하여 측정 오차를 줄이게 된다.

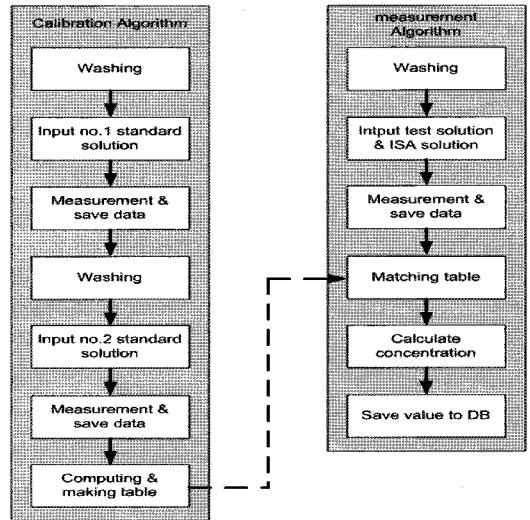


Fig. 5 Block diagram of measurement and calibration

### 3.2 다중 신호 처리 모듈의 시스템

신호처리용 DAU 모듈은 기본 기능인 이온 전극의 농도 데이터 수집 기능 이외에 이온 전극을 통해 측정된 전압값을 실제 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. Fig. 5는 DAU 모듈의 하드웨어 구성도를 나타내었다.

해상 가두리 양식장에서 측정된 데이터를 육상에서 수집 관리하기 위해서는 유무선 신호 처리 모듈의 개발이 반드시 필요하다. 현재 해양 시설물의 신호 처리 시스템으로 주로 사용되고 있는 CDMA와 Inmarsat, AIS 등과 연동이 가능하도록 하기

위해 RS232를 기본으로 사용 가능 하도록 설계하였으며, 명령 프로토콜, 범용 통신 프로토콜, 연동 데이터 프로토콜 등의 구분된 프로토콜을 사용하여 언제든지 목적에 맞는 동작을 수행할 수 있도록 하

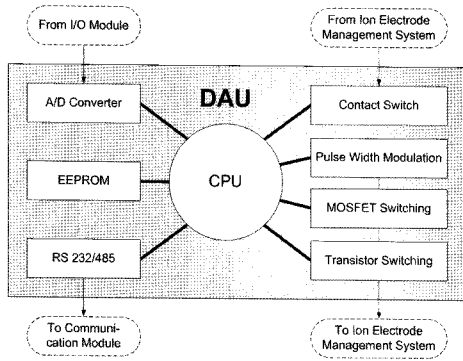
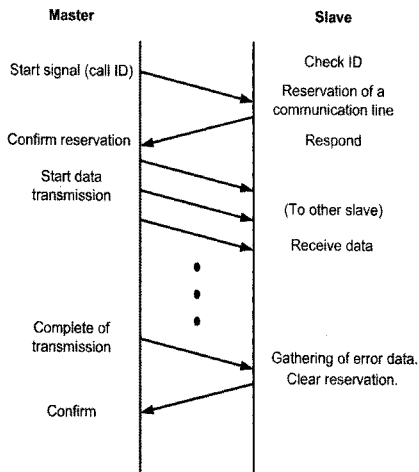
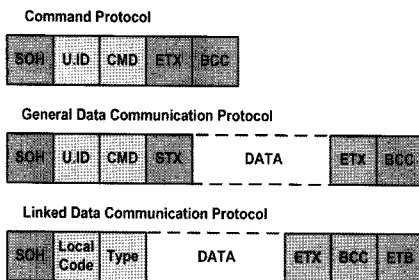


Fig. 6 Organization of DAU module



(a) data flow



(b) protocol

Fig. 7 Data flow and protocol

였다. Fig. 6은 데이터 통신 시의 흐름 및 프로토콜을 보여준다. 여기서 마스터와 슬레이브는 고정된 유닛이 아닌 가변적인 것이며, 이는 다중 통신에서 통신이 이루어지는 구역과 그렇지 않은 구역을 구분하기 위해서도 사용된다. 각 유닛의 ID는 하드웨어 적으로 설정되며, 각각의 서브루틴들은 일정 주기마다 실행되어 항상 최신의 연결 상태 정보를 가질 수 있도록 한다.

데이터 처리가 많은 경우 송수신 사이에 사용자의 간섭 없이 일정한 간격으로 자동적으로 전송되어진다. 이러한 경우 정보 프레임은 M(master) 및 S(slave) 양방향으로 전송된다. 개략화된 설계는 send-and-wait 혹은 stop-and-wait로 알려져 있고, 그것은 각 프레임이 한개 이상의 복수로 수신하는 것을 의미한다. S가 이전 데이터를 올바르게 받았다고 하더라도 다음데이터를 전송하기 전에 M은 시간  $T_i$  만큼 기다리게 한다. 즉, 데이터 수신 및 송신 사이에 필요한 시간은 식 (1)과 같다.

$$T_i = T_{ix} + T_{ip} + T_{ap} + T_{ax} + 2T_p \quad (1)$$

$T_{ix}$  : frame transmission time (M->S)

$T_{ip}$  : frame processing time in S

$T_{ap}$  : ACK processing time in M

$T_{ax}$  : ACK transmission time (S->M)

$T_p$  : ACK propagation delay (S->M)

또한 프레임내의 비트수  $N_i$ 와 비트율  $R(\text{bps})$ 에 의한 데이터 전송시간  $T_{in}$ 을 신호처리용 프로그램에 반영하였다.

### 3.3 감시 회로 및 화면

저장된 데이터는 RS232/485 통신 규격을 사용하여 통신 모듈로 전달된다. 육상의 호스트 PC와 통신하기 위해 신호 처리 모듈로 신호를 변환하여 전송하며, 이때 MAX232, MAX485 와 같은 신호 변환용 칩을 사용하였다. Fig. 7은 DAU의 다이어그램 이다.

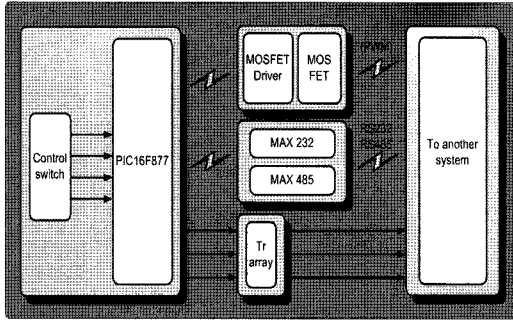


Fig. 8 Circuit diagram of DAU

해상 가두리 양식장에서 측정된 이온 전극의 농도를 육상의 호스트 PC에서 모니터링 하기 위해서 윈도우 기반의 모니터링 프로그램을 제작하였다. National Instrument 사의 LabVIEW를 사용하여 프로그래밍 하였으며, Fig. 8은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 뿐만 아니라 pH, DO, 온도를 포함한 종합적인 모니터링 제어 시스템 구성화면을 보여준다.

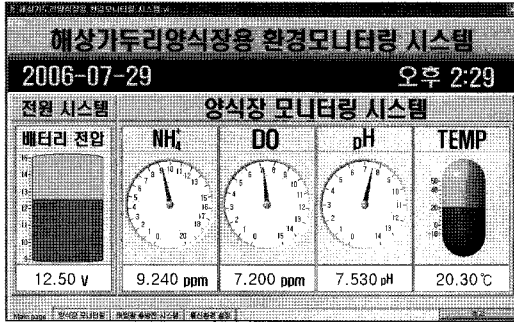


Fig. 9 Control system in IT base (main screen)

### 4. 실험 및 결과

실험에 사용한 센서 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Specifications of each sensor

	Range	Range	Anode	Response	Output Type
DO	0~19.99 ppm	0~50°C	Ag/AgCl	98% within 60 seconds	mV / RS232
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5 x 10 <sup>-6</sup> M to 1M 0.1 ppm to 18,000 ppm	0~40°C	Ag/AgCl	95% response in 30 seconds	mV
pH	0-13 pH	0~100°C	Ag/AgCl Refillable	-	mV

### 4.1 다중 신호 처리 모듈의 성능 실험

이온 전극으로부터 발생하는 수~수십mV의 전위차 값을 입력받아 안정된 0~5V 신호 레벨로 변환하여 출력되는지 실험해 보았다. 다음의 Fig. 9 ~ Fig. 10은 각각 1ppm NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 10ppm NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Standard 용액에 이온 전극을 넣었을 때 나타나는 파형이다. CH 1은 이온 전극의 신호, CH 2, CH 3, CH 4는 신호 처리 후 출력되는 신호이다.

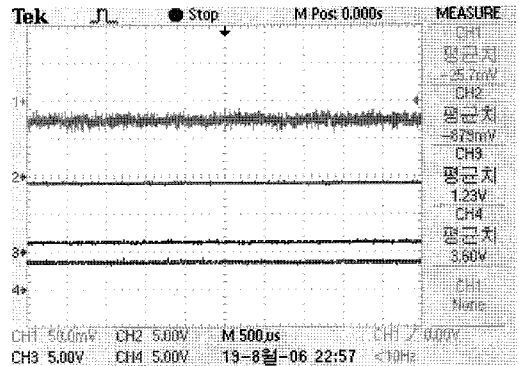


Fig. 10 Input, output signal waveform of a multiple signal processing (1ppm)

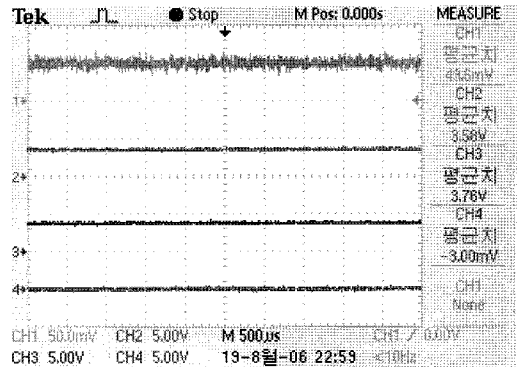


Fig. 11 Input, output signal waveform of a multiple signal processing(10ppm)

다음의 그림은 측정 인자의 농도 데이터를 가지고 있는 DAU 모듈과 신호 변환 모듈간의 데이터 교환이 정확히 수행되고 있는지 실험해 보았다. 다음의 그림은 DAU 모듈에서 신호 변환 모듈로 RS232 인터페이스를 사용하여 데이터를 전송할 때 나타나는 파형이다.

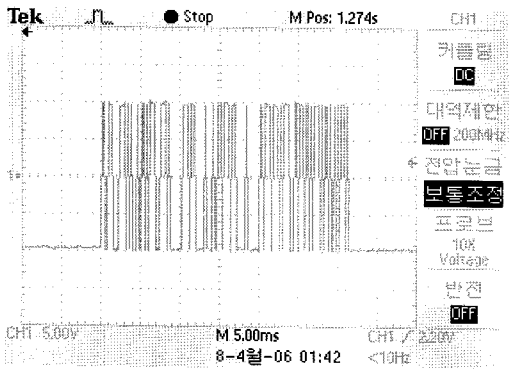


Fig. 12 RS232 output waveform of a DAU module

다음의 그림은 통신 모듈에서 DAU에서 받은 데이터를 호스트 PC로 전송할 때 나타나는 파형이다

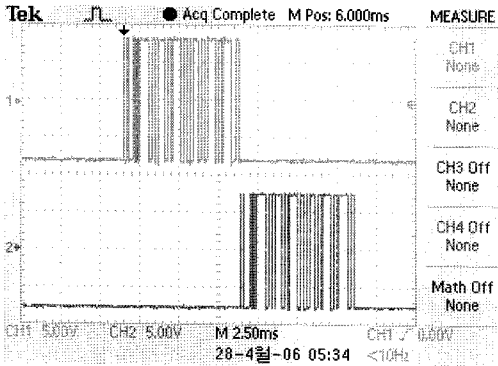


Fig. 13 RS232 output waveform of a handle module

4.2 IT 기반의 제어 모니터링 화면의 기능 실험

해상 가두리 양식장에서 측정된 데이터를 모니터링하기 위해 LabVIEW를 기반으로 한 프로그램을 작성하고 테스트 하였다. 다음에 보이는 그림 13과

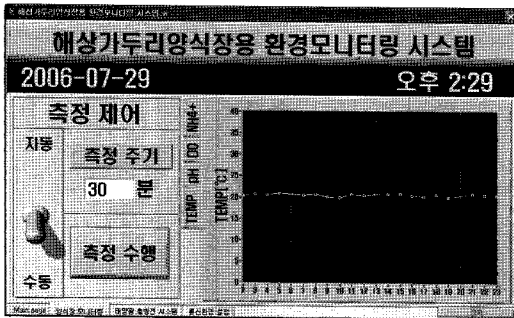


Fig. 14 Control system in IT base (graph)

14는 모니터링하고 있는 가두리 양식장에 설치된 태양 전지판의 전압, 충전율, 양식장 내부의 수온, DO, pH등의 데이터를 모니터링 프로그램 화면에 나타내고 있다.

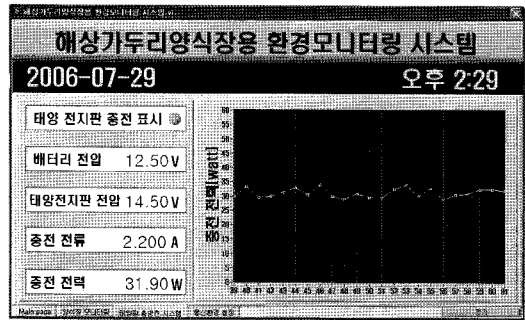


Fig. 15 Control system in IT base (Control module for solar power charge and discharge system)

4.3 암모니아 용액 측정 실험 결과

완성된 환경 모니터링 시스템을 이용해서 4, 6, 8ppm 암모니아 용액을 각각 측정하여 테스트 한 결과 다음의 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 3 Ammonia measuring results

Item	4 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Gradient of correction curve (1st)	58.41 mV /decade	59.28 mV /decade	59.32 mV /decade
1 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	57.13 mV	58.04 mV	58.03 mV
10 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-1.28 mV	-1.24 mV	-1.29 mV
1st measuring value	2218 mV 3.89 ppm	1201 mV 5.98 ppm	472 mV 7.92 ppm
Gradient of correction curve (2nd)	58.78 mV /decade	59.64 mV /decade	58.94 mV /decade
1 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	57.41 mV	58.42 mV	59.88 mV
10 ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-1.37 mV	-1.22 mV	-1.26 mV
2nd measuring value	2286 mV 3.87 ppm	1208 mV 5.98 ppm	688 mV 7.85 ppm
Value(avg.)	3.88 ppm	5.98 ppm	7.89 ppm

위 Table 3을 보면 보정곡선이 1차와 2차로 나누어 데이터를 수집한 것을 볼 수 있는데, 이온전극을 이용한 환경데이터 수집은 체크할 때마다 미세한 수치의 변화가 있을 수 있기 때문에 환경 요

인에 대한 데이터를 수집하기 전 스탠다드 용액을 이용하여 매번 기준이 되는 보정곡선을 만들어줘서 수집 때마다 적용을 하게 된다.

테스트 결과 오차는 약 0.02~0.1 사이의 값을 가지므로 환경데이터 수집에 적절한 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구를 통하여 전국관리 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 외해 가두리 양식장의 감시 시스템을 영상 기반으로 처리할 수 있는 기반을 확보할 수 있을 것으로 생각한다.

## 참고문헌

- [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 developed high performance diffusion tubes". J. Aerosol Sci. 15, 465-71.
- [2] Ameer S., M Laghrouche, A. Adane (2001), "Monitoring a greenhouse using a micro controller-based meteorological data acquisition system.", Renewable Energy Vol(24), pp. 19-30.
- [3] 김경민, "외해가두리를 이용한 돌돔 시험 양식과 적정사료공급을 위한 기반연구" 부경대학교 대학원 박사학위논문, 2007
- [4] 오진석, "해상 가두리 양식장 암모니아 모니터링 시스템에 관한 연구" 한국향해항만학회지 제 30권 제8호 pp. 721-727, 2006
- [5] Chepete, H.J., "Current state and updating of heat and moisture production rates of poultry." PhD. Disseratation, Parks Library, Iowa State University, Ames, IA 50011. 2002
- [6] Xin, H., A. Tanaka, T. Wang, R.S. Gates, E. F. Wheeler, K. D. Casey, A. J. Heber, J. Ni, and T. Lim, "A portable system for continuous ammonia measurement in the field." Paper No. 024168. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI: ASAE. 2002
- [7] Hitchcock, C., "Structure and distribution of plant acyllipds. In Recent Advances in the Chemistry and Bio-chemistry of Plant lipids.(eds Gilliard, T. and Mercer, E. I.)", Academic Press, London, pp. 1-19. 1984

## 후 기

본 논문은 2007년도 수산특정연구개발사업의 지원으로 연구되었음.

## 저 자 소 개



### 오진석(吳珍錫)

1960년 3월 21일생. 한국해양대 졸업.공학 박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 전임강사, 조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄사업단장. 2002년~2004년 한국마린엔지니어링학회 편집위원. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장



### 박준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 현재 수중운송체특화연구센터 연구원.





**정성재(鄭成才)**

1967년 2월생. 부산대학교 조선해양공학  
학과(공학사), 부산대학교 대학원(공학석  
사), 2003년 베를린공대 조선해양공학과  
(공학박사), 2003년~현재 국립수산과학  
원 수산공학팀 해양수산연구사.



**함연재(咸然宰)**

1963년 1월생. 1990년 한국해양대학교  
선박기계공학과 졸업(공학사) 1990년~  
1994년 국방과학연구소 연구원. 1994  
년~2000년 삼성중공업 중앙연구소 선  
임연구원. 2002년~현재 동현씨스텍 대  
표



**이지영(李智英)**

1977년 5월생. 2002년 한국해양대학교  
운항시스템공학부 기관과정 졸업. 2002  
년~2004년 한국해양대학교 대학원 졸  
업. 2004년~현재 cardiff university the  
manufacturing engineering 박사과정