

## 수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템 개발 및 동해 연안의 수온변동 특성

양준용 · 김임학<sup>1)\*</sup> · 이준수 · 황재동 · 서영상 · 김대철<sup>1)</sup>

국립수산과학원 수산해양종합정보과, <sup>1)</sup>부경대학교 에너지자원공학과  
(2010년 9월 17일 접수; 2010년 11월 4일 수정; 2010년 11월 23일 채택)

### Development of Real-time Oceanographic Information System for Long Line Hanging Aquaculture Farm and Temperature Variation in the Coastal Area of the East Sea

Joon-Yong Yang, Lim-Hak Kim<sup>1)\*</sup>, Joonsoo Lee, Jae-Dong Hwang, Young-Sang Suh, Daechul Kim<sup>1)</sup>

*Fishery and Ocean Information Division, National Fisheries Research Development Institute, Busan 619-705, Korea*

<sup>1)</sup>*Department of Energy Resource Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

(Manuscript received 17 September, 2010; revised 4 November, 2010; accepted 23 November, 2010)

#### Abstract

Mass mortalities of cultivated organisms have occurred frequently in Korean coastal waters causing enormous losses to cultivating industry. The preventive measures require continuous observation of farm environment and real-time provision of data. However, line hanging aquaculture farm are generally located far from monitoring buoys and has limitations on installation of heavy equipments. Substituting battery pack for solar panels and miniaturizing size of buoy, newly developed system can be attached to long line hanging aquaculture farm. This system could deliver measured data to users in real-time and contribute to damage mitigation and prevention from mass mortalities as well as finding their causes.

The system was installed off Gijang and Yeongdeok in Korea, measuring and transmitting seawater temperature at the sea surface every 30 minutes. Short term variation of seawater temperature, less than one day, in Gijang from June to July 2009 corresponded tidal period of about 12 hours and long term variation seemed to be caused by cold water southeast coast of Korea, particularly northeast of Gijang. Seawater temperature differences between Gijang station and the other station that is about 500 m away from Gijang station were 1 °C on average. This fact indicates that it is need to be pay attention to use substitute data even if it is close to the station. Daily range of seawater temperature, one of crucial information to aquaculture, can be obtained from this system because temperature were measured every 30 minutes. Averages of daily range of temperature off Gijang and Yeongdeok during each observation periods were about 2.9 °C and 4.7 °C respectively. Dominant period of seawater temperature variation off Yeongdeok was one day with the lowest peak at 5 a.m. and the highest one at 5 p.m. generally, resulting from solar radiation.

**Key Words :** Long line hanging, Aquaculture farm, Oceanographic information, Real-time, Temperature variation, East Sea

\*Corresponding author : Lim-Hak Kim, Department of Energy Resource Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea  
Phone: +82-70-4042-6590  
E-mail: lhkim@cmtc.co.kr

## 1. 서론

해양환경의 급격한 변화와 유기물이나 독성물질 등에 의한 환경오염으로 양성생물의 대량폐사가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 여러 요인 중에서 수온변동에 의한 피해가 큰 것으로 보고되고 있다(서 등, 1999; Boesch and Rosenberg, 1981; Hartly, 1982; Sinderman and Swanson, 1979). 한국 동해 연안의 경우 매년 하계에 주변해역보다 수온이 낮은 냉수역이 자주 발생하고 있으며, 인근 양식장의 피해 뿐만 아니라 해무로 인하여 선박운항에도 영향을 미치기도 한다(서와 황, 2005; 이 등, 1998).

그러나 선박을 이용한 해양조사는 관측주기가 대체로 1개월 이상이며, 대형 관측부이와 같은 관측시설은 증설과 유지보수가 어려울 뿐만 아니라 양식장에서 비교적 멀리 위치하고 있어 관측 자료의 정확도가 낮을 가능성이 있다는 단점이 있다. 국립수산과학원은 2004년부터 가두리 양식장에 연속자동 관측 장비를 시설하여 자료를 실시간으로 제공하는 실시간 어장환경 정보시스템을 개발하여 운영하고 있으나(양 등, 2007), 무거운 관측 장비를 탑재할 수 있는 품들이 필요하기 때문에 관측소가 안정적인 품들이 있는 서해와 남해안의 가두리 양식장에 집중적으로 위치하고 있다. 그런데 동해는 참가리비와 우렁쟁이의 양식이 성공한 이후 그 면적이 급격하게 증가하고 있는 수하식 양성법은 양성생물은 부착할 수 있는 기질을 인위적으로 수중에 매달아 양성하는 방법(유, 2001)으로 관측 장비를 탑재할 수 있는 품들이 없어 가두리 양식장과 같은 시스템을 적용할 수 없다.

최근에 동해안의 수온변동에 의한 양성생물의 대량폐사가 보고되고 있어(박 등, 2001; 이 등, 2007; 홍 등, 2000), 폐사의 원인을 규명하고 피해를 저감하기 위하여 수하식 양식장 해역의 해양환경 관측 자료를 어업인과 관계자에게 실시간으로 제공하는 것이 요구되고 있다. 따라서 본 개발연구에서는 수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템 개발연구를 수행하였으며, 개발된 관측 시스템을 시험적으로 동해 2개소에 계류하여 30분 간격의 표층수온을 관측하였다. 또한 관측한 자료를 이용하여 동해 연안 양식장 해역의 수온변동을 분석함으로써 시스템의 활용성을 제시

하고자 한다.

## 2. 시스템 개발 및 계류

### 2.1. 시스템 구성

수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템은 Fig. 1과 같이 부이 본체, CDMA 안테나, 경광등, 프로텍터, 스위치로 구성되어 있으며, 부이 본체 내부에는 GPS 모듈, 데이터로거, 배터리팩 등이 내장되어 있다. 본체의 재질은 PVC를 사용하여 무게를 줄임으로써 운반과 설치를 편리하게 하였으며, 운항중인 소형선박과 예기치 않는 충돌에도 선박의 피해를 최소화하도록 하였다. 전원은 배터리를 이용하여 무거운 태양전지판을 대체하였고, 하나의 배터리팩으로 수개월 동안 사용이 가능할 뿐만 아니라 본체의 기동하부에 위치시켜 부이 본체가 수직으로 서 있도록 설계하였다.

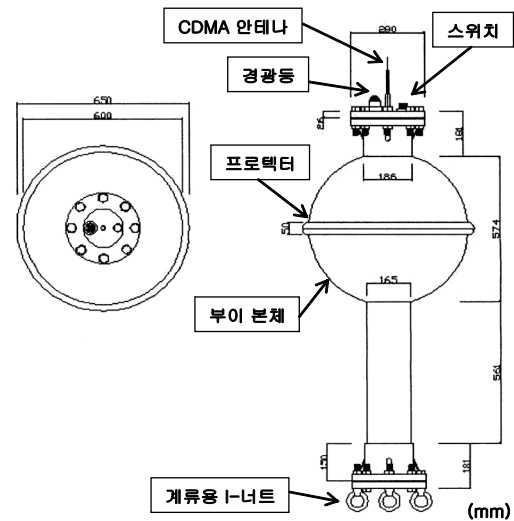


Fig. 1. Buoy structure of real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm.

또한 장비의 유지보수를 용이하게 하기 위하여 본체 윗부분에 스위치를 설치하였고, 야간 발광형 소형 경광등을 장착하여 야간에도 식별이 가능하도록 하여 충돌의 위험을 감소시켰다. 관측 자료의 송신은 위성 통신방식보다 저렴한 일반 휴대폰 통신 방식을 이용

하였으며, 수온, 염분, 용존산소 등 다양한 관측센서를 여러 수층에 부착할 수 있도록 구성하였다. 수신된 관측 자료는 데이터베이스에 저장된 후 홈페이지와 휴대폰단문메시지(SMS)를 통하여 어업인과 관계자에게 제공할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

2.2. 시험 계류

앞에서 언급한 바와 같이 수하식 양식장은 가두리 양식장과 달리 관측 장비를 시설할 수 있는 틈틈이 없으므로 Fig. 2와 같이 수하식 양식장의 부표에 로프를 이용하여 관측시스템을 연결하는 방법을 사용하였다. 기존의 관측부이는 무겁고 큰 크기로 인하여 로프가 절단될 경우 양식장 시설물과 양성생물에 직접적인 피해를 주므로 양식장 내에 부이 설치가 어려웠으나, 이번에 개발한 수하식 양식장용 부이는 소형으로 양식장 내에 설치가 가능하여 기장과 영덕의 수하식 양식장에 2008년 11월부터 시험 계류하여 매 30분 간격으로 수심 5 m의 수온을 관측하였다. Table 1과 Fig. 3에 관측소 위치와 본 연구에 사용한 관측 자료의 기간을 나타내었다.

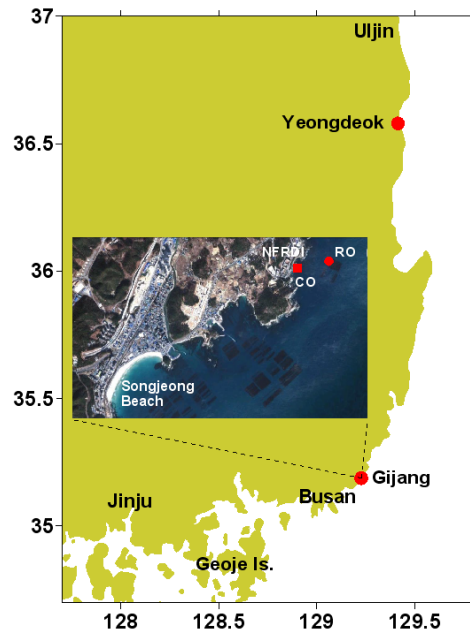


Fig. 3. Two stations of real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm (filled circles and RO) and one station of coastal oceanographic Observation (filled rectangle and CO) carried out by NFRDI (National Fisheries Research Development Institute) in the center.

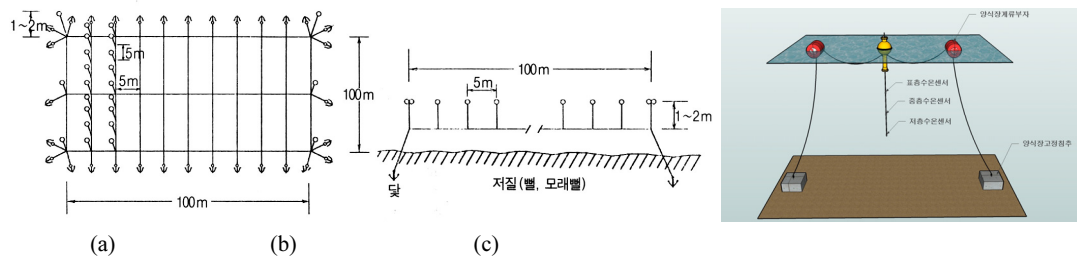


Fig. 2. Schematic diagram of standard long line hanging aquaculture farm from MEHRD, 2002 (a: ground plan, b: side view) and mooring of the system (c).

Table 1. Positions and observation periods of real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm (RO) and coastal oceanographic observation (CO) by NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) used in this study

Station	Position		Observation period
	Latitude (N)	Longitude (E)	
Gijang	35° 11' 18"	129° 13' 37"	2009.06.15 00:30 - 2009.07.20 21:30
Yeongdeok	36° 34' 47"	129° 24' 50"	2009.09.07 06:30 - 2009.10.31 00:00

3. 관측자료 분석 및 고찰

3.1. 자료 및 방법

동해 남부해역의 수하식 양식장의 수온변동을 분석하기 위하여 시험 계류하여 수집한 기장과 영덕의 자료 중 연속적으로 자료가 획득된 기간의 자료를 선택하여 이용하였다(Table 1). 앞에서 언급한 바와 같이 수온 센서는 수심 5 m에 위치하고 있으며, 표층 혼합층의 두께를 고려한다면 해수 유동에 의하여 센서가 날리는 것은 무시할 수 있을 것으로 판단된다. 선택된 자료의 기간은 기장의 경우 2009년 6월 15일부터 2009년 7월 20일(약 36일)이며, 영덕은 2009년 9월 7일부터 10월 31일(약 54일)이다.

기장 관측소의 자료를 비교검증하기 위하여 국립수산물과학원 한국해양자료센터(국립수산물과학원, 2008)의 연안정지 해양관측자료 중 기장자료(북위 35° 11' 14", 동경 129° 13' 35"에서 매일 오전 10시에 관측)와

2009년 6월 16일부터 7월 20일까지 1일 합성 위성관측수온을 이용하였다. 기상청의 홈페이지(기상청, 2009)에서 제공하는 영덕 지역의 기온자료(2009년 9월 8일~2009년 10월 30일)를 이용하여 영덕 관측소의 수온자료와 비교분석을 하였다. 또한 하루 중에서 수온의 최고치와 최저치가 관측된 시각과 두 수온의 차이인 일교차를 분석하였다.

3.2. 기장

관측 기간(2009.06.15~2009.07.20) 동안 수온은 10.19°C에서 20.58°C의 범위에서 변화였고, 30분 간격의 연속 관측 자료이므로 수 시간의 주기를 포함하여 다양한 주기의 변동을 보여주었다(Fig. 4의 실선). 주기성 분석을 위하여 스펙트럼 분석을 적용한 결과, 우세한 주기는 조석 주기에 해당하는 12시간 30분과 24시간으로 단주기의 수온변동은 조석의 영향을 받는 것을 알 수 있다(Fig. 5a).

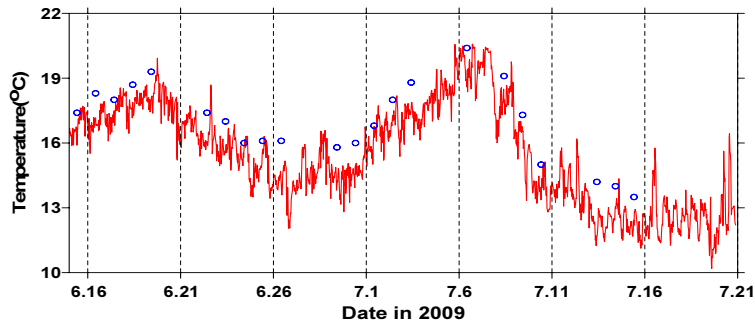


Fig. 4. Time series of seawater temperature off Gijang in Korea obtained by real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm. Open circles indicate seawater temperature off Gijang in Korea obtained by coastal oceanographic observation.

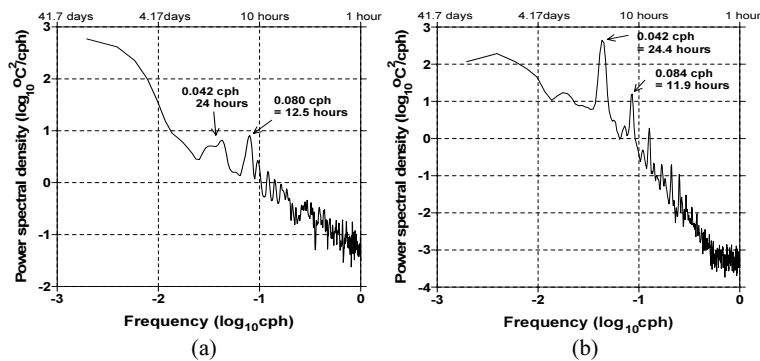


Fig. 5. Power spectra of time series of seawater temperature off Gijang (a) and Yeongdeok (b).

인접한 관측지점에서 동시에 관측한 수온의 차이를 분석하기 위하여 기장 관측소로부터 426 m 떨어져 육지 쪽에 위치하고 있는 국립수산물과학원 연안정지 해양관측자료와 비교하였다(Fig. 3). Fig. 4의 원은 매일 오전 10시에 관측하는 연안정지 해양관측자료를 나타낸다. 두 자료의 전체적인 변동은 유사하였으나 이 기간 동안에는 연안정지가 항상 높게 나타났다. Fig. 6a는 기장관측소에 관측을 시작한 2008년 11월부터 2009년 12월까지 연안정지 해양관측자료와 비교가 가능한 날인 158일에 대하여 두 관측치의 차를 도시한 것으로 양의 값은 연안정지가, 음의 값은 기장 관측소의 값이 큰 것을 의미한다. 춘계(4~6월)와 하계(7~9월)는 연안정지 관측점이, 추계(10~12월)와 동계(1~3월)는 기장 관측소의 수온이 높게 나타났으며, 이것은 해수와 육지의 비열 차이에 의하여 온도가 상승하는 시기인 춘계와 하계는 상대적으로 육지에 가까운 연안정지 관측점이, 온도가 하강하는 시기인 추계와 동계는 육지에서 먼 기장 관측소의 수온이 높게 나타난 것으로 생각된다. 특히 두 관측점의 거리가 500 m 이내로 비교적 가까운 거리이지만 평균적으로 약 1°C 차이가 나는 것은 관측 자료가 부족한 연안 양식장의 인근 관측소 자료 이용에 주의할 필요가 있음을 시사한다(Fig. 6b).

Fig. 4에서 기장 관측소의 수온이 6월 20일과 7월 7일에 약 20°C로 최고치를 보인 뒤 대략 일주일 후인 6

월 27일과 7월 16일에 각각 15°C 이하로 감소하였으며, 이것은 외해의 수온변동에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 기장 앞바다의 1일 합성 위성관측수온을 0.1°×0.1° 격자로 나누어 격자별로 일평균 표면수온을 구한 뒤, 격자의 대표성을 높이기 위하여 관측 자료가 30개 이상인 경우를 선택하여 기장 관측소의 수온 일평균과 격자별로 상관계수를 구하였다(Fig. 7). Fig. 7a는 기장관측소에서 약 5 km 떨어진 지점의 위성관측수온 평균값(●)과 기장 관측소의 일평균(○)을 도시한 것으로 변동 경향이 유사한 것을 볼 수 있다. Fig. 7b는 격자별로 상관계수를 나타낸 것으로 원은 양의 관계를, 사각형은 음의 관계를 나타낸다. 기장의 북동부 연안역과는 최대 0.8의 양의 관계를 보인 반면에 기장 연안에서 점차 멀어지면서 감소하다가 다시 크기가 최대 0.6의 음의 관계를 보여준다. 이것은 기장 관측소가 하계 동해 남부 연안에 자주 발생하는 냉수대의 영향을 크게 받는 것을 보여줌과 동시에 동해 남부 연안에 냉수가 발생할 때 외해의 수온이 상승하는 것을 의미한다.

양성생물에게 적정범위의 수온은 성장을 촉진하지만 한계 이상의 수온과 급격한 수온변동은 성장과 생존을 좌우하는 직접적인 스트레스로 작용한다. 주로 실험실에서 다양한 조건의 인위적인 수온급변에 따른 넙치, 쥐노래미, 전복의 생리적인 반응과 스트레스에 대한 연구가 이루어지고 있어(김 등, 2006; 박 등,

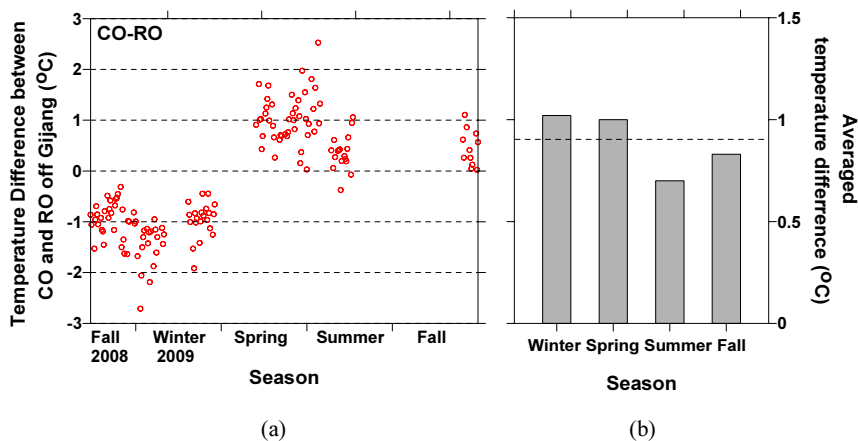


Fig. 6. Seawater temperature difference between Gijang station and the coastal oceanographic observation, 500m away from Gijang station (a) and seasonally averaged temperature difference (b).

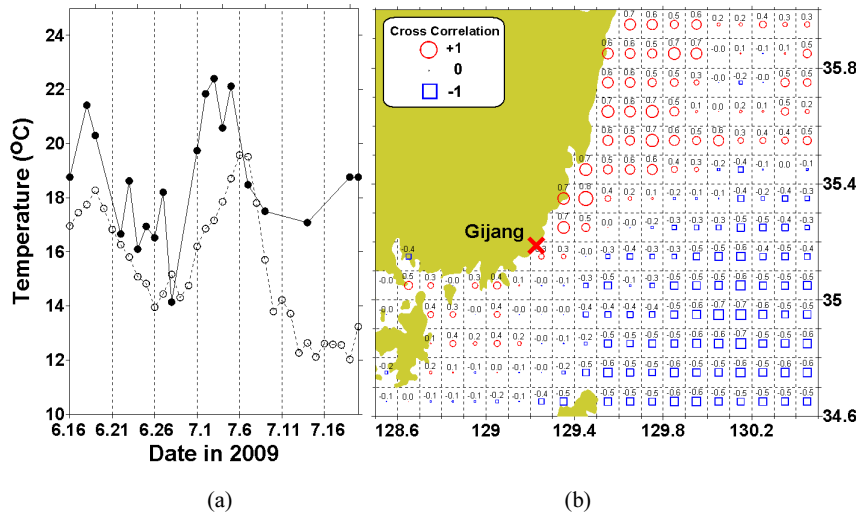


Fig. 7. Daily averaged temperature (dashed line with open circles) off Gijang from real-time oceanographic information system and averaged sea surface temperature from NOAA satellite (solid line with filled circles) at the location of 35.28°N and 129.24°E that is near Gijang station (a). Cross correlation between daily averaged temperature off Gijang and sea surface temperature from NOAA satellite in 0.1°×0.1° grid (b). Open circles represent positive correlation and open rectangles do negative one.

1999; 장 등, 2001) 현장의 결과가 거의 없을 뿐만 아니라 연안의 해양환경조사가 주로 월 단위로 수행되고 있어 수온급변에 해당하는 큰 폭의 수온 일교차와 같은 단주기 수온변동에 대한 자료가 부족한 실정이다. 기상 관측소의 자료는 30분 간격으로 관측된 것으로 수온의 일교차를 구할 수 있었다(Fig. 8a). 관측기간 동안의 수온의 일교차는 최대 4.7°C, 최소 1.8°C,

평균 2.9°C로 나타났다. Fig. 8b는 하루 중 최고치가 관측된 시각과 최저치가 관측된 시각의 빈도를 도시한 것으로 매 시각의 빈도가 모두 20% 이하로 최저치와 최고치가 관측된 시각이 특정 시간대에 국한되지 않았다. 이것은 태양의 복사에너지, 조석, 외해수의 영향 등 다양한 외력이 작용한 것을 시사한다.

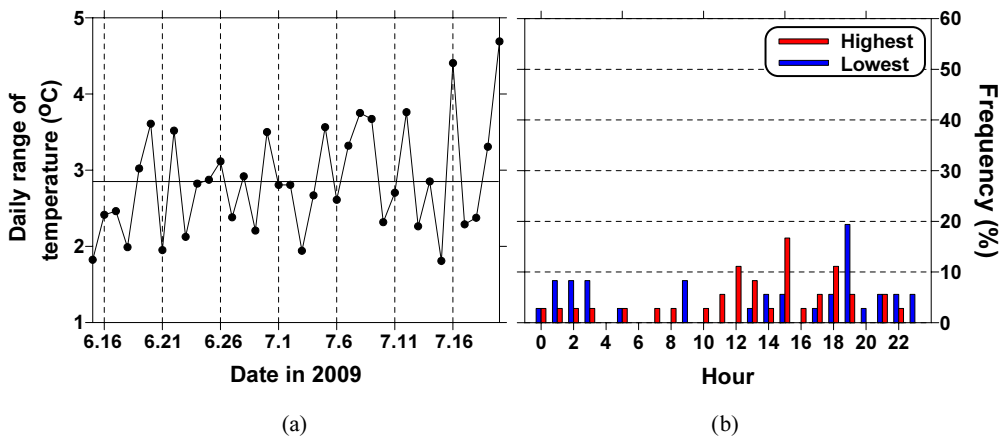


Fig. 8. Daily range of seawater temperature off Gijang (a) and frequency of hour when the highest and lowest temperature measured (b).

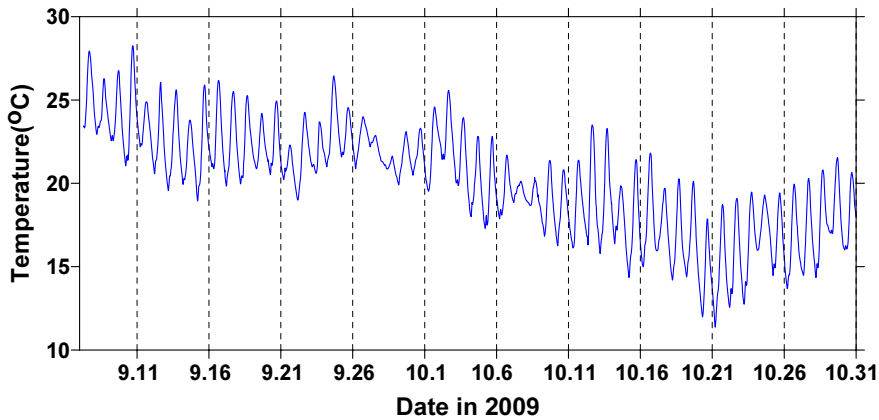


Fig. 9. Time series of seawater temperature off Yeongdeok in Korea obtained by real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm.

3.3. 영덕

관측 기간(2009.09.07~2009.10.31) 동안 수온은 11.38°C에서 28.25°C의 범위에서 변화였고, 전체적으로 수온이 하강하고 있지만 매우 규칙적인 변동을 보이고 있다(Fig. 9의 굵은 실선). 기장의 자료와 마찬가지로 주기성 분석을 위하여 스펙트럼 분석을 적용한 결과, 가장 우세한 주기는 24시간 주기의 수온변동이었으며(Fig. 5b), 영덕 관측소의 수온 일교차는 최대 7.5°C, 최소 1.0°C, 평균 4.7°C로 기장에 비하여 크게 나타났다(Fig. 10a).

Fig. 11은 수온이 관측된 기간의 영덕 지역의 기온

일교차를 나타내었다. 전체 관측 기간 53일 중 14일에 비가 왔으며 이를 점선으로 표시하였다. 비가 온 날의 기온 일교차는 대체로 10°C 이하로 작았을 뿐만 아니라 비가 온 날의 수온 일교차 역시 9월 12일을 제외하고 모두 수온 일교차의 평균 이하로 낮게 나타났다. 즉, 일반적으로 흐린 날의 수온 일교차가 작은 것을 의미한다. 또한 수온의 일교차와 기온의 일교차의 상관계수는 0.65로 비교적 높았다. 이것은 관측 기간 동안 영덕 관측소의 수온 변동이 주로 태양 복사열의 영향을 받았던 것을 시사한다. Fig. 10b은 영덕 관측소에서 하루 중 최고치가 관측된 시각과 최저치가 관측

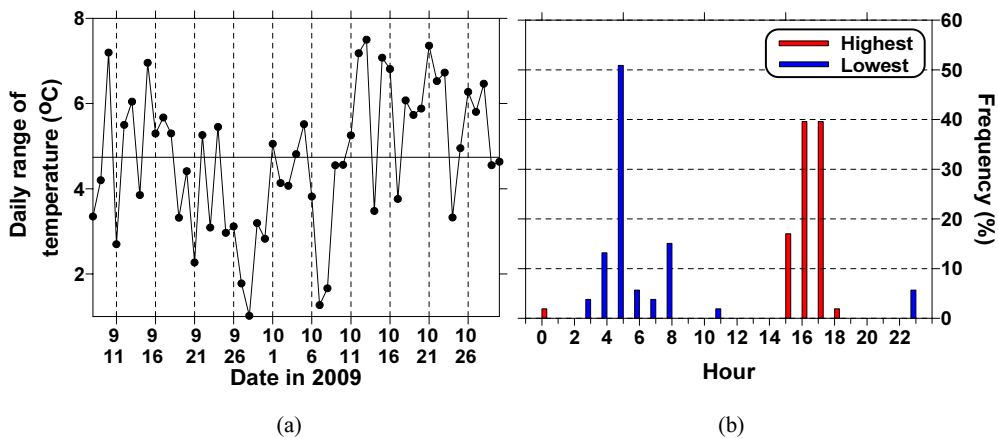


Fig. 10. Daily range of seawater temperature off Yeongdeok (a) and frequency of hour when the highest and lowest temperature measured (b).

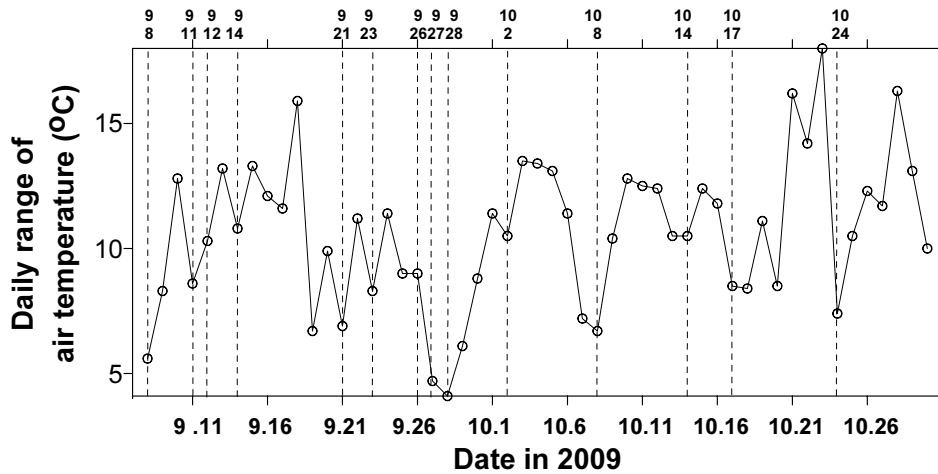


Fig. 11. Daily range of air temperature in Yeongdeok. Vertical dashed lines indicate rainy days.

된 시각의 빈도를 도시한 것으로 최저치는 오전 5시에 50% 관측되었으며, 최고치는 오후 4시와 6시 사이에 80% 관측되었다. 따라서 오전 5시와 오후 5시에 관측한 값의 차이가 수온 일교차일 가능성이 50% 이상일 것으로 판단되며, 이것은 현장에서 쉽게 수온의 일교차를 구할 수 있는 방법으로 생각된다.

#### 4. 결론

해양환경의 급격한 변화에 의해 양성생물의 대량 폐사가 매년 발생하여 막대한 수산피해를 유발하고 있다. 원인규명과 피해예방을 위하여 해양환경의 연속자동관측 및 실시간 제공이 요구되고 있다. 선박을 이용한 해양조사와 대형 관측부이 등은 자료 생산 주기가 길거나 양식장과 먼 거리로 인하여 자료가 다룰 수 있는 가능성이 있으며, 구조적으로 뜰이 없는 동해안의 수하식 양식장은 정보제공이 제한적인 실정이다. 따라서 무거운 태양전지판 대신 배터리를 이용하고 관측 부이를 소형화하여 수하식 양식장의 부이에 부착할 수 있는 실시간 해양환경관측 시스템을 개발하였다. 개발한 수하식 양식장용 부이를 기장과 영덕 앞바다에 시험적으로 설치하여 표층 수온을 30분 간격으로 1개월 이상 관측하는데 성공하였다.

기장 해역의 2009년 6월에서 7월의 수온변동은 조석주기의 단주기 변동과 동해남부해역의 냉수대 출현

에 의한 장주기 변동이 함께 나타났다. 특히 기장의 북동부해역에 위치한 외해수의 영향을 많이 받았다. 또한 거리가 약 500 m 떨어진 국립수산과학원 연안 정지 해양관측점과 평균적으로 1°C 정도 차이가 나는 것은 연안 양식장에서 인근 관측소 자료를 이용할 때에 주의할 필요가 있음을 보여준다. 양성생물의 성장과 생존에 영향이 큰 수온 일교차는 약 3°C임을 확인할 수 있었으며, 실내의 인위적인 실험에 중요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다. 영덕 해역의 2009년 9월에서 10월의 수온은 전체적으로 하강하지만 1일 주기의 규칙적인 변동이 있었으며, 하루 중 수온의 최저치는 오전 5시에, 최고치는 오후 5시경에 높은 빈도로 관측되었다. 수온의 일교차는 평균 4.7°C로 기장에 비해 1.7배 크게 나타났으며, 그 크기가 기온의 일교차, 강우와 높은 상관관계가 있었다. 따라서 관측기간 동안의 수온변동의 주요한 요인은 태양의 복사열인 것으로 생각된다.

본 연구에서 개발한 수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템은 어업인과 관계자에게 실시간으로 관측 자료를 제공함으로써 수하식 양식장의 수산피해 원인규명과 피해예방에 기여할 뿐만 아니라 양성생물과 어장환경과의 관계연구와 연안 해양환경 연구의 기초자료로 활용될 것으로 생각된다.



### 감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원(한국해양자료센터의 운영, RP-2010-ME-055)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 교육인적자원부(MEHRD), 2002, 고등학교 수산양식(상), (주)두산, 93.
- 기상청, 2009, [http://www.kma.go.kr/weather/observation/past\\_cal.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp).
- 김태형, 김경주, 최미경, 여인규, 2006, 급격한 수온 스트레스에 따른 시볼트전복 치패의 생리적 변화, 한국양식학회지, 19(2), 77-83.
- 박명룡, 장영진, 강덕영, 1999, 급격한 수온변화에 따른 양식넙치의 생리적 반응, 한국양식학회지, 12(3), 221-228.
- 박영제, 노섭, 이채성, 2001, 동해안 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 성장, 한국양식학회지, 14(3), 181-195.
- 서해립, 조양기, 서호영, 김대환, 1999, 1996년 제주도에 나타난 대형저서동물의 대량폐사: 물리해양학적 요인의 역할, 한국환경생물학회지 17(2), 175-182.
- 서영상, 황재동, 2005, 하계 한국동해안 냉수대 발생의 시공간적 분포특성, 한국환경과학회지, 14(10), 945-953.
- 양준용, 서영상, 최용규, 정규귀, 정희동, 박종수, 2007, 양식장 플랫폼을 활용한 실시간 해양환경 정보제공 시스템 개발연구, 한국지리정보학회지, 10(2), 47-57.
- 유성규, 2001, 양식개론, 구덕출판사, 11-45.
- 이동규, 권재일, 한상복, 1998, 감포-울기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계, 한국수산학회지, 31(3), 359-371.
- 이용화, 심정민, 김영숙, 황재동, 윤석현, 이주, 진현국, 2007, 2006년 하계 경북 연안의 수온변화와 우렁쉥이 폐사, 해양환경안전학회지, 13(4), 15-19.
- 장영진, 허준욱, 임한규, 이종관, 2001, 수온의 급하강과 급상승이 넙치, 쥐노래미에 미치는 스트레스, 한국수산학회지, 34(2), 91-97.
- 한국해양자료센터, 2008, <http://kodc.nfrdi.re.kr>.
- 홍정표, 김영섭, 허성범, 2000, 온도자극 및 수용밀도에 따른 우렁쉥이 폐사, 한국양식학회지, 33(4), 285-293.
- Boesch, D. F., Rosenberg, R., 1981, Responses to stress in marine benthic communities, In Stress Effect on Natural Ecosystems edited by Barrett and Rosenberg, John Wiley and Sons, N. Y., 179-200.
- Hartly, J. P., 1982, Methods for monitoring offshore macrobenthos, Mar. Pollut. Bull., 13, 150-154.
- Sinderman, C. J., Swanson, R. L., 1979, Historical and regional perspective, In Oxygen Depletion and Associated Benthic Mortalities in New York Bight, 1976 edited by Swanson and Sinderman, U. S. Department of Commerce NOAA Professional paper No. 11, 1-16.