

## 경북 구룡포 해역에서의 냉수 발생과 어장 피해

이용화\* · 심정희\*\*† · 최양호\*\*\* · 김상우\*\* · 심정민\*\*

\*, \*\* 국립수산물과학원 동해수산연구소, \*\*\* 국립수산물과학원 남해수산연구소

## A Study on Cold Water Damage to Marine Culturing Farms at Guryongpo in the Southwestern Part of the East Sea

Yong-Hwa Lee\* · JeongHee Shim\*\*† · Yang-ho Choi\*\*\* · Sang-Woo Kim\*\* · Jeong-Min Shim\*\*

\*, \*\* Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gangneung 25435, Korea

\*\*\* Fisheries Resources and Environment Division, South Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Yeosu 59780, Korea

**요약** : 경상북도 구룡포 해역에서 하계 냉수 발생 특성과 어류 폐사를 유발하는 냉수대 강도를 파악하고자 2007년 8~11월 명계양식장에 수온로거를 설치하여 수층별 수온을 측정하였으며, 2015년과 2016년은 국립수산물과학원 실시간어장정보시스템의 표층수온 자료를 이용하였다. 동해 남부해역의 냉수대 발생 원리와 부합하게 남~남서풍이 강하게 불 때 용승으로 표층수온이 급격히 하강하였으며(2007년 8월 하순, 9월 20-22일, 2015년 7월 13~15일), 반대로 북~북동풍이 우세할 때 저층수온이 급상승하는(2007년 9월 5~7일, 9월 16~18일) 것으로 나타났다. 그 외에도 7~8월 구룡포 해역에 나타나는 약한 강도의 표층수온의 하강과 상승은 바람 방향과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 구룡포 해역에서 최대풍속이 5 m/s 이상인 남~남서풍이 최소 이틀 이상 유지되면 표층수온이 약 10℃ 이하로 하강하는 강한 냉수대가 발생하고 이로 인해 어류 폐사가 발생하는 것으로 파악되었다. 이를 바탕으로 포항기상대의 최대풍속과 최대풍속 풍향을 이용하여 냉수 발생지수(Cold Water Index)를 정의하고 계산한 결과,  $CWI_{2d}$ (CWI 2일 평균)가 100 이상일 때 어류 폐사가 주로 발생하였으며,  $CWI_{4d}$ (CWI 4일 평균)는 7~8월 구룡포 표층수온과 높은 음의 상관성을 나타내었다( $R^2=0.5$ ). 2007년 10월 30 m 수층의 수온 일변화(7~23℃)는 조석변화와 일치하는 주기와 스펙트럼을 보였으며, 이는 북한한류수 영향인 것으로 파악된다. 이와 같이 조석과 북한한류수로 인한 일변화가 어류 가두리가 설치된 수심에도 영향을 미친다면 어업 피해로 이어질 수 있으므로 정밀한 조사가 필요할 것으로 생각된다.

**핵심용어** : 냉수, 용승, 냉수발생지수, 구룡포, 어류 폐사

**Abstract** : To understand the characteristics and strength of the cold water that has caused damage to marine-culturing farms around Guryongpo, in the southwestern part of Korea, surface and water column temperatures were collected from temperature loggers deployed at a sea squirt farm during August-November 2007 and from a Real-time Information System for Aquaculture environment operated by NIFS (National Institute of Fisheries Science) during July-August 2015 and 2016. During the study period, surface temperature at Guryongpo decreased sharply when south/southwestern winds prevailed (the 18-26th of August and 20-22nd of September 2007 and the 13-15th of July 2015) as a result of upwelling. However, the deep-water (20-30m) temperature increased during periods of strong north/northeasterly winds (the 5-7th and 16-18th of September 2007) as a result of downwelling. Among the cold water events that occurred at Guryongpo, the mass death of cultured fish followed strong cold water events (surface temperatures below 10℃) that were caused by more than two days of successive south/southeastern winds with maximum speeds higher than 5 m/s. A Cold Water Index (CWI) was defined and calculated using maximum wind speed and direction as measured daily at Pohang Meteorological Observatory. When the average CWI over two days ( $CWI_{2d}$ ) was higher than 100, mass fish mortality occurred. The four-day average CWI ( $CWI_{4d}$ ) showed a high negative correlation with surface temperature from July-August in the Guryongpo area ( $R^2 = 0.5$ ), suggesting that CWI is a good index for predicting strong cold water events and massive mortality. In October 2007, the sea temperature at a depth of 30 m showed a high fluctuation that ranged from 7-23℃, with frequency and spectrum coinciding with tidal levels at Ulsan, affected by the North Korean Cold Current. If temperature variations at the depth of fish cages also regularly fluctuate within this range, damage may be caused to the Guryongpo fish industry. More studies are needed to focus on this phenomenon.

**Key Words** : Cold water, Upwelling, Cold Water Index, Guryongpo, massive fish mortality

\* First Author : dragon58@korea.kr, 033-660-8520

† Corresponding Author : jshim@korea.kr, 033-660-8534

## 1. 서론

동해 남부해역 냉수대에 관한 연구는 1970년대부터 바람에 의한 용승(upwelling), 북한 한류수 변동, 동한난류 이안 등의 발생 기작 및 기원과 연계하여 많은 연구가 진행되었다(Seung, 1974; Kim and Kim, 1983; Lee, 1983; Lee and Na, 1985). 냉수대 발생 기작에 대한 통합된 결론은 해안선과 평행하게 부는 강한 남서풍과 해저지형 변화로 인한 동한난류의 이안에 의해 동해 남부 연안을 따라 용승이 전반적으로 발생하는 것이며, 냉수의 기원은 대마난류 중층수가 표층수와 혼합되거나 간혹 10°C 이하의 강한 냉수는 북한한류가 기원인 것으로 알려졌다(Lee and Na, 1985; Yang et al., 1994; Lee et al., 1998).

냉수대는 동해 남부해역(울기~감포~구룡포)에서 수온이 계절적으로 상승하는 시기인 5~9월에 1~3일 동안 표층수온이 5~10°C 가량 급격히 하강하는 형태로 연안 용승 등에 의해 발생한다. 해당 해역은 다양한 수산자원의 생육장, 산란장 등의 역할과 더불어 어류 및 멧게 양식도 활발하여 동해 연안 중 가장 생산성이 높은 어장이라 할 수 있다. 경상북도의 양식생산은 2015년 기준 4,547톤(333억 원)이었으며, 그 중 어류가 2,527톤(290억 원)으로 생산량의 56%, 생산액에서는 87%를 차지하였다. 특히 경상북도에서 생산되는 가자미류와 방어류는 전국 생산량의 52%와 10%를 각각 차지하였다. 이처럼 경상북도의 양식(축양 포함)생산은 천해 가두리 양식이 상당부분 차지하고 있으나, 각종 원인으로 인한 어류 폐사가 경상북도 수산업 전체에 막대한 피해를 일으키고 있다. 그 예로 2007년 어류양식 생산량은 약 5,000톤이었으나, 점점 감소하여 2015년에는 생산량이 거의 절반으로 감소하였다. 이는 바이러스성 질병, 적조, 기상 이변(태풍), 수질 환경 급변 등에 의한 낮은 성장, 상품성 감소, 대량 폐사 등이 원인으로 추측되나 각 원인에 대한 명확한 평가는 이루어지지 않은 실정이다.

동해 남부해역에 위치한 포항시 구룡포는 비교적 수심이 깊고 해류 흐름이 원활하여 남해 연안양식장에 비해 적조나 빈산소에 의한 폐사발생은 적은 반면 태풍이나 냉수대와 같은 환경급변에 의한 피해가 잦을 가능성이 크다. 최근 연안 냉수에 의한 어류 폐사가 비교적 빈발하게 나타나고 있다. 경상북도 해양수산과에 의하면 2013년과 2015년 7월에 감포~구룡포 그리고 영덕 축산해역까지 돔류와 방어 등의 폐사가 대대적으로 발생하여, 어민들의 재산피해가 컸다고 보고하였다(2013년 7월 냉수 피해액 약 65억 원, 경북도민일보 2013년 7월 11일자).

본 연구는 연안 냉수가 빈발하는 구룡포 인근해역의 해양 및 기상자료를 이용하여 냉수 발생 시 해황을 파악하고, 그

중에서 어류 폐사 등의 어장피해를 입히는 냉수의 발생 특징을 구분하였다. 여기서 제시된 결과로 냉수발생지수를 산정하고 향후 예측에 활용하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

경상북도 구룡포 해역에서 하계 표층수온 변동을 파악하기 위해, 2007년 8월부터 약 3개월간 경상북도 포항시 구룡포 인근의 멧게양식장에 수온센서(Hobo TidbiT v2 logger, ONSET, USA)를 4개 수심(표층, 10m, 20m, 30m)에 설치하였다(Fig. 1). 자료 저장형 수온센서는 계류할 로프에 해당 수심에 각각 장착하였고, 계류 로프의 위쪽은 표층 부이에 연결하였으며, 아래 쪽 끝은 멧게양식장의 앵커(anchor)에 고정하였다. 구룡포, 영덕 그리고 기장 연안의 수온은 국립수산과학원이 운영하는 실시간어장정보시스템의 구룡포 하정관측소(35.9607°N, 129.5497°E)와 영덕관측소(36.5737°N, 129.437°E), 기장관측소(35.187°N, 129.227°E)에서 3년(2013~2015)간 관측한 자료를 이용하였다(<https://www.nifs.go.kr/risa/subpage>). 구룡포 하정관측소는 2014년 8월부터 표층수온만 제공하고 있으며, 영덕관측소와 기장관측소는 2008년 11월부터 3개 수심(표·중·저층)의 수온자료를 30분 간격으로 제공하고 있다.

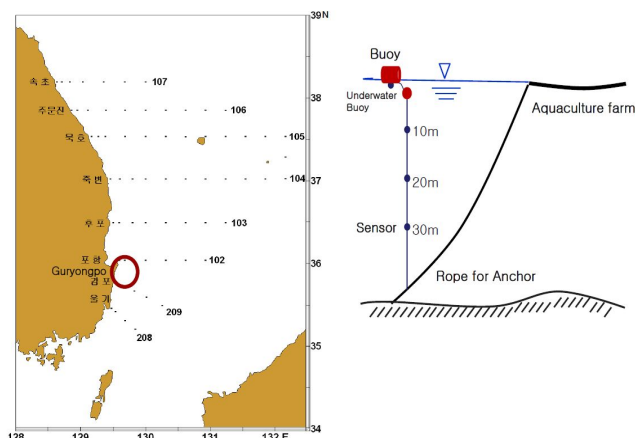


Fig. 1. Study area and diagram for mooring of temperature loggers at an aquaculture farm in Guryongpo, southwestern part of East Sea.

연구해역의 기상자료는 기상자료포털(<https://data.kma.go.kr>)에서 제공하는 지상관측소 중 포항의 일별 또는 시간별 자료를 이용하였다. 최대풍속은 하루 동안의 매 10분 평균값 중 가장 큰 수치를 의미하며, 그 때의 풍향(16방위)을 최대풍속 풍향이라 하고 수치로 제시하였다. 연구해역의 조위관측은 국립해양조사원의 해양자료포털(<https://www.khoa.go.kr/koofs>)에서 제공하는 울산지역의 30분 간격 자료를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 하계 구룡포 해역 수온 변동

경상북도 구룡포 해역의 하계 수온 변동을 파악하기 위하여 2007년과 2015~2016년 자료를 분석하였다. 구룡포 명계양식장의 2007년 8~11월의 표층수온은 조사 초기(8월 18~28일)와 일부 기간을 제외하면 9월 초 약 25°C에서 11월 말 약 15°C까지 지속적으로 감소하였으며, 10m와 20m, 30m 수심에서도 표층과 유사하게 9월에서 11월로 갈수록 서서히 하강하는 경향이였다(Fig. 2). 표층에서 30m까지 수심이 깊어질수록 수온이 낮아지는 일반적인 경향을 나타내었으며, 조사기간 표층과 10m, 20m, 30m 수층 사이의 수온차이 평균은 각각 0.81°C, 1.99°C, 3.87°C 이었다. 조사기간 중 8월 하순과 9월 20~22일경에는 표층수온이 급격히 하강하여 30m 수층과 유사하게 낮은 수온 분포를 보인 반면, 9월 5~7일과 9월 16~18일, 10월 17~19일경에는 저층수온이 급격히 상승하여 표층수온과 유사한 수준에 도달하는 경향을 보였다. 그 외에도 약한 강도의 표층 수온의 하강과 저층 수온의 상승이 짧은 기간(1~2일 내)에 나타나는 경우도 있었다.

일반적으로 표층 수온이 급격히 낮아져 표층에 냉수대가 발생하는 것은 동해 남부해역에 남풍이 강할 때, 에크만(Ekman) 수송에 의해 표층수가 외해로 빠져나가고 그 자리에 저온의 저층수가 용승함으로 나타나는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 1998; Kim et al., 2010). 반대로 저층수온이 표층수와 비슷한 수준의 고수온을 보이는 것은 북풍이 강할 때 발생하는 것으로 외해의 따뜻한 물이 연안으로 이동하여 저층으로 침강한 결과라고 알려져 있다(Lee et al., 2007; Kim et al., 2016). Lee et al.(2007)는 2006년 8월 태풍 '우콩'의 영향으로 북풍이 5일간 지속되어 우렁쟁이가 매달려 있던 수심 10~20m의 수온이 10°C 이상 급상승하여 폐사가 발생한 것

을 보고한 바 있다.

2007년 구룡포 명계양식장의 수층별 수온과 같이 도시한 풍향벡터에서 표층수온의 급하강과 저층수온의 급상승은 남(서)풍 그리고 북(동)풍과 각각 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 표층에 냉수대가 발생한 8월 하순에 포항기상대에서 관측된 일 최대풍속과 일 최대풍속 풍향은 각각 4~11.2 m/s, 남풍계열(160~200°)이었으며, 이 같은 바람이 약 10일(8월 12~22일)동안 우세하였다. 본 연구에서 구룡포 수온을 8월 17일부터 측정하였으나, 수온 하강은 그 이전부터 발생하였을 것을 추측할 수 있다. 실제 포항에서 관측된 표층수온은 8월 14일부터 급격히 하강하였고 이것이 약 일주일간 유지되었다. 2007년 9월 20~22일에 발생한 표층수온 하강 시에는 최대풍속 6.1~7.5 m/s의 남풍(160~180°)이 약 3일(9월 19~21일)동안 지속하였다. 한편, 이와 반대로 저층수온 상승이 있었던 9월 5~7일 동안은 최대풍속이 3.6~6.2 m/s의 북풍(340~20°)이 우세하였고, 9월 16~18일에는 4.1~8.1 m/s로 북동풍(20~50°)이 우세하였다.

국립수산과학원에서 2014년 8월부터 구룡포 어장에 설치한 실시간어장정보시스템 자료 중 2015~2016년 하계의 표층수온을 바람벡터와 함께 Fig. 3에 나타내었다. 2015년의 경우, 7월 초 약 20°C를 일정하게 유지하다가 7월 13~15일에는 표층수가 10.4°C까지 급격히 하강하였으며, 당시 12~14일 사이 포항의 최대풍속은 4.6~8.2 m/s였으며, 풍향은 남~남서풍(160~230°)이 3일간 지속되었다. 이후 7월 15~22일에는 북~북동(360~70°)계열 바람이 우세하여, 표층수온은 7월 24일에 약 21°C로 회복되었으나 7월 23일~8월 5일 사이에 남~남서풍(160~230°)으로 바람 방향이 바뀌면서 약 17.6°C까지 재하강하는 경향을 보였다. 이후 8월 5~19일 동안은 북동~동풍(50~90°)이 우세하였으며, 8월 8일부터 급격한 상승을 보여 8월 10일 최대 25°C까지 상승하였다. 한편, 2016년은 뚜렷한 상승과 하강이 없고, 7월 25~8월 2일 사이 약간 하강하는 이벤트를

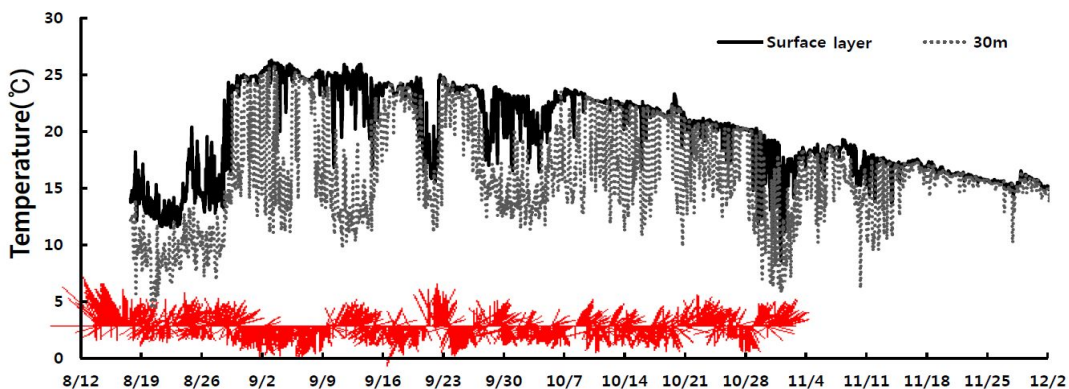


Fig. 2. Temporal variations of sea surface(solid line) & 30m(dot line) temperatures and wind vector(red color) at Guryongpo measured on August~November in 2007.

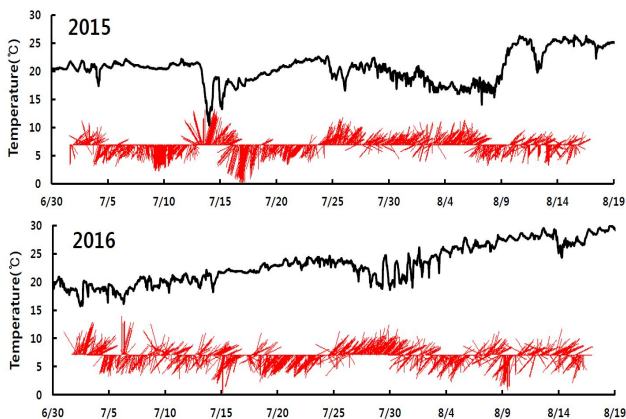


Fig. 3. Temporal variations of sea surface temperature (black) and wind vector (red) at Guryongpo measured on July~August in 2015 and 2016.

제외하면, 복사열에 의해 지속적으로 수온이 상승하는 경향이였다. 실제 7월 24~30일에는 남서풍(230-250°)이 우세하였으며, 나머지 기간에는 북~동풍(360-50-90°)이 지배적이였다. 이처럼 하계 7~8월 사이 구룡포 해역에서 남~남서풍이 우세한 시기에는 표층수온이 내려가고, 북~북동풍이 우세한 시기에는 저층수온이 상승하는 경향으로, 짧은 시기의 표층수온의 하강과 상승은 바람 방향에 좌우됨을 알 수 있었다.

### 3.2 냉수발생지수와 양식장 피해 발생

어류 등을 양식하는 해상가두리는 태생적으로 해양환경에 그대로 노출되어 있으므로 태풍, 적조 등을 비롯한 기상 및 해양환경의 급변은 어장 생산량에 막대한 영향을 미치고, 이 점이 동해 남부 연안의 양식에 가장 큰 약점이라 할 수 있다. 구룡포 인근 해상가두리방식으로 양식하는 주 어종은 돔류와 방어 등이다. 돔류의 적정양성수온은 20~28℃로 이 수온이 유지되는 기간이 길수록 양성에 유리한 해역이라 할 수 있다. 특히 돔류는 저수온에 약하므로, 10~12℃ 이하에서는 식욕이 줄고 거의 월동하는 수준이며, 만일 수온이 심하게 변동하면 더 높은 온도에서도 죽는다(Yoo, 2000). 방어도 축양에 적합한 수온은 18~27℃이며, 14℃ 이하에서는 성장이 중지되고 체중이 감소하며, 10℃ 이하에서는 먹이를 먹지 않고 오래 지속되면 폐사하게 된다(Yoo, 2000). 따라서 경북 구룡포 연안에 냉수대가 발생하였을 때, 양식어류들이 생존할 수 있는 수온 범위에서 발생한다면 큰 피해가 없다. 반면 수온이 어류 생존에 위협이 되는 10℃ 이하로 내려가면 양식어류에 스트레스를 주어 폐사에까지 이르게 된다. 더욱이 냉수대가 발생하거나 소멸될 때 일상적으로 겪는 수온의 급격한 변동은 또한 양식어류에게 치명적인 스트레스로 작용하게 되므로, 단기간의 수온 급하강과 급상승도 폐

사발생을 유발한다.

본 연구에서 관측된 구룡포 표층수온 변화 중 2007년의 8월 중순과 2015년 7월 중순에 표층수온이 10±2℃ 내외까지 하강하였다. 2007년의 경우에는 실제 자료가 남아있지 않으나, 관련 공무원들에 의하면 당시에도 냉수 및 적조로 인한 폐사가 장기간 발생하였다고 한다(Personal communication과 대구시민일보 2007년 8월 19일자). 한편, 2015년 7월 중순에는 포항시 일대 양식어류(해상가두리) 폐사가 발생하여, 국립수산물품질관리원 이 포항시와 합동조사를 실시하였다. 그 결과 구룡포에서 양성 중이던 참돔 약 39만 마가 폐사한 것은 질병보다는 냉수대 발생이 원인인 것으로 보고한 바가 있다.

경상북도 해양수산과에 의하면, 2013년 7월에 영덕군 축산, 포항시 구룡포 그리고 경주시 감포에서 어류 폐사가 각각 7월 3일, 8~9일, 10일 순차적으로 발생하였다. 포항시 구룡포에서 가두리 면허 총 25건 중에서 8건의 피해를 입어 약 20억 원 상당의 돔 120만 마가 폐사하였으며, 영덕군 축산에서도 5천만 원 상당의 돔 약 3천 마가 폐사하고, 경주시 감포에서는 방어 2천 마가 폐사하여 약 2천만 원의 피해를 입었다. 2013년의 경우 구룡포 해역 수온변동 자료는 없으나, 당시 바람과 저기압의 영향으로 동해안 전반에 냉수대가 발생하였으므로(Choi, 2015) 실시간어장정보시스템 중 영덕과 기장에서 관측한 수온자료를 살펴보았다(Fig. 4). 영덕의 경우 최저 5℃까지 하강하였으며, 기장은 약 15℃까지 하강하였으므로, 구룡포 일대에도 약 10℃ 내외로 냉수대가 발생하였을 것으로 추측할 수 있다. 2015년 7월에 발생한 냉수대 발생 시 영덕-구룡포-기장 3해역의 수온이 뚜렷하게 구분되었지만, 정도의 차이는 있지만, 2013년에도 구룡포는 영덕과 기장의 중간정도의 수온 분포를 나타내었을 것으로 판단된다.

이처럼 구룡포 해역에서 냉수대에 의한 어류 폐사가 하계(주로 7월)에 빈발하며, 이는 구룡포 표층수온이 약 10℃ 내외로 하강할 때이다. 2007년과 2015년 그리고 추정에 의한 2013년의 표층수온이 10℃로 하강할 시기에 포항기상대의

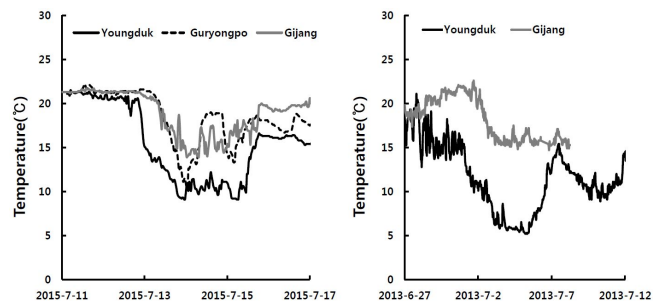


Fig. 4. Distributions of sea surface temperature at Youngduk, Guryongpo and Gijang measured at cold water events on July 2015 and 2013.

## 경북 구룡포 해역에서의 냉수 발생과 어장 피해

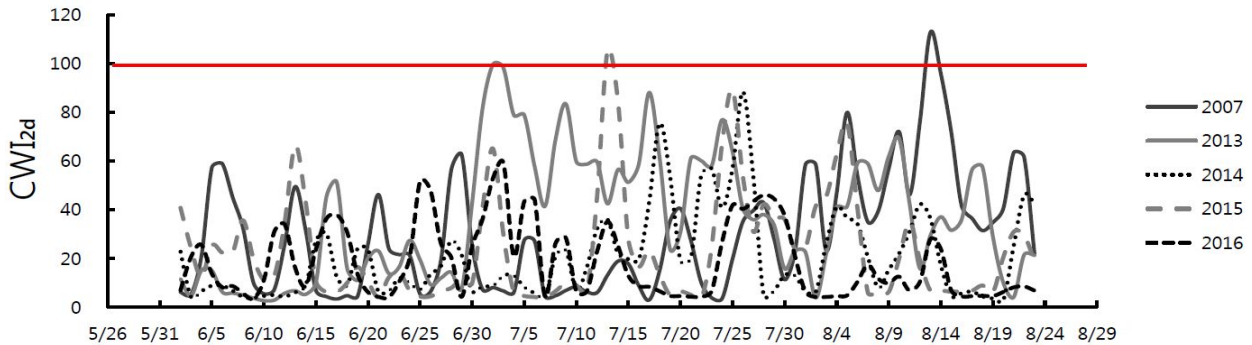


Fig. 5. Temporal variations of  $CWI_{2d}$  on June~August in 2007 and 2013~2016 calculated with maximum wind speed and direction at Pohang meteorological observatory.

바람 강도와 방향에서 특징적인 점은, 최대풍속이 5m/s 이상인 날이 최소 이틀 이상 유지되면서 최대풍속의 풍향이 남~남서풍(160~230°)이었다는 것이다.

이처럼 포항시의 일별 최대풍속과 최대풍속 풍향을 바탕으로 냉수발생지수(Cold Water Index)를 만들기 위해 다음과 같은 가정을 하였다: i) 최대풍속이 5m/s 이상일 경우에 냉수가 발생하므로 가중치(1.5)를 줌, ii) 최대풍속 풍향에 대해서는 16방위를 1~10으로 분류하여, 남~남서풍(200~230°)계열은 “10” 그리고 북~북동풍(360~050°)계열은 “1”의 범주로 구분함, iii) 앞에서 구한 최대풍속과 최대풍속 풍향 상대치를 곱하여 수치화하고 이를 냉수발생지수로 명명하고 다음과 같이 계산함.

$$CWI(Cold\ Water\ Index) = (A \times \text{최대풍속}) \times f(\text{최대풍속 풍향})$$

이때, A는 1 또는 1.5, f(최대풍속 풍향)은 1~10의 수치를 갖게 되며, 이는 일별로 계산된다. 그 결과, 냉수발생지수의 2일 평균값( $CWI_{2d}$ )이 100 이상일 경우에 냉수대 발생으로 인한 어류 양식피해가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 5). 앞서 어류 폐사가 발생하였던, 2007년 8월 13일  $CWI_{2d}$ 는 113이었으며, 2015년 7월 13일은 105였으며, 2013년 7월 2일 100이었다. 따라서  $CWI_{2d}$ 가 100 이상일 경우는 냉수대 발생으로 인해, 어류의 폐사가 발생할 가능성이 높은 반면, 100 미만일 때에는 비록 냉수대가 발생하더라도 폐사로 인한 어장 피해 발생가능성은 낮다고 할 수 있다. 한편, 냉수발생지수의 4일 평균( $CWI_{4d}$ )은 표층수온 변동을 잘 설명하였다(Fig. 6). 2007년, 2015, 2016년의 7~9월 표층수온과 냉수발생지수의 4일 평균( $CWI_{4d}$ )을 함께 표현하였을 때, 높은 음의 상관성을 나타내었다( $R^2=0.5$ ). 즉, 어류 폐사가 될 정도의 냉수대가 강하게 발달하진 않지만, 바람에 의한 표층수온 변동을 냉수발생지수로 예측이 가능하다는 것이다. 따라서 본 연구에서 설정한 냉수발생지수는 비록 짧은 기간이지만 냉수대가 빈발하는 7~8월에 구룡포 해역의 표층수온 변동을 잘 묘사하는

것으로 나타났으며, 어류 폐사가 발생가능한 정도의 냉수대에 대한 재현도 비교적 잘 표현하는 것으로 판단되므로, 추후 장기자료를 토대로 정확도를 높이게 되면, 구룡포 해역의 어류 피해에 대한 예측에도 적극 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

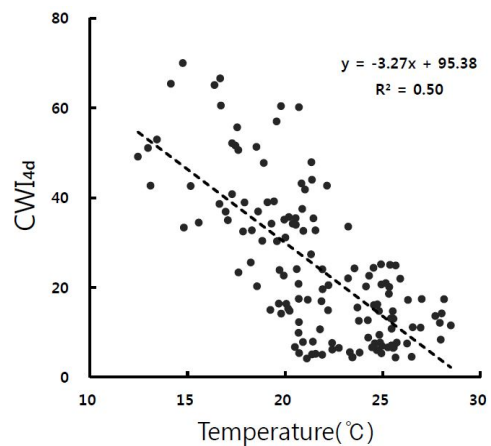


Fig. 6. Relation between  $CWI_{4d}$  and daily surface temperature of Guryongpo measured on July~August in 2007, 2015 and 2016.

### 3.3 저층수온 변동과 조석

2007년 10월의 경우 표층수온은 19~23°C로 큰 변화가 없는 반면, 수층 30 m 수온은 7~23°C 사이로 변하며, 일 변동 폭(5~13°C)이 매우 컸으며 평균적으로 하루에 약 8.8°C 변동하였다(Fig. 2). 가장 일변화가 큰 날은 10월 20일(9.8~22.1°C)과 10월 29일(7.0~20.0°C)이었다. 저층수온이 이처럼 하루 동안에 크게 변동한다는 것은 비록 표층은 큰 변화가 크지 않으나 10 m, 20 m 수심의 수온변화에 다른 요인이 작용할 가능성이 있다. 이 수심은 양식장의 가두리가 위치하는 수심(5~15 m)의 수온변동을 파악하는데 중요하다. 저층수온의 변동을 자세히 살펴보면, 하루

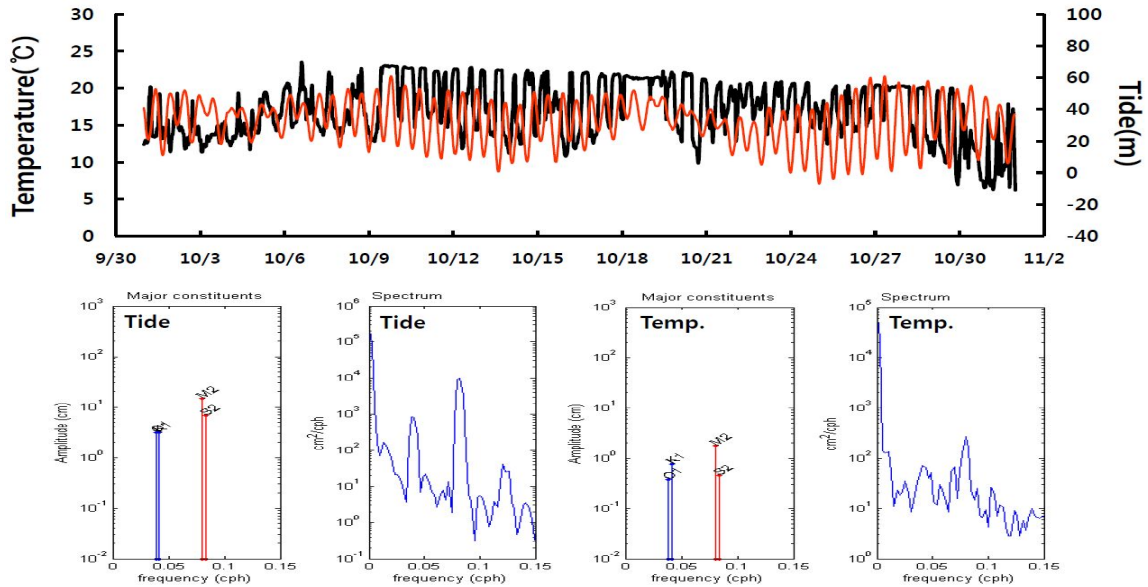


Fig. 7. Variations of sea temperature (black) at 30m of Guryongpo and tidal level (red) at Ulsan measured on October, 2007 and harmony and spectral analysis for both of tide and temperature at 30 m.

에 2번씩 크게 변동하는 것으로 보아 조석주기와 유사하다는 것을 유추할 수 있다. 따라서 표층수는 변동에 대해 조화분석과 스펙트럼분석을 한 결과, 조위와 매우 유사한 경향을 파악할 수 있었다(Fig. 7). 여기서 반일주조의 M2주기에서 가장 높은 강도(peak)를 보였으며, 그 다음으로 일주조인 K1주기에 높은 강도를 나타내었다. 수온변동에 대한 일련의 스펙트럼도 조석주기와 절대 값만 다르고 거의 유사한 패턴으로 나타났다(Fig. 7).

이처럼 조석에 따른 저층수의 변동이 큰 것은, 북한한류가 그 시기에 구룡포까지 남하하였거나 동해중층수의 영향이라 할 수 있다. 북한한류의 남하 한계는 연별 계절별 다르지만, 일반적으로 하계에 더 강해져 8-9월에 최대 수송량을 보이며, 그 세기가 강할 경우에는 감포 부근까지 남하하는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 1983; Yun, 1993; Kim and Min, 2008). 18년 동안(1973~1990년)의 관측에 의하면 감포가 위치하는 국가해양조사 정선 209 라인까지는 총 104회 중 40회 이상 나타나는 것으로 알려졌다(Yun, 1993). 일반적으로 북한한류를 구분하는 수온과 염분의 범위는 각각 1~5°C, 34.05 이하이나(Kim and Min, 2008), 연안을 따라 나타나는 북한한류수의 수온과 염분은 각각 1.9~9.4°C, 33.78~34.42 범주로 제시되었다(Jeong et al., 2013). 2007년 10월 구룡포의 30m 층의 최소 수온은 6.2°C이며, 20m와 10m 수층의 최소 수온도 각각 7.2°C와 7.7°C이었다. 또한 2007년 8~10월의 국가해양조사에서 다른 해보다 동해연안을 따라 저수온(10°C 이하)인 수층이 남북방향으로 길게 확장한 것을 파악할 수 있었다(<http://kocd.nifs.go.kr>). 따라서 북한한류수가 연안에서 일반적으로 나타나는 수심(50~100 m)보다 얕지만, 2007년 구룡포

양식장에 북한한류수의 영향이 있었던 것으로 추측할 수 있다. 저층수와 더불어 수심 10~20 m 수층도 이와 같이 변동을 하면, 하루에 두 번씩 마치 냉탕과 온탕을 오가는 것과 같은 스트레스를 어류가 겪게 되므로 이것이 폐사로 이어질 수 있다.

따라서 이러한 조석의 강도와 북한한류수의 남하정도 등에 따라 중층에서 추계에도 냉수가 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 이에 대한 연구결과는 아직 미비한 것으로 추후 구룡포 해역에 대한 수층별 장기 관측자료를 이용하여 파악할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

경상북도 구룡포 해역에서 하계 표층수온의 급하강과 저층수온의 급상승은 포항의 일 최대풍속 및 최대풍속 풍향과 밀접한 상관이 있는 것을 확인하였다. 조사기간 중 일 최대풍속이 4 m/s 이상이면서 남~남서풍이 우세할 시기에는 표층수온이 급하강하여 냉수대를 유발하고, 바람 방향이 북~북동풍이면 저층수온이 급상승하는 것으로 나타났다. 표층수온이 10°C 이하로 하강하는 강한 냉수대 발생 시에는 어류 폐사를 유발하게 되며, 이는 주로 최대풍속이 5 m/s 이상인 남~남서풍이 최소 이틀 이상 유지될 때 발생하였다. 이를 바탕으로 냉수발생지수(Cold Water Index)를 정의하고 계산한 결과, CWI<sub>2d</sub>가 100 이상일 때 어류 폐사가 발생하는 것을 확인하였고 더불어 CWI<sub>4d</sub>는 하계 구룡포 표층수온과 높은 음의 상관성을 보였다(R<sup>2</sup>=0.5). 이는 장기자료를 활용하여 CWI

의 정확도를 더욱 높인다면 바람자료만으로 어류 폐사에 대한 예측이 가능하다는 것을 의미한다. 2007년 10월의 30m 수온이 하루에 2번 변동하는 것은 조석과 더불어 북한한류수의 영향인 것으로 파악되며, 만일 그 같은 변동이 어류 가두리가 위치하는 수심까지 영향을 미친다면 이에 의한 폐사도 발생할 수 있으므로 정밀한 조사가 필요할 것으로 파악된다.

### 감사의 글

이 논문은 2016년 국립수산물과학원 수산시험연구소 “동해 연안어업 및 환경생태조사(R2016031)”의 지원으로 수행된 연구입니다.

### References

- [1] Choi, Y. K.(2015), Upwelling in the southwest region of the East Sea in July, 2013, J Kor Soc Fish Technol, Vol. 51, No. 2, pp. 212-220.
- [2] Jeong, H. D., S. W. Kim, K. Y. Kwon, J. W. Lim and C. H. Kwoun(2013), Oceanographic features around aquaculture areas of the eastern coast of Korea, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 4, pp. 334-344.
- [3] Kim, C. H. and K. Kim(1983), Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea, The Journal of the Oceanological Society of Korea, Vol. 18, No. 1, pp. 73-83.
- [4] Kim, S. W., W. J. Go, S. S. Kim, H. D. Jeong and K. Yamada(2010), Characteristics of ocean environment before and after coastal upwelling in the southeastern part of Korean Peninsula using an in-situ and multi-satellite data, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 4, pp. 345-352.
- [5] Kim, S. W., J. W. Lim, Y. Lee and K. Yamada(2016), Response of water temperature in Korean Waters caused by the passage of Typhoons, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 5, pp. 508-520.
- [6] Kim, Y. H. and H. S. Min(2008), Seasonal and interannual variability of the North Korean Cold Current in the East Sea reanalysis data, Ocean and Polar Research, Vol. 30, No. 1, pp. 21-31.
- [7] Lee, D. K., J. I. Kwon and S. B. Hahn(1998), The wind effect on the cold water formation near Gampo-Ulgi coast, J. Korean Fish. Soc., Vol. 31, No. 3, pp. 359-371.
- [8] Lee, J. C.(1983), Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer, The Journal of the Oceanological Society of Korea, Vol. 18, No. 2, pp. 149-160.
- [9] Lee, J. C. and J. Y. Na(1985), Structure of upwelling off the southeast coast of Korea, The Journal of the Oceanological Society of Korea, Vol. 20, No. 3, pp. 6-19.
- [10] Lee, Y. H., J. M. Shim, Y. S. Kim, J. D. Hwang, S. H. Yoon, C. Lee and H. G. Jin(2007), The variation of water temperature and the mass mortalities of sea squirt, *Halocynthia roretzi* along Gyeongbuk coasts of the East Sea in summer, 2006, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 13, No. 4, pp. 15-19.
- [11] Seung, Y. H.(1974), A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August, The Journal of the Oceanological Society of Korea, Vol. 9, No. 1-2, pp. 52-58.
- [12] Yang, H. S., P. J. Kim, J. C. Lee and C. H. Moon(1994), Origin of the cold water below 10°C occurring in the southern coastal region of the Korean East Sea in summer by Ra isotope distribution, Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 27, No. 4, pp. 404-412.
- [13] Yoo, S. G.(2000), Aquaculture in shallow sea, Guduk Press, Pusan, pp. 570-619.
- [14] Yun, J. H.(1993), On the southern limit of the North Korean Cold Water, Proceedings of spring meeting 1993 of the Korean Institute of Navigation and Port Research, pp. 45-51.

---

Received : 2016. 10. 05.

Revised : 2016. 10. 20.

Accepted : 2016. 10. 27.