

## 한파에 따른 표층수온의 지연시간 고찰

- 서해, 남해 -

김주연\* · 박명희\*\*† · 이준수\*\*\* · 안지숙\*\* · 한인성\*\*\*\* · 권미옥\*\* · 송지영\*\*

\*, \*\* 국립수산물과학원 기후변화연구과 연구원, \*\*\* 국립수산물과학원 기후변화연구과 해양수산연구사  
\*\*\*\* 국립수산물과학원 기후변화연구과 해양수산연구관Consideration of Time Lag of Sea Surface Temperature  
due to Extreme Cold Wave

- West Sea, South Sea -

Ju-Yeon Kim\* · Myung-Hee Park\*\*† · Joon-Soo Lee\*\*\* · Ji-Suk Ahn\*\* · In-Seong Han\*\*\*\* ·  
Mi-Ok Kwon\*\* · Ji-Yeong Song\*\*

\*, \*\* Researcher, Oceanic Climate of Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea

\*\*\* Senior Researcher, Oceanic Climate of Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea

\*\*\*\* Principal Researcher, Oceanic Climate of Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea

**요 약** : 본 연구에서는 강한 한파가 발생했던 2018년과 온난 한파가 발생했던 2019년의 기온에 따른 수온의 반응 및 지연시간과 북풍계열 바람 빈도와의 상관관계를 분석하였다. 사용된 시간 자료는 국립수산물과학원에서 제공하는 7개 지점 해역별 수온자료와 수온관측소 인근 7개 지점 AWS 기온자료를 이용하였다. 관측되지 못한 자료는 내삽법으로 근사값을 계산하였고, FIR Filter를 이용하여 자료의 주기성을 파악하였다. 그 결과, 강한 한파가 발생했던 2018년은 북풍계열 바람을 통해 차가운 공기가 남하하면서 기온을 하강시켜 전 해역에 저수온을 유발한 반면 온난 한파가 발생했던 2019년은 평년 수준의 기온으로 하강하였지만 수온은 크게 변화하지 않았다. 강한 한파가 발생했던 2018년 기온 하강에 따른 수온의 지연시간은 평균 14시간으로 0.7 이상의 높은 상관성을 나타냈고 온난 한파가 발생했던 2019년은 평균 지연시간이 20시간으로 0.44-0.67 사이의 상관성을 보였다. 본 연구를 통해 해역별로 기온 하강에 따른 표층수온의 반응을 해석하였고 지연시간을 파악함으로써 양식생물의 피해를 최소화하고 한파 피해의 신속한 대응에 기여할 수 것으로 기대한다.

**핵심용어** : 강한 한파, 기온, 수온, 바람, 지연 시간

**Abstract** : In this study, we examined the sea surface temperature (SST), air temperature (AT), and their time lag in response to an extreme cold wave in 2018 and a weak cold wave in 2019, cross-correlating these to the northern wind direction frequency. The data used in this study include SST observations of seven ocean buoys Real-time Information System for Aquaculture Environment provided by the National Institute of Fisheries Science and automatic weather station AT near them recorded every hour; null data was interpolated. A finite impulse response filter was used to identify the appropriate data period. In the extreme cold wave in 2018, the seven locations indicated low SST caused by moving cold air through the northern wind direction. A warm cold wave in 2019, the locations showed that the AT data was similar to the normal AT data, but the SST data did not change notably. During the extreme cold wave of 2018, data showed a high correlation coefficient of about 0.7 and a time lag of about 14 hours between AT and SST; during the weak cold wave of 2019, the correlation coefficient was 0.44 - 0.67 and time lag about 20 hours between AT and SST. This research will contribute to rapid response to such climate phenomena while minimizing aquaculture damage.

**Key Words** : Extreme cold wave, Temperature, Sea surface temperature, Wind, Time lag\* First Author : [kjyeon3513@korea.kr](mailto:kjyeon3513@korea.kr), 051-720-2243† Corresponding Author : [goodluck2245@korea.kr](mailto:goodluck2245@korea.kr), 051-720-2242

## 1. 서론

지구 표면의 약 70% 이상을 차지하고 있는 해양은 물의 이동으로 인해 대기의 열과 습기의 순환에 영향을 미치고 지구 기온의 급격한 변화를 방지하는 것뿐만 아니라 기후를 조절하는 역할을 한다. 이러한 해양과 대기는 독립적이지 않고 서로 밀접하게 상호 역학적인 균형을 유지하면서 지구 생태계를 순환시키고 있다. 그러나 최근 지구온난화로 인해 해양과 대기의 불균형을 초래하고 있다.

지구온난화로 인해 따뜻해진 대기 내 이산화탄소의 농도는 증가되었으며, 이는 지구의 기온을 더욱 상승시켰다. 또한 북극의 해빙 감소, 해양 산성화, 해류 변동, 해수면 상승 등 해양생태계에도 부정적인 영향을 주고 있다. 이렇듯 지구온난화로 인해 균형이 깨진 해양과 대기는 폭염이나 한파, 폭우, 가뭄, 태풍 등의 이상기후를 발생시키고 있다. 그 중 하나인 한파(cold wave)는 일반적으로 겨울철 저온의 한랭기단이 위도가 낮은 지방으로 몰아닥쳐 급격한 기온의 하강을 일으키는 것을 말한다. 지구온난화가 심화되면서 기온의 극단적인 현상이 발생되어 강한 한파의 발생빈도가 증가되어(Jeon and Cho, 2015), 겨울철 우리나라 주변 해역 해양생태계에 직접적인 저수온 피해를 주고 있다.

실제로 2010년 12월~2011년 2월 사이 발생한 이상한파는 충남, 전남 및 경남 일원의 양식어장에서 5°C 이하의 저수온 상태가 15일 정도 지속되면서 양식 생물의 대량 폐사가 발생되었으며 130억원의 경제적 피해를 가져왔다(Han et al., 2011). 최근 이상한파가 가장 강했던 2018년 1월~2월에도 우리나라 대부분 해역에서 평년 수온에 비해 2°C 내외 낮은 저수온 경향을 보이면서 서해와 남해의 동계 양식 생물 대량 폐사가 발생하여 약 103억원의 물질적 피해를 가져왔다(Abnormal climate report in 2018). 수온의 급격한 하강은 양식 생물들의 생체지수에 대한 스트레스를 높이고 내분비적 변동을 일으켜 한파에 따른 대량 폐사 가능성을 더욱 높여왔다(Kim et al., 2006; Kang et al., 2007). 이와 같이 한파로 인한 급격한 수온 변화는 해양 생태계에 부정적인 영향을 주어 양식생물의 대량폐사로 이어지고 있다. 겨울철 평년기온 대비 1°C의 변화는 해양 생물들의 성장가능한 수온의 임계값을 벗어나 성장에 악영향을 미칠 수 있고, 수익을 창출하는 수산업에도 경제적 손실을 입힐 수 있기 때문에 저수온 시기를 살피는 것은 상당히 중요하다.

본 연구에서는 최근 한파로 인해 양식 생물의 대량 폐사가 발생되었던 2018년 1월(이하, 강한 한파)과 2019년 1월(이하, 온난 한파)에 겨울철 기온 변화에 따른 표층수온의 변화를 살펴보고 한파에 따른 수온 하강의 지연시간을 고찰하였으며, 이는 향후 급격한 저수온 발생에 대한 양식 생물

의 피해 해역을 최소화 하는데 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 판단된다.

## 2. 자료 및 방법

겨울철 한파에 따른 저수온의 변화를 조사하기 위해 국립수산물과학원에서 운용하고 있는 실시간 수온 관측 시스템(Real-time Information System for Aquaculture Environment, 이하 RISA)에서 관측되는 수온자료(www.nifs.go.kr/risa)와 기상청에서 운용하고 있는 자동기상관측장비(Automatic Weather System, 이하 AWS)에서 관측되는 기온자료(https://data.kma.go.kr)를 이용하였다.

분석지점은 국립수산물과학원에서 제공한 저수온 속보 내 저수온 해역을 파악하여 주로 저수온이 발생하는 서해역 5개 지점과 남해역 2개 지점으로 선정하였다. 분석기간은 최근 기록적인 이상한파가 발생했던 2018년 1월 15일~1월 27일을 기준으로 같은 기간 동안 겨울철 한파가 발생했던 2019년에 대하여 시간자료를 비교 분석 하였다. Fig. 1은 RISA(○)와 AWS(☆)의 관측지점을 지도상에 표시하였으며 Table 1은 RISA와 AWS에서 부여한 코드(code)와 AWS 지점별 해발고도(Height above sea level, S.L)를 제시하였다. 수온 자료는 서해역 중 5개 지점인 서산지곡(sj086), 서산창리(fsch6), 보령효자도(br001), 목포(emp67), 해남임하(fjh5a)와 남해역 중 2개 지점인 남해강진(eng5c), 여수신월(km001)의 RISA 부이자료를 사용하였다. 기온자료는 수온 관측지점에서 가장 인접한 곳에 위치한 AWS를 선택하여 자료로 활용하였다. 서해지역에서는 대산(606), 홍성죽도(610), 대천항(657), 압해도(789), 수유(772), 남해지역에서는 삼천포(907), 돌산(786) 지점을 선택하고 AWS 자료를 이용하였다. 수온자료는 해양환경 특성상 기상재해나 수온센서 고장, 통신망 불량 등의 각 지점별로 자료의 결측이 있어 내삽법(interpolation)을 이용하여 임의의 근사값을 계산하였고 자료의 공란을 보완(filling)하였다. 기온 하강에 따른 수온의 변동성을 분석하기 위해 불필요한 기온의 일교차와 수온의 조석간만 차의 주기 성분을 유한 임펄스 응답(Finite Impulse Response, FIR) 필터로 제거하였으며 저역 통과 필터(Low Pass Filter, LPF)를 통해 자료의 적절한 주기성을 파악하였다(Kim and Han, 2017). 필터링 된 기온과 수온의 시간 자료를 통해 각 해역별로 한파 발생 시 기온과 수온의 변동성을 살펴보고 한파의 원인이 되는 북풍계열 바람의 크기 및 빈도를 분석하였다. 또한 기온과 수온의 반응을 상호상관분석(Cross Correlation Analysis)을 통해 알아보았으며 2018년과 2019년 해역별로 상이한 지연시간(Time lag)를 분석하였다.

Table 1. Detailed description of RISA and AWS

RISA	code	AWS	code	S.L
SEOSANJIGOK	sj086	DAESAN	606	23
SEOSANCHANGRI	fsch6	HONGSEONG JUKDO	610	17
BORYUNGHYOJA	br001	DAECHEONHANG	657	32
MOKPO	emp67	APHAEDO	789	9
HAENAMIMHA	fjh5a	SUYU	772	1
NAMHAEKANGkiJIN	eng5c	SAMCHEONPO	907	29
YEOSOOSINWOL	km001	DOLSAN	786	10

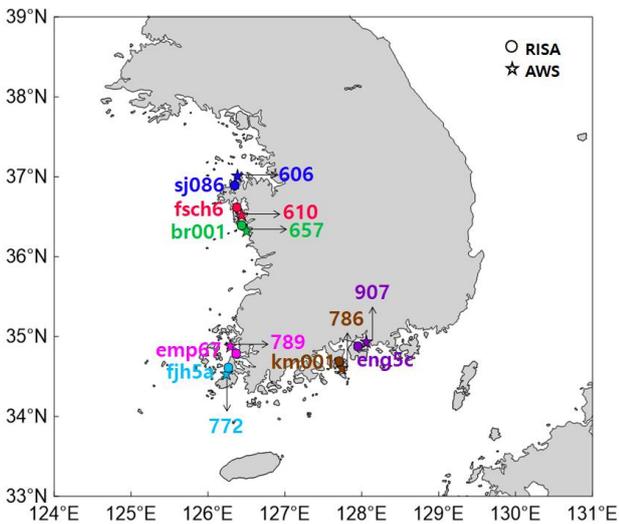


Fig. 1. Location of RISA(○) and AWS(☆).

### 3. 분석 결과

#### 3.1 한파 원인 및 수온 영향

강한 한파가 발생했던 2018년과 온난 한파가 발생한 2019년의 기온하강에 따른 기상상태를 분석하기 위해 1월 15일 ~ 1월 27일 동안의 전국 일평균기온을 분석하였다. Fig. 2는 분석기간 동안 2018년과 2019년의 전국 일평균기온 및 최근 30년(1981년~2010년)간의 평년기온에 대한 시계열 그래프이다. 일평균 및 평년 기온 자료는 1973년 이후 연속적으로 관측 자료가 존재하는 기상청 AWS 전국 지점 중 45개 지점 값을 사용하였다(KMA, 2019).

2018년 1월은 1973년 관측 이래 두 번째로 낮은 기온을 기록하면서 기온이 큰 폭으로 떨어져 추운 날이 지속되었다. 북극온난화와 관련된 이상한파로 인해 우랄산맥과 베링해에 상층기압능이 형성되어 북극의 찬 공기가 우리나라 부근까지 유입되면서 기온이 큰 폭으로 떨어져 한파를 발생시켰

다(Abnormal climate report in 2018). 강한 한파 시기였던 1월 15일~1월 27일 사이 전국적으로 평균기온  $-1.6^{\circ}\text{C}$ 로 평년기온  $-1.2^{\circ}\text{C}$  대비  $0.4^{\circ}\text{C}$  더 낮았으며 기온분포는  $-10.3^{\circ}\text{C} \sim +4.4^{\circ}\text{C}$ 를 보였다. 특히 1월23일 이후 급격히 기온이 하강하여 강한 한파가 지속되었다. 같은 기간 동안 2019년 기상상태는 약 10 km 상공의 제트기류가 북쪽 찬 공기의 남하를 저지하면서 대륙고기압의 세력이 평년보다 약하였고 서해상의 해기차(해수면과 대기의 온도차)에 의한 눈구름대의 생성을 약화시켜 지상 저기압도 강하게 발생시키지 못하였다(Abnormal climate report in 2019). 기온은 상대적으로 따뜻한 서풍~남서풍의 유입으로 인해 평균기온이 영상  $0.6^{\circ}\text{C}$ 로 평년기온  $-1.2^{\circ}\text{C}$  대비  $1.8^{\circ}\text{C}$  높게 나타났으며 기온 분포도  $-3.2^{\circ}\text{C} \sim +3.1^{\circ}\text{C}$ 로 기온 변동 폭이 크지 않았다.

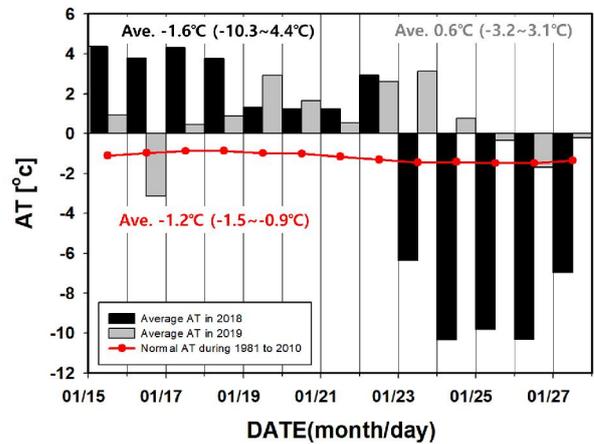


Fig. 2. Time series of average Air Temperature (AT) in 2018 and 2019 and normal AT during 30 years from 1981 to 2010.

Fig. 3과 Fig. 4는 분석기간 동안 기온과 수온의 공간분포를 나타낸다. 2018년은 전국적으로 대부분  $0^{\circ}\text{C}$  이하의 기온 분포를 보였고 지형적 특성상 중부지방과 남부지방의 기온차가  $4^{\circ}\text{C}$  이상 차이가 났으며 기온 평년편차는 전국적으로  $0.4^{\circ}\text{C}$  더 낮아졌다. 2018년은 분석기간 동안 평년기온보다 대부분 더 낮은 영하권의 기온이 나타나면서 강한 한파를 발생시켰다. 서해와 남해 인근 연안역 주변으로  $5^{\circ}\text{C}$  이하의 낮은 수온분포를 나타냈으며 수온 평년편차도  $0.5^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$  더 낮아져 저수온을 발생시켰다. 반면 2019년은  $0^{\circ}\text{C}$  기온선이 남부지방(영산권)과 중부지방(영하권) 경계 지점에 있었으며 기온 평년편차는 전국적으로  $1.0^{\circ}\text{C}$  이상으로 한파 기간 중 기온이 상승하면서 온난 한파를 발생시켰다. 분석기간 동안 2019년 수온은 서해연안역이  $5^{\circ}\text{C}$  이하로 동해연안역에 비해 약  $7^{\circ}\text{C}$  이상 수온이 낮았으며, 남해연안역은  $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$  정도의 수온 분포를 보였다. 수온의 평년편차 공간분포를 보면 평년과 유사한 수온 분포를 보였다.

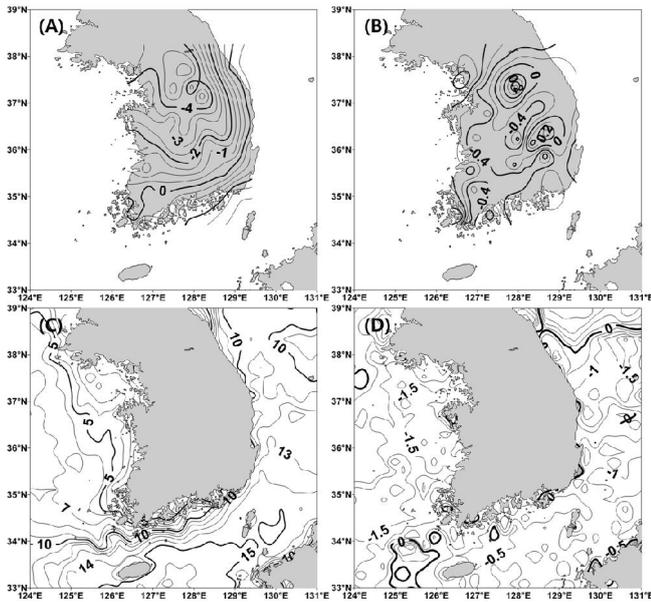


Fig. 3. 15th to 27th on January, 2018 (A) Air Temperature(AT), (B) AT anomaly, (C) Sea Surface Temperature(SST), (D) SST anomaly.

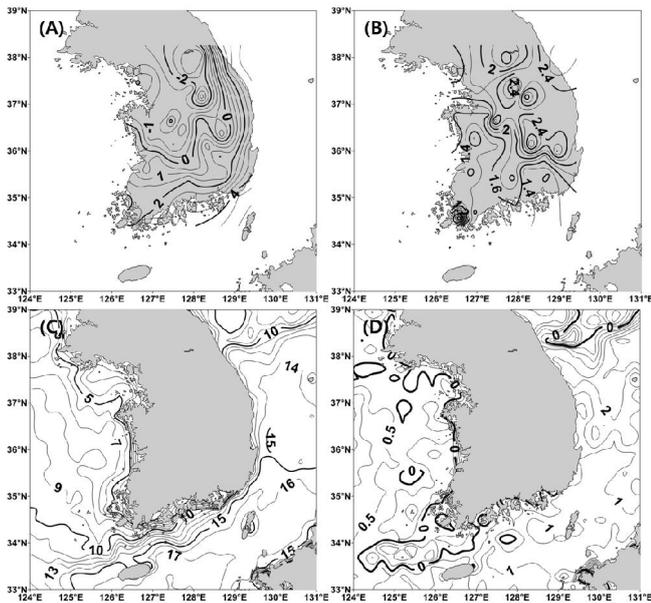


Fig. 4. Same as Fig. 3 but for 2019.

### 3.2 한파 발생 시기의 바람분석

우리나라 겨울철에 주로 부는 바람은 차갑고 건조한 시베리아 기단이 북서풍을 타고 찬 공기가 유입되어 우리나라 겨울철 한파에 영향을 준다. 본 연구에서는 한파의 주 원인 중 하나인 북풍계열의 바람을 분류하고 각 해역별로 기온과 수온의 차이를 분석하였다. 북풍계열의 바람 분류는 기상청

에서 기본으로 제공하는 16 방위각 기준에 맞춰 풍향 범위를 정하였다. 풍향 분석 범위는 지상풍의 마찰로 인한 오차를 고려하여 북풍이 포함된 모든 방향을 포함한 서북서에서 동북동(281.25°~78.75°)으로 정하였다.

Table 2와 Table 3은 AWS에서 관측된 분석지점별 북풍계열바람에서의 풍속 계급별 출현 빈도를 나타낸 표이다. 풍속 계급의 기준은 기상청에서 일반적으로 사용하는 계급으로 분석되었다. 7개 관측지점에서 분석기간 동안 각 방위별 풍향 출현 빈도를 백분율(%)로 나타냈으며 풍속 0.4 m/s 이하 일 때는 고요(calm)로 출현빈도에는 포함시키지 않았다.

Table 2. Frequency by wind speed level in northern wind direction in 2018 [%]

WS(m/s)	606	610	657	789	772	907	786
~0.4	0.3	0.3	0.3	12.2	1.0	5.8	1.6
0.5~3.3	54.9	23.4	31.4	42.3	13.7	40.0	44.0
3.4~7.9	29.8	30.4	41.0	28.2	38.2	18.2	35.5
8.0~13.8	0.6	17.7	4.5	2.9	23.0	0.0	4.8
13.9~	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
Total	85.3	71.5	76.9	73.4	75.5	58.2	84.3

Table 3. Same as Table 2 but for 2019 [%]

WS(m/s)	606	610	657	789	772	907	786
~0.4	0.6	5.8	29.2	0.0	0.6	6.1	0.6
0.5~3.3	36.8	12.2	18.2	35.3	8.9	28.4	26.6
3.4~7.9	37.5	33.0	29.9	43.0	45.1	1.5	59.3
8.0~13.8	0.6	7.9	2.2	4.7	25.7	0.0	1.9
13.9~	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	74.9	53.1	50.3	83.0	79.7	29.9	87.8

대산(606)에서 2018년 북풍계열바람은 분석기간 중 약 85% 정도 불었고 그 중 0.5~3.3 m/s 사이의 바람이 55%를 차지하였다. 2019년 북풍계열바람은 0.5~7.9 m/s 범위 내에서 약 75% 빈도를 보였다. 홍성죽도(610)와 대천항(657)은 북풍계열바람의 풍속범위가 3.4~7.9 m/s에서 빈도가 높게 나타났으며 북풍계열바람의 빈도도 비슷하게 출현되었다. 압해도(789)는 2018년에 0.5~3.3 m/s 범위가 주 출현빈도로 나타났고 2019년은 3.4~13.8 m/s 범위 내에서 50% 정도의 북풍계열바람이 불었다. 수유(772)는 2018년과 2019년에 풍속 범위 3.4 m/s 이상 북풍 계열의 강한 바람이 분석기간 동안 각각 61.8%, 70.8%로 강한 바람이 불었다. 삼천포(907)는 2018년 분석지점 중 가장 낮은 북풍계열바람의 빈도 58%를 보였으며, 2019년도 역시 약 30%의 낮은 빈도가 출현하였고 0.5~3.3 m/s 사이

에서 주로 북풍계열 바람이 불었다. 돌산(786)은 남해역임에도 북풍계열바람의 풍속이 삼천포(907) 지점보다 출현빈도가 높았으며 2018년보다 2019년 분석기간 동안 3.4~7.9 m/s 사이의 풍속 출현빈도가 높아 평균 4.4 m/s로 강한 바람이 불었다.

Table 4는 분석기간 동안 AWS에서 관측된 분석지점별 기온, 수온, 풍속의 평균값을 나타내고 Table 5는 분석기간 동안 북풍계열 바람이 불었을 때의 기온, 수온, 풍속에 따른 평균값을 나타낸다. 2018년 분석기간 동안의 평균 기온은 서해역 대부분에서 영하권이었고, 남해역은 약 2.0°C 정도의 기온을 보였다. 평균수온은 서산지점(sj086)이 가장 낮은 2.4°C를 보였고, 7개 분석지점 평균수온은 4.6°C 정도로 나타났다. 2018년 분석기간 동안 평균 수온과 평균 풍속은 북풍계열 바람이 불었을 때와 유사한 평균 수치를 보였으나 평균 기온은 북풍계열 바람일 때 약 1°C 정도 더 낮은 평균값을 나타냈다. 서해지역에서는 수유(772)가 5.4 m/s로 강하게 불었으며, 압해도(789)는 2.9 m/s로 근처 해역이라도 지형적·환경적 영향으로 최대 약 2배의 풍속 차이를 보였다. 남해지역인 돌산(786)은 3.5 m/s의 바람이 불었으며 삼천포(907)는 2.8 m/s 정도로 압해도(789)와 비슷한 바람세기를 보였다. 북풍계열의 바람에서의 풍속은 서해지역에서 대부분 3.0 m/s 이상의 바람이 불었으며 특히 수유(772)가 6.4 m/s로 매우 강한 북풍계열 바람이 불었다. 삼천포(907)는 북풍계열 바람 풍속 2.6 m/s로 분석기간 동안의 바람 풍속 2.8 m/s와 유사하게 불었다. 2019년 분석기간 동안의 평균적으로 기온과 수온은 2018년에 비해 상승하였다. 여수신월(km001)을 제외하고 1.8~3.5°C 사이의 기온을 보였고, 수온은 해남임하(fjh5a)를 제외하고 4.0~6.2°C를 보였다. 2019년 분석기간 동안의 평균기온과 평균수온은 북풍계열의 바람이 불었을 때 평균기온과 평균수온과 유사한 값을 보였다. 풍속도 분석기간 동안 바람과 북풍계열의 바람이 불었을 때 세기가 비슷하였고 7개 분석지역 중 해남임하(fjh5a)가 6.8 m/s로 바람이 가장 세게 불었다.

Table 4. Average of AT, SST, and WS during analysis period

	Code (AWS-RISA)	2018			2019		
		AT (°C)	SST (°C)	WS (m/s)	AT (°C)	SST (°C)	WS (m/s)
Yellow sea	606-sj086	-1.9	2.4	3.1	1.8	4.4	3.4
	610-fsch6	-1.2	3.1	4.7	1.9	4.0	3.9
	657-br001	-1.2	4.3	3.9	2.4	5.5	2.7
	789-emp67	-0.2	5.4	2.9	3.1	6.1	3.7
	772-fjh5a	1.3	6.9	5.4	3.5	7.6	5.9
South sea	907-eng5c	1.9	5.3	2.8	3.4	6.2	2.4
	786-km001	2.4	5.0	3.5	5.0	4.0	4.3
Average		0.2	4.6	3.8	3.0	5.4	3.8

Table 5. Same as Table 4 but for northern wind direction (281.25° ~ 78.75°) during analysis period

	Code (AWS-RISA)	2018			2019		
		AT (°C)	SST (°C)	WS (m/s)	AT (°C)	SST (°C)	WS (m/s)
Yellow sea	606-sj086	-2.5	2.3	3.0	1.2	4.3	3.4
	610-fsch6	-2.8	3.0	5.3	1.1	3.9	5.3
	657-br001	-2.7	4.2	4.3	1.2	5.5	4.4
	789-emp67	-1.2	5.3	3.5	3.2	6.1	4.2
	772-fjh5a	0.6	6.8	6.4	3.7	7.6	6.8
South sea	907-eng5c	0.9	5.2	2.6	3.2	6.2	1.6
	786-km001	1.7	4.9	3.8	3.8	6.1	4.4
Average		-0.9	4.5	4.1	2.5	5.7	4.3

### 3.3 한파에 따른 수온 하강 반응 지연시간 고찰

기온변화에 따른 수온 변동성을 알아보기 위해 상호상관 분석을 하였다. 상호상관 분석 자료는 FIR 필터를 통해 조석차 및 일교차를 제거하였고 재생산 된 시간 평균 기온과 시간 평균 수온 자료를 이용하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 2018년과 2019년의 이상 한파기간 동안의 기온변화에 따른 수온 반응의 지연시간과 상호상관계수에 대한 그래프이고 그에 따른 분석 값은 Table 6에 정리되어있다. 지연시간 기준은 상호상관계수 값이 소수점 둘째자리에서 3시간 이상 지속적일 높은 상관관계수가 유지되었을 때 그 지점의 지연시간으로 판단하였다.

2018년 7개 분석지점에서 서해역인 772-fjh5a와 789-emp67을 제외하고 상호상관계수는 0.80 이상으로 높은 상관성을 보였으며 기온하강에 따른 수온의 반응 지연 시간은 평균 14시간 정도로 분석되었다. 772-fjh5a은 다른 지점과는 달리 기온에 따른 수온 지연시간이 12시간 이후 지속적으로 높은 상관 계수가 유지되었으며, 789-emp67은 수온의 반응 지연시간은 다른 분석지역과 유사하게 나타났으나 상호상관계수가 0.70 으로 분석되었다(Fig. 5). 2019년 상호상관 분석 그래프에서는 기온하강에 따른 수온의 반응 지연시간과 상호상관계수가 분석지점별로 다르게 나타났다. 남해역인 907-eng5c과 786-km001이 상호상관계수 0.60 이상으로 나타났고, 서해역인 606-sj086을 제외하고는 0.4~0.6 사이의 상관계수를 보였다. 그에 따른 지속시간도 606-sj086과 907-eng5c을 제외하고 대부분 20시간 이후 기온 하강에 따른 수온 변동의 지연시간이 나타났다(Fig. 6). 상호상관계수 분석 결과, 2018년 강한 한파가 발생하였을 때 상관성이 높게 나타났고 기온 하강에 따른 수온 변동의 지연시간도 짧게 분석되었다. 2019년 한파가 발생했을 때는 상호상관성이 지역별로 차

이를 보였으며 지연시간도 2018년 대비 같거나 더 지연되는 부분이 있었다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 강한 한파가 발생했던 2018년과 비교적 온난 한파가 발생했던 2019년에 대한 서해역과 남해역의 한파 원인 기작 중 하나인 바람을 분석하고 기온 하강에 따른 수온 변동성과 기온과 수온과의 상호상관분석을 통해 지연시간을 분석하였다.

한파 발생시기의 북풍계열 바람 빈도는 7개 지점에서 2018년 강한 한파시 평균적으로 약 75%, 2019년 온난 한파시 약 65% 정도로 나타났다. 지점별로 서해역인 대산(606)과 남해역인 돌산(786) 지점에서 빈도율이 높았고 홍성죽도(610)과 대천항(657) 지점은 근처에 위치하고 있어 바람의 빈도가 비슷하게 출현되었다. 압해도(789)와 수유(772) 지점도 인근에 위치하여 북풍계열 바람빈도가 유사하였고 남해역인 삼천포(907)는 분석지점 중에서 바람의 빈도율이 가장 낮았다. 강한 한파가 발생했던 2018년은 분석기간 동안의 평균기온 0.2℃, 평균수온 4.6℃ 이었고 북풍계열 바람에서의 평균기온 -0.9℃, 평균수온 4.5℃으로 각각 -1.1℃, -0.1℃ 하강되었으며, 풍속은 +0.3 m/s 더 강하게 불었다. 온난 한파가 발생했던 2019년은 분석기간 동안의 평균기온 3.0℃, 평균수온 5.4℃으로 나타났으며 북풍계열 바람에서의 평균기온 2.5℃, 평균수온 5.7℃로 평균기온은 -0.5℃ 하강한 반면 평균수온은 +0.3℃ 상승되었고 풍속은 +0.6 m/s 더 강하게 불었다. 이 결과로 강한 한파에서는 북풍계열 바람이 급격한 기온 하강을 유발시켜 저수온을 발생시킨 반면, 온난 한파에서는 저수온을 유발할 만큼 2019년의 기온 자체가 크게 하강되지 않아 수온의 변화에 영향을 주지 않은 것으로 분석되었다. 본 연구를 바탕으로 추후 장기적인 자료를 이용하여 기후요인들이 수온에 미치는 요인들을 추가하여 통계분석에 활용할 예정이다. 또한 기상자료개방포털(data/kma.go.kr) 내 AWS 관측지점정보를 확인해본 결과 AWS 관측 환경에는 바람이 불어 올 때 산이나 나무, 농경지, 숲과 같은 직·간접적으로 간섭될만한 대상물들이 있어 지점별로 상이한 바람의 빈도나 풍속이 발생하였는데 풍속이 가장 강했던 수유(772) 지점의 AWS 위치는 해발고도 1 m(Table 1)로 낮았고 바람이 불어 오는 방향에 간척지가 있어 바람을 간섭할만한 대상물이 없는 지형환경으로 인해 근처 압해도(789) 지점 대비 풍속이 약 2배 정도 크게 나타난 것으로 분석되었다.

기온의 하강 정도에 따라 수온의 반응은 같은 분석지역이라도 해마다 다르게 나타났으며 지연시간도 차이를 보였다. 2018년 강한 한파로 분석기간 동안 기온 하강으로 인한 수온의 반응은 서해역과 남해역 모든 지점에서 0.7~0.9 사이의 매우 높은 상관성을 보였으며 지연시간은 12~20시간 사이로 평균 14시간으로 분석되었다. 2019년 분석기간 동안의

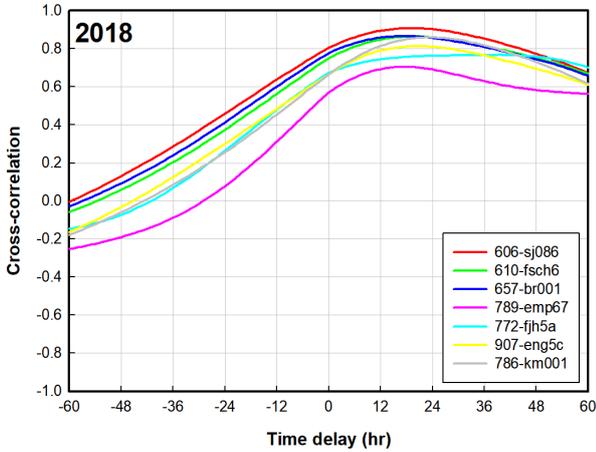


Fig. 5. Cross correlation analysis of AT and SST on 2018.

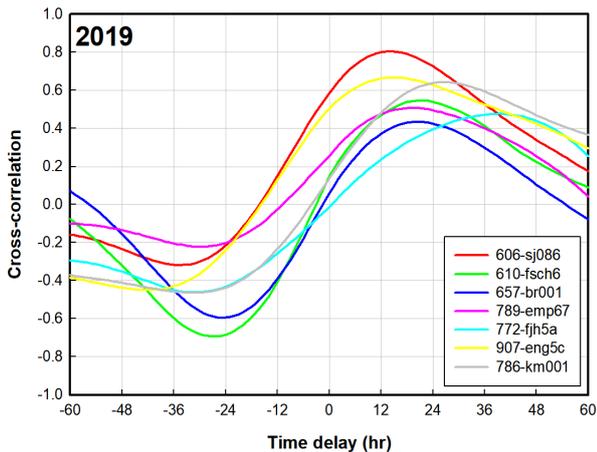


Fig. 6. Same as Fig. 5 but for 2019.

Table 6. Correlation coefficient and time delay of AT and SST

	Code (AWS-RISA)	Cross-correlation coefficient		Time delay (hr)	
		2018	2019	2018	2019
Yellow sea	606-sj086	0.90	0.80	12	12
	610-fsch6	0.86	0.55	14	20
	657-br001	0.87	0.44	15	21
	789-emp67	0.70	0.51	13	18
	772-fjh5a	0.75	0.48	12	38
South sea	907-eng5c	0.80	0.67	13	13
	786-km001	0.86	0.64	20	24

한파는 기온 하강의 변동성이 크지 않아 수온의 변동성도 작았으며 이로 인해 기온 하강에 따른 수온의 변화도 해역 별로 차이를 보이며 지연시간이 12~38시간 사이로 평균 20시간으로 나타났다. 606-sj086을 제외하고 대부분의 지점에서 2018년에 비해 2019년의 상호상관계수는 0.44~0.67 사이의 상관성을 보였다. 특히 2019년 경우 610-fsch6과 657-br001 지점에서 역지연(-24 hr)의 상당히 유의미한 음의 상관관계를 보였으며 이 결과의 의미를 파악하기 위해서 향후 관측지점과 자료기간을 추가하여 재분석 할 예정이다.

결론적으로 강한 한파가 발생했을 시기에는 북풍계열의 바람으로 인해 분석 해역에 기온하강에 따른 저수온을 유발시켰으나, 온난 한파가 발생했을 시에는 북풍계열 바람이 불더라도 비교적 따뜻한 기온으로 인해 수온을 하강시키지 못한 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 서해역과 남해역별로의 기온 하강에 따른 수온의 반응을 해석할 수 있었으며 해역별로 상이한 지연시간을 분석할 수 있었다.

이같은 결과는 매년 예상하기 힘든 한파에 따른 정확한 예보와 신속한 수온 정보에 매우 중요한 기본 정보로 활용될 것으로 판단되며 한파에 따른 양식 생물의 피해를 최소화 하는데 기여할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2021년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구소(2021051)의 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- [1] Abnormal climate report in 2018(2019), Korea Meteorological Administration, pp. 38-39 and 94.
- [2] Abnormal climate report in 2019(2020), Korea Meteorological Administration, pp. 60-61.
- [3] KMA(2019), Korea Meteorological Administration, Guide to Climatological Statistics, p. 31.
- [4] Han, I. S., Y. S. Suh, J. D. Hwang, W. A. Lim, S. H. Youn, J. S. Lee, and C. S. Chung(2011), A study on the causes of mass mortality of aquaculture and the variation of Sea surface temperature by extreme cold waves, KAOSTS joint conference abstract, p. 162.
- [5] Jeon, M. J. and Y. S. Cho(2015), An Analysis of a Winter-time Temperature Change and an Extreme Cold Waves Frequency in Korea, Journal of Climate Change Research, Vol. 6, No. 2, pp. 87-94.
- [6] Kang, D. Y., H. W. Kang, G. H. Kim, K. C. Jo, and H. C. Kim(2007), Effect of Cold Shock on the Physiological Responses of the Cultured mullet, *Mugil haematocheilus* in Winter, Journal of Korean Fish Society, Vol. 40, No. 4, pp. 226-233.
- [7] Kim, J. Y. and I. S. Han(2017), Sea Surface Temperature Time Lag Due to the Extreme Heat Wave of August 2016, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 6, pp. 677-683.
- [8] Kim, T. H., K. J. Kim, M. K. Choe, and I. K. Yeo(2006), Physiological Changes of Juvenile Abalone, *Haliotis sieboldii* Exposed to Acute Water-temperature Stress, Journal of Aquaculture, Vol. 19, No. 2, pp. 77-83.

---

Received : 2021. 07. 21.

Revised : 2021. 08. 31. (1st)

: 2021. 09. 15. (2nd)

Accepted : 2021. 10. 28.