

## 2013년 7월 동해 남서 해역의 용승

최 용 규  
동해수산연구소

### Upwelling in the southwest region of the East Sea in July, 2013

Yong-kyu CHOI

*East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung 210-861, Korea*

We examined the appearance of cold water in the southwest region of the East Sea, based on the sea surface temperature (SST) at the east coast of Korea and buoy data in Donghae (37°31'N, 130°00'E, 80 km east away from Donghae port) and Pohang (36°21'N, 129°46'E, 35 km east away from Ganggu port) from June to August in 2013. Also, the serial oceanographic data of National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) were used to see the oceanographic conditions for June and August in 2013. The SST anomaly at the east coast showed negative values in 3~6°C from 2 July. At Janggigab, the SST anomaly showed negative value amount to 10°C in 8 July. The negative values of SST anomaly continued to the middle of August at Janggigab. The wind speed was 6~11 m/s and the direction was south-southwestly in 1 July. The wind speed amounts to 6~16 m/s in 2 July. It means that the strong wind induced the upwelling effect by a day. The temperature was lower than normal at the depth in 20 m of the East Sea in June and August. The air pressure was 996~998 hPa in the beginning of July. It was the lowest air pressure during the studied period. The correlation was 0.3 between the SST anomaly and air pressure. It was suggested that the appearance of cold water in the East Sea was influenced by a stirring due to wind and low air pressure as well as coastal upwelling.

Keywords: Upwelling, Sea Surface Temperature (SST), Anomaly, Air pressure

#### 서론

한국 동해 연안은 난류수와 한류수의 상호 작용에 의해서 복잡한 해황을 나타낸다. 동해 연안의 냉수는 북한 한류수의 남하이거나 (Kim and Kim, 1983), 용승에 의한 것이다 (Seung, 1974; Lee, 1983; Lee et al., 1998). 그러나 근래의 연구 결과를 보면, 동해 중부 및 남부 연안을 따라서 발생하는 냉수는 용승에 의한 것으로, 생산성이 높은 수괴가 외양역으로 확산된다

(Seung, 1988; Lee et al., 1998; Yoo and Park 2009). 또한 동해에서 태풍통과로 인해서 용승 혹은 뒤섞임이 발생하여 표층 냉각 (Sea Surface Cooling, SSC)을 일으키기도 한다 (Hong, 2003; Hong and Sohn, 2004).

한편, 연중 용승이 나타나는 지역도 바람의 주기적 변화에 따라 그 강도가 달라지며 (Andrade and Barton, 2005), 열속이나 담수 유입 등과 같은 해양환경적 요인에 의해서 계절 변화나 경년 변화를 보이기도 한다

\*Corresponding author: uniproto@korea.kr, Tel: +82-33-660-8536, Fax: +82-33-661-3923

(Merino, 1997; Sobarzo et al., 2007). 우리나라 동해에서의 용승은 남풍내지 남서풍이 불면 하루 만에 용승 현상이 나타나며 (Lee et al., 1998), 기초 생산력을 높인다 (Yang et al., 1998; Lee et al., 2004; Yoo and Park, 2009). 이처럼 동해 연안에서 발생하는 용승은 강도와 시기에 있어서 계절 변화나 경년 변화를 보이며, 수온이 상승하는 4월부터 9월까지의 기간 동안에 발생한다고 할 수 있다.

연안 용승이 발생하면, 연안 양식 어류의 활력도를 감소시키고, 경우에 따라서는 냉해를 일으켜 양식 어류의 폐사를 발생시키는 부정적인 영향을 초래하기도 한다. 지난 2013년 7월에 포항 연안에서 발생하였던 냉수는 감포에서 영덕까지 연안 양식장에서 양식 어류의 폐사를 일으켜 막대한 경제적 손실을 끼쳤다.

따라서 연안 용승은 해양학적인 측면에서 연구의 대상일 뿐만 아니라, 수산학적인 측면에서도 그 원인에 대한 설명이 필요한 대상으로서 가치가 있다고 생각된다. 본 연구에서는 2013년 7월에 발생하였던 냉수대가 연안 용승과 함께 저기압 통과에 의해서 냉수의 발생이 있었음을 현장 관측 자료를 이용하여 나타내었다.

### 재료 및 방법

2013년 7월에 발생한 동해 남서 해역의 용승의 특성을 보기 위하여, 국립수산과학원에서 관측한 2013년 6월 1일부터 8월 31일까지 동해 연안에 있는 8개의 표면 수온 정지 관측 지점 (속초, 주문진, 동해, 죽변, 강구, 장기갑, 감포, 울기)에서의 표면 수온과 기상청에서 운용하고 있는 동해 (37°31' N, 130°00' E, 동해항 동방 80 km)와 포항 (36°21' N, 129°46' E, 강구항 동방 35 km)의 해양관측부이에서 얻어진 기압과 바람 자료를 분석하였다. 기압과 표면수온 평년편차와의 상관관계를 분석해 보았으며, 해양관측부이에서의 기온과 표면수온과의 차이와 그리고 기압과의 상관 관계도 분석하였다. 또한 구계항 (포항 북방 30 km 연안)에서 수심별로 관측한 수온 자료도 이용하였다 (Fig. 1). 그리고 해황을 보기 위하여 국립수산과학원에서 조사한 2013년 6월과 8월의 동해 정선 해양관측 조사 (Fig. 1 (a))와 6, 7, 8월의 속초, 죽변, 감포 연안의 해양관측 자료를 이용하여 수온 단면도와 평면도를 함께 살펴 보았다 (Fig. 1 (b)).

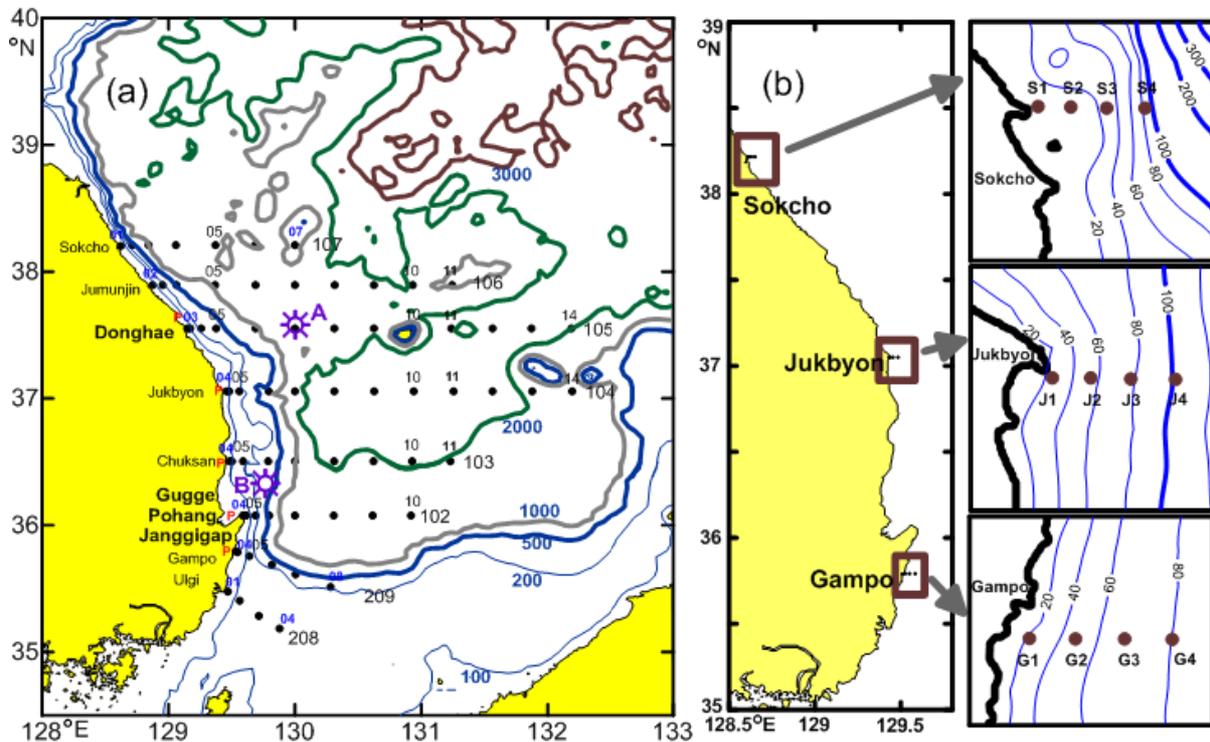


Fig. 1. Station map in the studied area. Stations of serial oceanographic observation (a) and monitoring stations of climate change adaptation (b). Letters A (Donghae) and B (Pohang) denote ocean buoys and contours the depth in meters.

**결 과**

Fig. 2는 동해 연안의 냉수대 발생을 보기 위하여 2013년 6월 1일부터 8월 31일까지 동해 연안의 수온과 평년 편차를 나타낸 것이다. 동해 연안의 수온은 6월에 16°C에서 8월에 23°C까지 상승하였다. 그러나 평년 편차는 7월 1일부터 동해 이남의 전 연안에서 평년보다 낮은 수온을 나타내었다. 특히 7월 10일경에 장기갑과 감포에서의 수온은 평년 보다 7°C 이상 낮았다.

Fig. 3은 동해 연안의 중부와 남부의 정점인 동해와 장기갑의 수온을 나타낸 것이다. 동해에서 7월 1일에 수온이 하강하고 있었으며, 평년보다 2°C 낮았다, 동해에서 7월 2일에는 4°C나 낮았다. 장기갑에서는 동해보다 하루 늦은 7월 2일에 수온이 하강하고 있었으며, 평년보다 6°C 낮았으며, 7월 8일은 장기갑의 수온이 평년보다 10°C나 낮았다.

Fig. 4는 포항 북방 30 km에 위치한 구계에서의 수심 별 수온이다, 구계에서도 포항과 같이 7월 2일부터 수온이 하강하였다. 7월 2일에 표층과 10 m 수심에서 수온의 하강이 뚜렷하였으며, 40 m 수심에서의 수온 하강은 없었다.

Fig. 5는 속초, 죽변, 감포 연안에서 6, 7, 8월에 관측 하였던 수온 단면도이다. 죽변의 7월 수온 단면도는 삼척 연안에서 조사된 것이다. 7월 삼척과 죽변의 표층 수온은 각각 17°C와 11°C였다. 이것은 6월 속초의 표층 수온 18°C와 죽변의 표층 수온 17°C보다도 각각 1°C 및 6°C나 낮았다. 그러나 감포의 7월의 표층 수온은 21°C로 6월의 표층 수온 20°C 보다 1°C 높았다. 감포에서 8월의 표층 수온은 19°C로 6월 보다 1°C, 7월보다 2°C 낮았다. 즉, 동해 중부 연안(속초, 동해, 삼척, 죽변)의 냉수대 발생이 동해 남부 연안(장기갑, 감포, 울기 등)의 냉수대 발생보다도 그 발생 시기가 빨랐다.

Fig. 6은 동해 근해역의 수온 분포를 보기 위하여 국립수산과학원에서 정선 관측 조사로 수행한 2013년 6월과 8월의 죽변 지선인 정선 104의 수온 단면도와 평년 편차를 나타낸 것이다. 6월 연안역에서 평년 편차는 100 m 수심 이천에서 평년보다 8°C 낮았으며, 연안역의 표층에서도 평년보다 3°C 이상 낮았다. 연안역의 표층과 100 m 수심에서 평년보다 수온이 낮은 현상은 8월에도 지속되었으며, 특히 8월에는 외양역의 표층까지도 평년보다 수온이 낮았다.

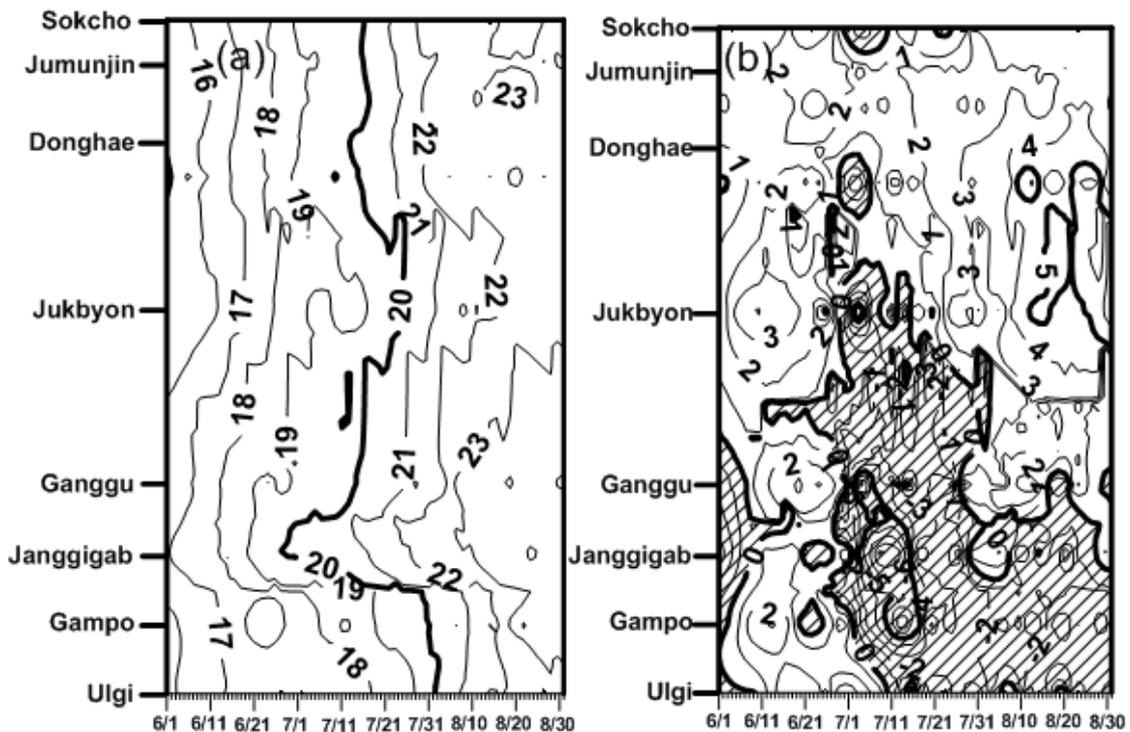


Fig. 2. Two-way layout of daily sea surface temperature (a) and its anomaly (b) at the east coast of Korea from June 1 to August 31, 2013.

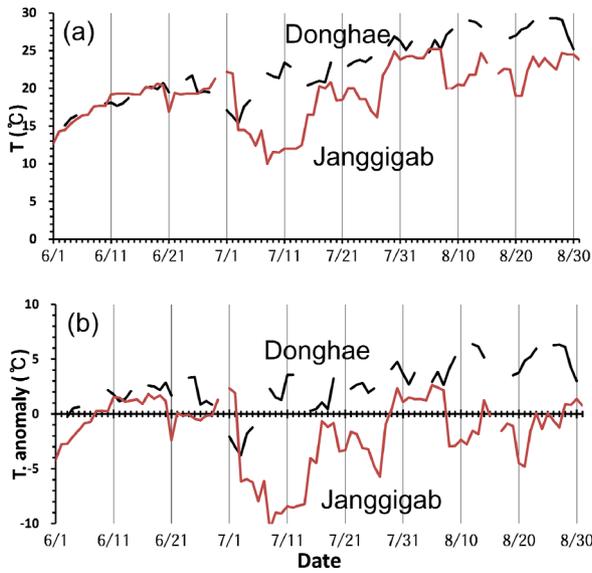


Fig. 3. Daily variations of sea surface temperature (a) and its anomaly (b) at Donghae and Janggigab from June 1 to August 31, 2013.

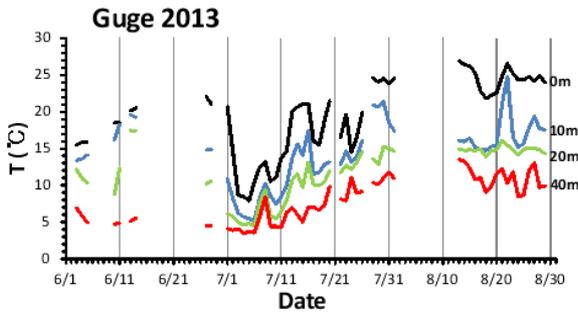


Fig. 4. Daily variations of temperature in each depth at Guge from June 1 to August 31, 2013.

Fig. 7은 표층하의 수온 분포를 보기 위하여 20 m 중심의 수온 평면 분포도를 나타낸 것이다. 연안역에서 6월에 수온은 10℃ 이하였으며, 평년보다 현저히 낮은 수온 분포를 나타내었다. 8월에 연안역의 수온은 15℃ 이하였으며, 동해 전 해역이 평년보다 낮았다.

Fig. 8은 냉수대의 발생이 얼마동안 지속되었는가를 보기 위하여 동해와 포항의 외해역에 설치된 기상청 해양관측부이에서 얻어진 수온과 기온을 나타낸 것이다. 동해와 포항의 해양관측부이에서는 7월 1일부터 기온과 수온이 동시에 모두 하강하였다, 그리고 수온 상승기인 여름철에 다시 7월 1일의 수온으로 되돌아오는 시간을 보면, 동해의 경우 7월 21일경에 7월 1일에 보였던 수온 22℃가 되었으며, 포항의 경우 7월 21일에 수

온 상승이 잠깐 있었으나, 7월 31일이 되어서 7월 1일에 보였던 수온 22℃가 되었다. 즉, 포항에서의 냉수대 발생이 동해보다 더 오래 지속되었다.

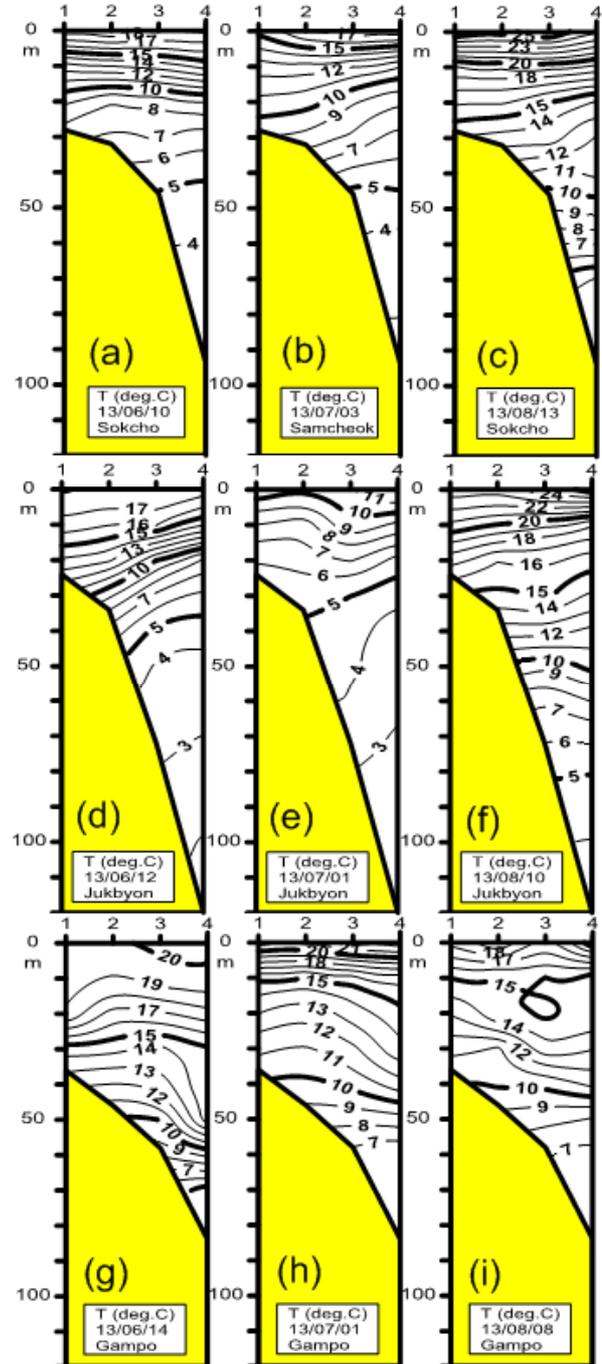


Fig. 5. Vertical distributions of temperature at Sokcho in June (a), July (b), August (c) in 2013, and Jukbyon in June (d), July (e), August (f) in 2013, and Campo in June (g), July (h), August (i) in 2013. Vertical distribution of temperature at Samcheok was used instead of Sokcho in July, 2013.

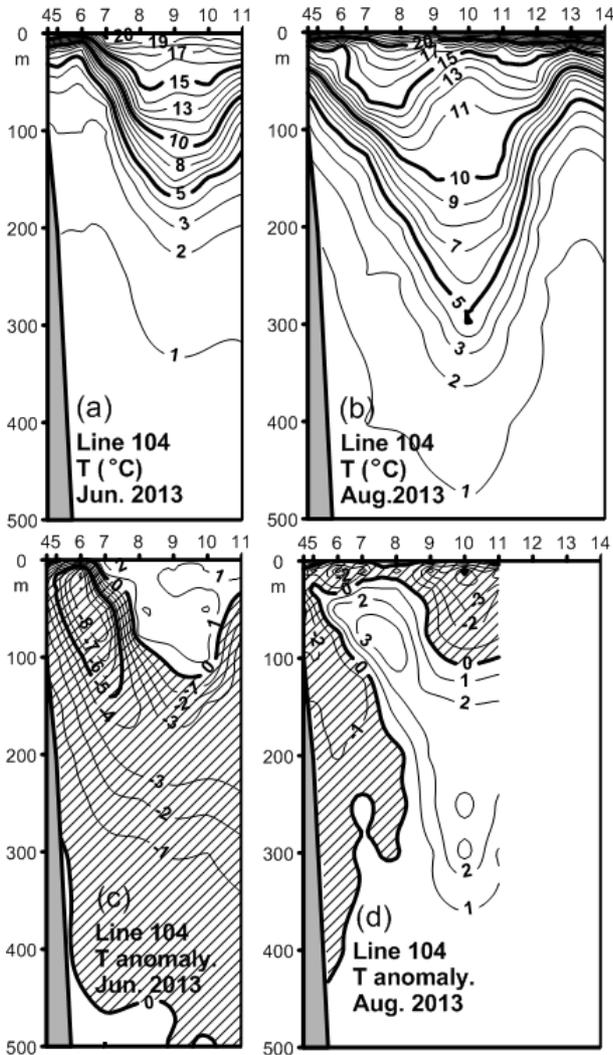


Fig. 6. Vertical distributions of temperature in June (a) and August (b) and temperature anomaly in June (c) and August (d) in 2013.

Fig. 9는 냉수대 발생 시기인 7월 1일을 전후로 바람의 방향과 크기를 쉽게 보기 위하여 동해와 포항의 바람을 방사선 그래프로 나타낸 것이다. 동해에서 6월 30일에 남풍 계열의 바람이 약 6 m/s로 불었으며, 7월 1일에 남풍과 남서풍 계열의 바람이 16 m/s로 불었다. 포항에서는 7월 1일에 남풍과 남서풍 계열의 바람이 12 m/s로 불었으며, 7월 2일에 15 m/s를 나타내었다. 용승에 호조건인 남풍과 남서풍 계열의 바람은 동해에서는 7월 1일부터, 포항에서는 7월 2일부터 나타났다. 이러한 바람은 7월 3일에도 지속되었다.

Fig. 10은 동해와 포항의 해양관측부이에서 얻어진 자료를 가지고 나타낸 용승 지수이다, 용승 지수가 뚜

렷하게 양의 값을 보이는 것은 포항에서 7월 1일부터 7월 31일까지였다, 동해에서는 포항과 같은 뚜렷한 양의 값을 보이지 않았다. 이것은 동해 해양관측부이가 연안으로부터 약 80 km 떨어진 거리이고, 포항은 약 35 km 떨어진 거리여서 연안에 가까운 포항에서의 해양관측부이가 육지의 바람 계열을 더 잘 표현한 것이라 생각된다.

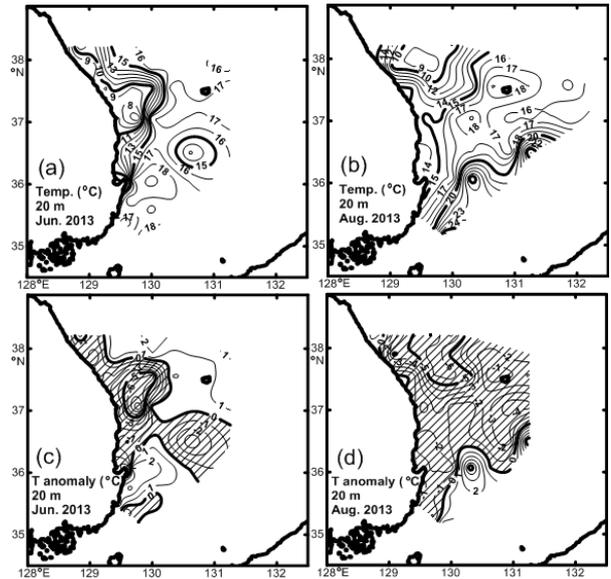


Fig. 7. Horizontal distributions of temperature at 20 m depth in June (a) and August (b) and temperature anomaly in June (c) and August (d) in 2013.

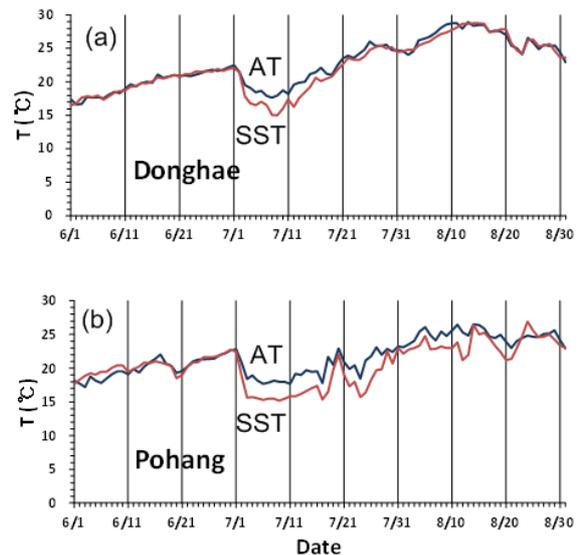


Fig. 8. Daily variations of air temperature and sea surface temperature at Donghae (a) and Pohang (b) from June 1 to August 31, 2013.

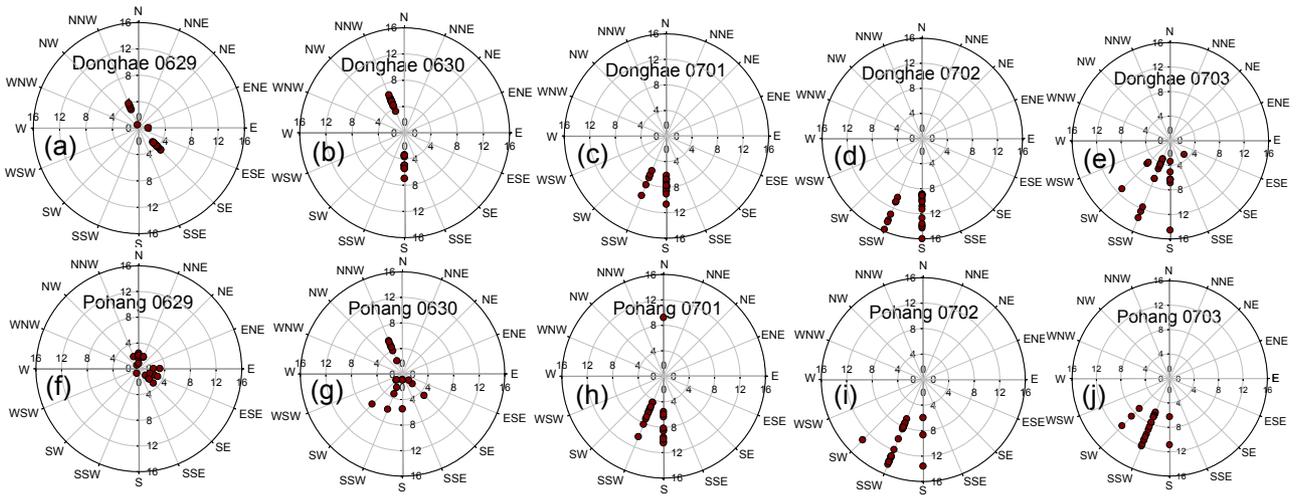


Fig. 9. Radial plots of wind in June 29 (a), June 30 (b), July 1(c), July 2(d) and July 3(e) in Donghae and June 29 (f), June 30 (g), July 1(h), July 2(i) and July 3(j) in Pohang.

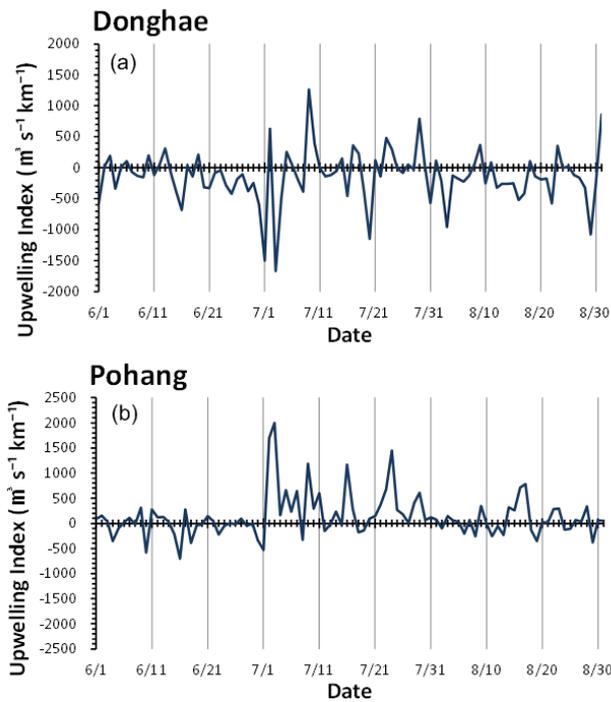


Fig. 10. Daily variations of upwelling index at Donghae (a) and Pohang (b) from June 1 to August 31, 2013.

Fig. 11은 동해와 포항의 해양관측부이 및 부산과 서해 백령도의 기상대에서 얻어진 기압을 각각 나타낸 것이다. 7월 2일 동해의 기압은 996 hPa, 포항은 998 hPa 이었다, 그리고 백령도의 기압은 7월 2일에 996 hPa, 부산은 7월 3일에 1001 hPa로 낮아졌다. 즉, 동해 연안

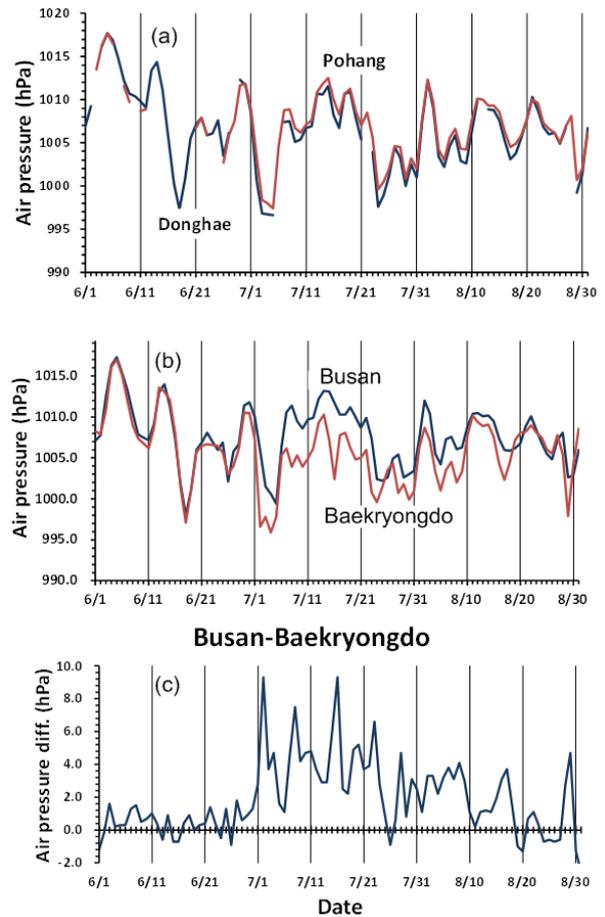


Fig. 11. Daily variations of air pressure in Pohang and Donghae (a), air pressure in Busan and Baekryongdo (b) and air pressure difference between Busan and Baekryongdo (c) from June 1 to August 31, 2013.

에 냉수대가 발생했을 시기에 여름철의 한반도를 지나 는 태풍과 유사한 저기압을 나타내었다. 그리고 7월 2 일부터 8월 20일까지 부산과 백령도의 기압차는 두드 러졌다. 이것은 남서풍을 보이는 지균풍의 효과가 있었 음을 시사하고 있다.

Fig. 12는 부산과 백령도의 기압차와 동해와 포항의 기온과 표층 수온과의 차이와의 상관관, 그리고 부산과

백령도의 기압차와 동해와 장기갑에서의 표층 수온의 편차를 각각 나타낸 것이다. 기압차와 기온과 수온 차 이와의 상관은 약 0.4이었으며, 기압차와 표층 수온 편 차와는 약 -0.3이었다. 즉, 기압차와 기온과 수온 차이 는 양의 상관관을 보였고, 기압차와 표층 수온 편차와는 음의 상관관을 나타내었다.

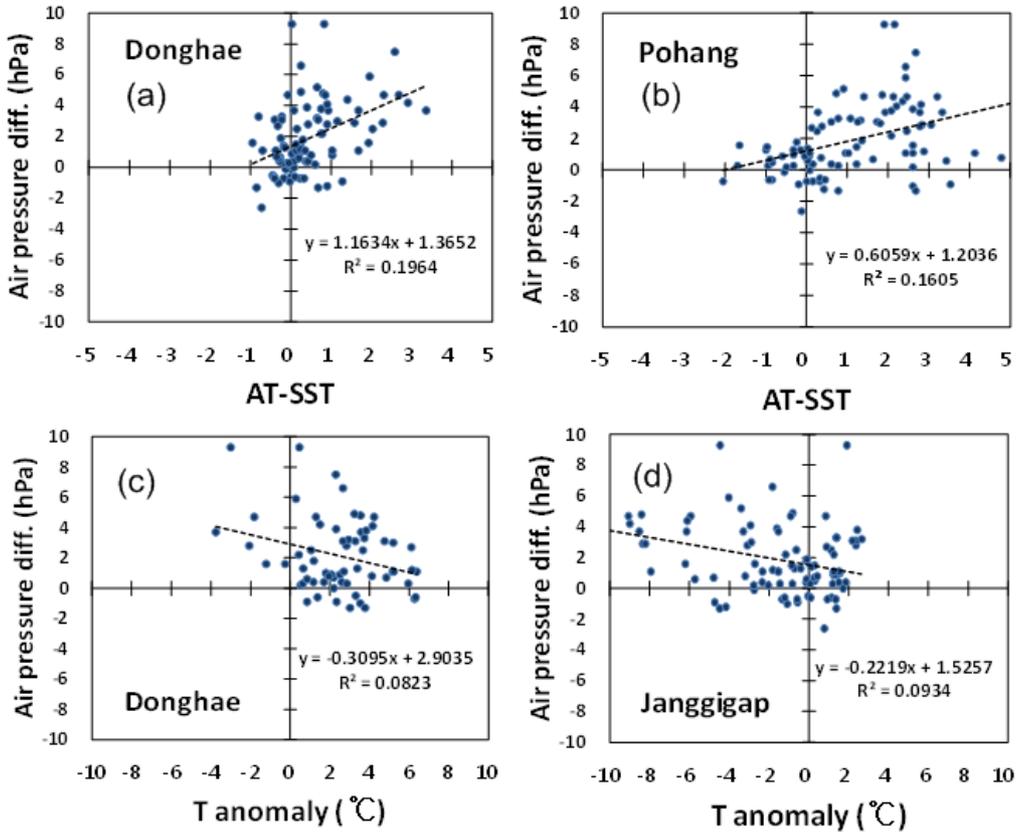


Fig. 12. Relation between air pressure difference and air temperature minus sea surface temperature at Donghae (a) and Pohang (b), air pressure difference and temperature anomaly at Donghae (c) and Janggigap (d).

### 고 찰

동해 연안은 매년 수온이 상승하는 봄부터 여름까지 의 시기에 남서풍 계열의 바람이 불면서 동해 연안에 용승을 일으킨다 (Lee, 1983; Lee and Na, 1985; Byun, 1989; Lee et al., 1998). 동해 연안에서 2013년 7월에 발생한 냉수는 동해에서부터 울기까지 동해 전 연안에 서 나타났다 (Fig. 2). 이러한 냉수는 동해 중부 해역 (동해, 죽변)에서는 7월 중순까지, 그리고 동해 남부 해 역 (장기갑, 감포, 울기)에서는 7월 하순까지 지속되었

다 (Fig. 6~8). 동해 남부 연안의 용승은 남풍 혹은 남 서풍 계열의 바람이 우세할 때 나타나며 (Lee, 1983; Lee et al., 1998), 냉수의 중심부는 해류가 연안에서 분 리되는 해역이며, 이렇게 발생된 냉수는 연안역에서 외 양으로 공급되어 확산된다 (Seung 1988). 본 연구에서 도 남서풍의 바람이 우세했던 (Fig. 8), 7월 1일에 동해 에서, 7월 2일에 장기갑에서 냉수가 발생하였다 (Fig. 3, Fig. 8).

특히 장기갑의 표층 수온은 평년보다 10℃나 낮았으

며 동해보다 하루 늦게 수온이 하강하였다 (Fig. 3 (b)). 또한 해양관측부이에서 관측된 바람을 보면, 동해는 6월 30일부터 남풍 계열의 바람이 불었으나 (Fig. 9 (b)), 포항은 7월 1일부터 남풍 계열의 바람이 불었다 (Fig. 9 (h)). 이것은 냉수대가 동해 연안의 중부 해역 (동해, 삼척, 죽변)이 남부 해역 (영덕, 장기갑, 감포)보다 하루 빠른 시기에 용승이 발생하였음을 나타낸다. 또한 연안이나 근해역의 표층에서 수온의 하강은 수심 20-40 m 이심의 수온보다 급격한 하강을 보였으며 (Fig. 4), 수심 40 m 이심에서는 중부 해역이나 남부 해역에서 수온의 변화가 거의 없었다 (Fig. 5). 그리고 정선 관측에서 얻어진 자료는 연안역과 표층에서의 수온은 평년보다 5°C 이상 낮았으며 (Fig. 6), 평년보다 낮은 수온은 동해의 전체 근해역에서 나타났다 (Fig. 7). 냉수대가 나타났던 7월 2-3일의 기압은 996-998 hPa이었다 (Fig. 11 (a)). 이것은 2013년 한반도에 영향을 주었던 태풍의 기압과 비교해 보면, 4호 태풍 리피 (LEEPI)는 6월 18일 영덕에서 994.8 hPa로 최대 풍속 7.7 m/s이었으며, 15호 태풍 콩레이 (KOMGREY)는 8월 29일 여수에서 1000.8 hPa로 최대 풍속 11.2 m/s이었고, 24호 태풍 다나스 (DANAS)는 10월 8일 영덕에서 1007.9 hPa로 최대 풍속 14.6 m/s였다 (KMA, 2013). Hong (2003)은 태풍 통과시에 표층 수온이 7°C나 낮아지는 연안 용승 현상을 모델로 재현하였고, 또한 Hong and Sohn (2004)은 태풍 통과시에 연직 혼합 효과에 의해서 표층 수온이 2°C 이상 낮아지는 표층 냉각 (Sea Surface Cooling, SSC)이 발생한다고 하였다. 이러한 변동을 Kim et al (2007)은 인공위성 영상을 통해서 수온이 1-4°C 하강하는 표층 냉각 (SSC)을 연직 혼합 효과라고 설명하였다. 그리고 Hong (2008)은 태풍 통과시에 수백 km의 직경을 가진 저기압성 와류 (cyclonic eddy)가 표층 수온 냉각 (SSC)에 주요한 역할을 한다고 하였다.

이러한 사실들은 2013년 7월에 발생하였던 동해 연안에서의 용승이 바람과 더불어 저기압의 발생으로 용승의 세력이 한층 더 강화 되었음을 시사하고 있다. 즉, 평년보다도 수온 약층이 얇게 분포하였고, 바람도 16.0 m/s에 달하였으며 (Fig. 9 (d), (i)), 또한 저기압의 발생 (Fig. 11 (a))으로 동해 연안 및 근해역에서 용승 혹은 뒤섞임 (stirring)이 발생하였음을 시사하고 있다. 지균풍의 효과를 보기 위해서 부산과 백령도의 기압차도 용승이 발생하였던 7월 1일부터 기압차가 나타나기 시작

하여 동해 남부 해역에서 용승이 거의 끝나는 8월 중순까지 부산과 백령도의 기압차가 나타났다 (Fig. 11 (b), (c)). 이러한 기압차와 동해 및 포항에서 해양관측부이에서 관측된 기온과 수온차와의 관계는 상관이 0.4 이상으로 양호한 양의 상관을 보였다 (Fig. 12 (a), (b)). 또한 기압차와 동해 및 장기갑의 연안 수온 편차와는 음의 상관 관계를 보이고 있다 (Fig. 12 (c), (d)). 이것은 부산과 백령도의 기압차가 클수록 수온이 평년보다 낮다는 것을 시사하고 있다. 이와 같이 부산과 백령도의 기압차가 동해 연안의 용승 현상과도 관계가 있음을 보이고 있으나, 이것에 대해서는 추후 깊은 연구가 필요하다고 사료된다. 그리고 동해 연안에서 발생하는 용승의 경년 변화를 장기간의 열속이나 담수의 유입등과 관련하여 살펴보는 것도 향후의 연구 과제이다.

## 결론

동해 연안에서 용승에 의한 냉수의 출현은 연안 양식장에 냉해를 가져와 막대한 피해를 초래하기도 한다.

2013년 여름의 동해 연안에서 용승에 의한 냉수대 발생을 보기 위하여, 국립수산물과학원의 연안 정지 관측 자료 및 정선 조사 자료와 기상청의 동해 및 강구의 해양관측부이 자료를 함께 분석하여 살펴 보았다. 2013년 7월 2일부터 동해, 죽변, 강구, 장기갑, 감포에서 동시에 평년보다 3~8°C 낮은 표면 수온을 보였으며, 7월 8일 장기갑에서는 표면 수온이 평년보다 10°C 낮았다. 장기갑에서 평년보다 낮은 수온은 8월 중순까지 지속되었다. 그리고 구계 (포항 북방 30 km 연안)에서 수심 별로 관측된 수온은 7월 초에 표층~20 m 수심까지 수온이 낮아졌으나, 20 m 이심의 수층에서는 수온 변화가 거의 없었다.

해양관측부이에서 관측된 바람은 7월 1일부터 남풍~남서풍의 바람이 6~11 m/s로 불었으며, 7월 2일은 6~16 m/s에 이르는 바람이 불었다. 즉, 강한 바람에 의해서 하루만에 용승 효과가 나타난 것으로 보여진다, 6월과 8월의 동해 근해역은 20 m 수심에서 거의 전 해역이 평년보다 낮은 수온을 보였다, 죽변 연안의 7월은 6월보다 표층~20 m 수심의 수온이 6°C 낮았다, 7월 3~5일의 대기압은 996~998 hPa로 조사 기간 동안 가장 낮았으며, 기압과 표층 수온 편차와의 상관계수는 약 0.3이었다.

2013년 7월에 동해 연안 및 근해역에 나타난 표층 냉수는 연안 용승과 더불어 수온약층이 얇게 분포함에 따라서 근해에서 바람과 저기압에 의해서 표층수와 저층수의 뒤섞임 (stirring)이 함께 나타났던 것으로 보여진다.

### 감사의 글

본 연구는 냉수대 발생해역의 생태환경 변동 연구 (14-OE-28) 및 동해 연안어업 및 환경생태 조사 (14-FE-02)의 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

- Andrade CA and Barton ED. 2005. The Guajira upwelling system. *Continent Shelf Res* 25, 1003-1022.
- Byun SK. 1989. Sea Surface Cold Water near the Southeastern East of Korea: Wind Effect. *J Oceanol Soc Kor* 24(3), 121-131.
- Hong CH and Sohn IS. 2004. Sea Surface Cooling in the East Sea with the Passage of Typhoons. *J Kor Fish Soc* 37(2), 137-147.
- Hong CH. 2003. A Three-Dimensional Numerical Study of Coastal Upwelling in the Northern Japanese Coastal region with the Passage of Typhoon Oliwa. *J Kor Fish Soc* 36(6), 723-734.
- Hong CH. 2008. A Numerical Study of Sea Surface Cooling with the Passage of Typhoon Abby in the Northwestern Pacific. *J Kor Fish Soc* 41(6), 518-524.
- Kim CH and Kim K. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J Oceanol Soc Kor* 26(1), 83-100.
- Kim SW, Yamada K, Jang LH, Hong CH, Go WJ, Suh YS, Lee C and Lee GH. 2007. Short-term variation of Sea Surface Temperature Caused by Typhoon Nabi in the Eastern Sea of Korean Peninsula Derived from Satellite. *J Kor Fish Soc* 40(2), 102-107.
- Korea Meteorological Administration. 2013. Annual Climatological Report. Seoul, Korea p.14.
- Lee CR, Park C and Moon CH. 2004. Appearance of Cold Water and Distribution of Zooplankton off Ulsan-Gampo area, Eastern Coastal Area of Korea. 「The Sea」 *J Kor Soc Oceanogr* 9(2), 51-63.
- Lee DK, Kwon JI and Hahn SB. 1998. The Wind Effect on the Cold Water Formation Near Gampo-Ulgi Coast. *J Kor Fish Soc* 31(3), 359-371.
- Lee JC and Na JY. 1985. Structure of Upwelling off the Southeast Coast of Korea. *J Oceanol Soc Kor* 20(3), 6-19.
- Lee JC. 1983. Variation of Sea Level and Sea Surface Temperature Associated with Wind-Induced Upwelling in the Southeast Coast of Korea in Summer. *J Oceanol Soc Kor* 18(2), 149-160.
- Merino M. 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *J Mar Syst* 13, 101-121.
- Seung YH. 1974. A Dynamic Consideration on the Temperature Distribution in the East Coast of Korea in August. *J Oceanol Soc Kor* 9(1-2), 52-58.
- Seung YH. 1988. An Advection-Diffusion Model for the Distribution of Surface Cold Water near Ulgi (Ulsan), SE Korea. *J Oceanol Soc Kor* 23(1), 13-23.
- Sobarzo M, Bravo L, Donoso D, Garcés-Vargas J and Schneider W. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence that water column over the continental shelf off central Chile. *Progr Oceanogr* 75, 363-382.
- Yang HS, Oh SJ, Lee HP and Moon CH. 1998. Distribution of Particulate Organic Matter in the Gampo Upwelling Area of the Southwestern East Sea. *J Kor Soc Oceanogr* 33(4), 157-167.
- Yoo S and Park J. 2009. Why is the southwest the most productive region of the East Sea/Sea of Japan. *J Mar Syst* 78, 301-315.

---

2015. 5. 04 Received

2015. 5. 26 Revised

2015. 5. 31 Accepted