

한국남서연안해역의 저수온 출현과 안개 형성과의 관련성에 관한 연구

윤종휘* · 정희동** · 조규대*** · 이충일***

* 한국해양대학교 해양경찰학과 · ** 국립수산물과학원 · *** 부경대학교 해양학과

A Study on Relationship between Cold Water Appearance and Fog Formation in the Southwest Coastal Waters of Korea

Yun Jong-Hwui* · Jeong Hee-Dong** · Cho Kyu-Dae*** · Lee Chung-Il***

* Dept. Maritime Police Science, Korea Maritime University

** National Fisheries Research and Development Agency

*** Dept. Oceanography, Pukyong National University

Abstract : It is known that cold water appears and fog frequently forms in the southwest coastal waters of Korea in summer. The authors investigate the time and place of cold water existence, and also whether the cold water affects the occurrence of fog formation. As a result, cold water begins to appear around Daeheugsando at the early summer. It gets colder with times and cold water area moves toward southwest of Jindo in mid-summer, then disappears in this area around mid-Oct. Fog mostly forms in April through August and most frequently occurs at Chukdo(Jindo) where sea surface temperature shows lower than that at the adjacent area. Accordingly it is taken that the cold water is considerably contributed to form the dense and frequent fog around Jindo area.

Key Word : Cold water, Fog formation, SST, Dew point temperature

1. 서론

한국 남서 연안해역은 동쪽으로 남해, 남쪽으로 제주해협과 인접한 해역으로 진도, 흑산도를 비롯한 많은 도서로 이루어진 다도해로서 그 수심이 50m 내외로 얕은 천해역을 이루고 있다. 이 해역은 황해저층냉수, 황해난류수, 한국연안수, 중국대륙연안수 등 여러 종류의 수괴(water mass)들이 존재하며, 이 들 수괴의 시공간적 변동에 따라 어장의 형성 및 해조류양식이 크게 영향을 받는 민감해역이다. 또한 이 해역은 한국 서해안의 주요항인 인천, 평택, 대산, 군산 및 목포항에 출입하는 선박의 항로로 이용되는 곳으로 경제적·산업적으로 매우 중요한 해역이라 할 수 있다.

한편, 이 해역에는 하계에 저수온이 출현하여 주변 외해역의 고온수와의 사이에 전선이 형성되며, 이로 인해 해무가 빈번히 발생하는 것으로 알려져 있다. 이들 현상에 대한 과거의 연구를 살펴보면, 국립수산물과학원(1964)에서 한국 남서

부연안해역의 해면에 간혹 저수온이 출현한다고 보고한 이래, 강(1971)은 많은 섬들에 의한 지형적 용승과 관련하여 냉수가 출현한다고 설명하였다. 그리고 Lie(1986)는 조석혼합에 의해 저온수가 나타난다고 하였고, 또 Lie(1986, 1989)는 NOAA-8의 영상자료를 이용하여 서해 연안냉수의 출현을 언급한 바 있다. 이 밖에 정(2001)은 진도 남서쪽 연안해

역에 형성되는 저수온은 저층의 저온수가 강한 조석혼합에 의해 상하 연직혼합함으로써 나타난다고 설명하였다. 또 이 해역에서 발생하는 해무에 대한 연구로는 Nishida(1924)가 여름철에 짙은 해무가 발생한다고 보고하였고, Cho *et al.*(2000)은 하계에 서해 연안의 저수온 출현시 해무 발생 빈도가 많다고 하였다. 그 외 한국 서해에서의 안개발생에 관한 연구로는 한국기상청의 기상연구소(1986) 등이 있으나 이들 연구는 특정 지역의 안개 발생시의 기상학적 특징을 더 잘 표현하는 기상요소가 없는지에 관한 연구이었다. 이와 같이 한국남서 연안해역에서의 해양기상 현상에 대한 연구는 대부분 이 해역에서의 저온수의 출현 현상과 기작에 대해 다

루고 있는 반면, 이 해역에서 나타나는 저온수가 대기에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 추후 선박의 안전운항을 위한 안개발생 예보의 기초자료로 이용하기 위하여 이 해역에서 나타나는 저온수의 출현 현상을 확인하고, 이 저온수가 안개의 형성에 미치는 영향에 대해 조사·분석하고자 한다.

2. 자료 및 방법

본 연구의 대상수역은 동쪽으로 고흥반도, 남쪽으로 제주도, 북쪽으로는 군산까지의 한국 남서 연안해역이며, 이 해역에는 많은 섬들이 산재해 있고 수심은 제주해협의 남쪽에서만 100m 이상이고, 그 이외의 수역은 100m 이하로 비교적 천해역이다.(Fig. 1)

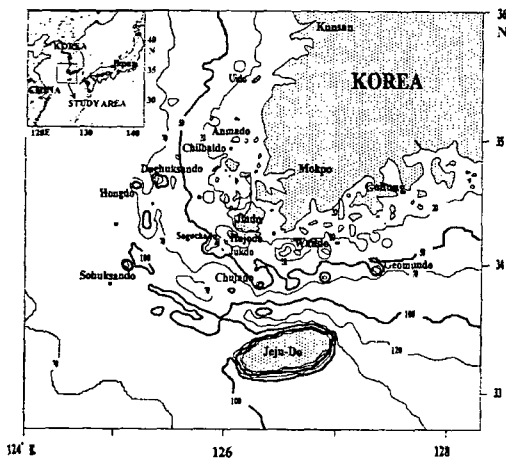


Fig.1 Location and bathymetry(meter) in the southwest coastal waters of Korea

본 연구에서는 해양자료로써 한국남서부 연안해역에서 나타나는 저수온 현상을 평균해황에서 찾아보기 위하여 국립수산과학원에서 발간한 30개년(1966~1995)의 해양조사연보를 이용하였다. 또 연구 해역에서 저수온이 출현하는 평균적인 시기 및 범위를 조사하기 위하여 9개년(1990~1998)의 NOAA AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 영상자료를 이용하였다. 이에 추가하여 기상자료로써, 기상청에서 관측한 소흑산도, 죽도 및 홍도의 3개년(2000~2002) 관측자료(해면온도, 기온, 안개발생일)와 소흑산도 및 진도의 2002년 관측자료(노점온도)를 사용하였다.

본 연구에서는 이 들 자료를 사용하여 먼저 연구해역의 월별(2, 4, 6, 8, 10월) 해면 평균수온 수평분포도를 작성하여 저수온 현상을 확인하고 또한 그 출현시기를 확인하였다. 또 9개년의 NOAA 위성 영상자료를 년도별로 1월 1일부터 5일 간격(pentad)으로 나누고, 각각의 5일 간격 자료를 평균하여 73개 image를 만든 후, 9년동안 동일 기간의 image를 평균하여, 해면수온(sea surface temperature : SST) 분포도를 작

성하여 저수온의 출현-확장-소멸시기의 특징을 조사하였다. 그리고 기상자료를 이용하여 관측점 간의 월별 안개발생빈도, 기온과 해면온도와의 차, 기온과 노점온도와의 차를 구하여 장소별 안개발생 현상에 대하여 조사하였다.

본 연구에서 저수온역은 해면수온이 성층해역의 상층수온보다 낮은 저층수온보다 높은 연직혼합수역으로 Fedorov(1983)의 기준에 따라 수온수평경도가 0.03°C/km이상인 해역으로 정의하였다.

3. 결과

3.1 계절별 수온분포

Fig. 2는 한국 남서연안해역에서 저수온의 출현시기 및 출현 범위를 파악하기 위하여 국립수산과학원의 30년간의 장기해양관측 자료를 이용하여 작성한 격월별 해면 평균수온분포도이다. 그림에서 2월의 경우 해면수온 범위는 약 5~15°C로서 군산부근 연안에서 5°C 이하로 가장 낮고 남쪽으로 갈수록 높아지고 있다. 그리고 제주해협에서는 수온전선이 남해안의 연안선과 거의 나란하게 동서방향으로 분포하면서 남서-북동 방향으로 기울어진 형태를 하고 있는데, 이것은 제주도 남쪽해역에서 15°C 이상의 난류가 북상할 경우 그 주축이 제주도 동쪽이 됨을 의미한다. 4월의 해면수온은 7~16°C로 2월에 비해 1~2°C 정도 높으며, 전남 서쪽해역에서 가장 낮고 제주도 동쪽해역에서 가장 높게 나타났다. 6월의 경우 저수온이 출현하는 시기로 표면수온은 16~20°C로 전반적으로 4월보다 크게 상승하였는데, 장소별로 제주도 동쪽해역이 약 4°C, 전남 서부해역이 약 9°C 정도 상승하였다. 이와 반대로 대흑산도 부근에서는 주변해역보다 약 2°C 정도 낮은 저수온역이 형성됨을 볼 수 있다. 8월 분포도에서 해면수온은 23~27°C의 범위로 6월에 비해 7°C 정도 상승하였다. 그러나 6월 분포도에서 나타난 대흑산도 주변의 저수온역은 그 중앙부가 약 23°C 이하로 주변수보다 약 3°C 정도 낮은 것으로 나타났다. 10월의 경우 해면수온은 19~24°C 범위이고, 대흑산도 주변해역에서는 여전히 20°C 이하의 저수온역이 약하게 남아있음을 보여주고 있다.

3.2 저수온 출현시기와 중심위치

저수온의 출현시기와 분포범위를 조사하기 위하여 9년간의 NOAA 위성영상 자료를 이용하여 5일 간격의 73개 예년 해면수온분포도중 저수온의 출현 시기, 최성기 및 소멸시기에 대한 분포도를 Fig. 3~5에 나타내었다.

Fig. 3은 수온상승기인 5월 하순~6월 상순에 해당하는 연속된 4개(pentad 29-32)의 5일 평균 예년 표면수온분포도이다. pentad 29(5월21~25일)의 분포도에서는 제주도 동쪽해역에서 20°C 이상으로 수온이 가장 높고, 대흑산도 부근해역에서 14°C 내외로 가장 낮게 나타났다. pentad 30(5월26~30)

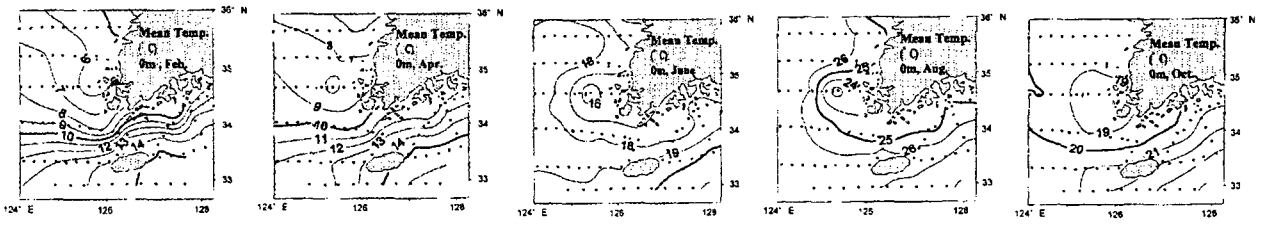


Fig. 3 Bi-monthly mean surface temperature in the study area

의 분포도에서 수온은 29번째와 비슷한 분포를 보이며 대흑산도 부근해역과 진도 남서해역에 15°C의 저수온이 분포하지만, 뚜렷하지 않다. 그러나 pentad 31(5월31일~6월4일)에서는 대흑산도 이북의 외해측과 제주도 동서간 해역의 수온이 18°C 이상으로 높아지면서 대흑산도-소흑산도-추자도-청산도-진도간 해역에 17°C 이하의 저수온역이 형성되고 특히 대흑산도 연안은 15°C로 가장 낮다. pentad 32(6월5~9일)의 수온분포에서 대흑산도-삼태도간 해역과 진도 서쪽해역에 17°C 이하의 저수온역이 출현하는데, 특히 대흑산도 연안 수온이 가장 낮게 나타났다. 따라서 Fig. 3에서 한국 남서 연안해역에 5월31일~6월4일 사이에 저수온이 출현하며 그 중심지점은 대흑산도 연안인 것으로 나타났다.

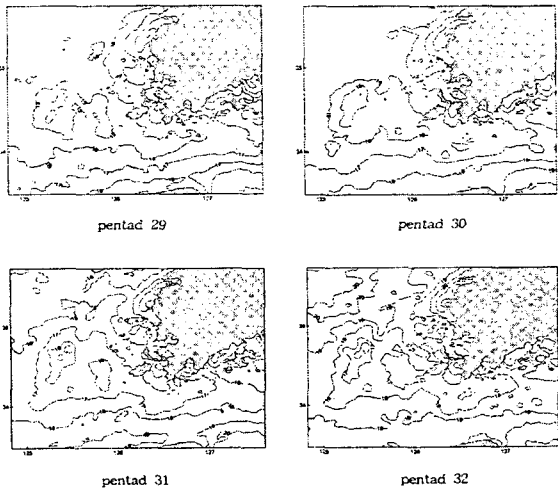


Fig. 3 Mean SST with NOAA images at the first stage of cold water appearance at the southwest coastal waters of Korea(pentad 29~32, May 21~June 9)

Fig. 4는 성층해역과 저수온역 사이에 전선역이 가장 현저하게 형성되는 시기(pentad 42~45)로 pentad 42(7월25~29일)에서는 제주도 동쪽해역에서 28°C 이상으로 가장 높고 진도 남서단 연안해역이 23°C로 가장 낮게 나타났다. pentad 43(7월30일~8월3일) 분포도에서는 제주도 주변해역에 28°C 이상의 고수온이 분포하고 진도 남서 약 15마일 지점이 23°C로 가장 낮은 분포를 하고 있다. 그리고 26°C 이하의 저수온역은 동쪽으로 고흡반도, 서쪽으로 대흑산도-서흑산도, 북쪽으로 안마도에 걸쳐 나타난다. pentad 44(8월4~8일)와

45(8월9~13일) 분포도에서는 거의 같은 형태로 제주도 주변해역에서 28°C 이상으로 가장 높고 진도 남서쪽 연안에 24°C 이하의 최저 수온역이 형성된다. 이 들 그림에서 연구해역에서 저수온역은 7월 25일부터 8월 13일 사이에 가장 활발하게 형성되며, 그 범위는 고흡반도-대흑산도-소흑산도-안마도간 해역이다. 특히 이 시기에는 저수온의 출현시기와는 달리 저수온역의 중심이 진도 남서 연안인 것으로 나타났다.

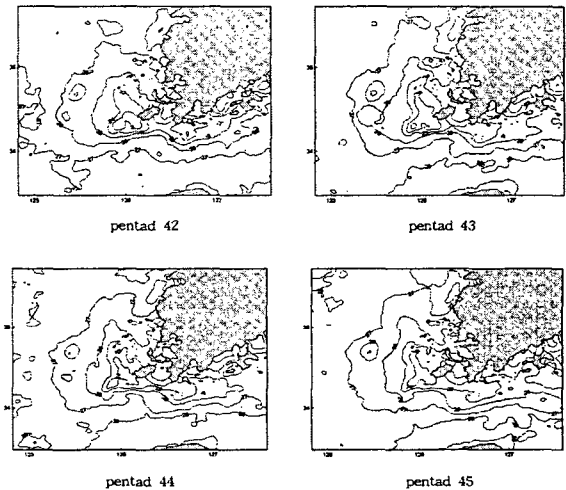


Fig. 4 Same as Fig. 3. except at the fully developed stage of cold water appearance at the southwest coastal waters of Korea(pentad 42~45, July 25~August 13)

Fig. 5는 저수온의 소멸시기(pentad 55~58)로, pentad 55(9월28일~10월2일)를 보면 제주해협에서 21~23°C로 비교적 수온이 높고, 대흑산도 연안과 진도서쪽 약 15마일에 20°C 이하의 저수온역이 존재하고 있다. pentad 56(10월3~7일)에서도 대흑산도 연안에 19°C의 저수온역이 여전히 남아 있고, 또한 pentad 57(10월8~12일)에서도 대흑산도 연안과 진도 남서쪽 해역에 19°C 이하의 저수온역이 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 pentad 58(10월13~17일)은 진도-대흑산도간 해역에 19°C 정도의 해수가 분포되어 있지만 인근 지역의 수온과의 차이가 적어 전선역이 형성되지 않아 저수온역이 소멸한 상태임을 보여주고 있다. 따라서 이 시기에는 저수온역이 대흑산도 연안과 진도 서쪽 일부해역에 한정되어 출현하며, 10월 중순(13~17일)경 저수온역은 소멸하는 것으로 나타났다.

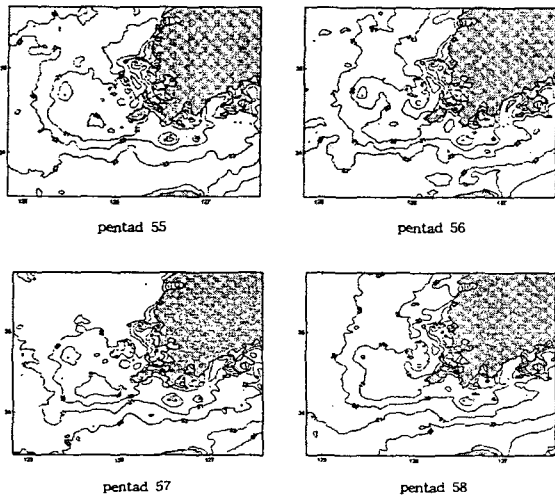


Fig. 5 Same as Fog. 3. except at the occluding stage of cold water appearance at the southwest coastal waters of Korea(pentad 55~58, September 28~October 17)

3.3 저수온역의 안개발생 특성

공기중의 수증기가 응결핵을 중심으로 응결하여 미세 물 입자로 되어 밀집하여 지면에 접하고 있는 것으로 시정이 1km 미만인 것을 안개라 한다. 안개는 공기가 수증기를 다량 함유하고 있을 때, 대기중에 응결을 촉진시키는 흡습성 미립자가 많이 부유하고 있을 때, 공기덩어리가 직접 또는 간접 냉각에 의해 노점온도 이하로 냉각될 때, 또는 외부로부터 다량의 수증기를 공급받을 때 형성된다. 안개의 종류로는 해무(또는 이류무), 복사무, 전선무 및 증기무 등이 있다. 이 중 한국 연안해역에서 봄~여름에 걸쳐 형성되는 것은 해무로서, 이것은 남쪽에서 이류해 온 따뜻한 공기덩어리가 차가운 해면 위를 이류하면서 공기중에 함유된 수증기가 응결함으로써 발생하며, 지속성이 강하고 짙은 것이 특징이다. 특히 한국 남서부 연안해역은 안개다발 지역으로, 이곳에서는 안개로 인하여 여러 가지 해상활동이 방해될 뿐만 아니라 선박의 충돌 및 좌초사고 등의 해양사고가 자주 발생한다.

이 해역은 앞 절에서 조사한 바와 같이 저온수가 출현하는 장소이므로, 이것은 안개의 생성조건으로 작용할 수 있다. 이러한 점을 참고로 하여, 기상청에서 관측한 3년간의 해양 기상관측 자료를 이용하여 이 해역에서의 저온수 출현과 안개형성 간에 상호관련성이 있는지에 대해 조사하였다.

Fig. 6은 안개 다발지역내의 세 장소, 홍도, 소흑산도 및 죽도에서 3년(2000~2002) 동안 발생한 월별 안개일수를 나타낸 것으로, 세 곳 모두 대략 4~8월에 안개가 빈번히 발생하며, 12~2월에는 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 홍도, 소흑산도 및 죽도 모두 저온수역에 해당하고, 인접한 장소이지만 안개발생일은 서로 상당한 차이를 보이고 있다. 이 들 장소중 죽도에서 안개가 가장 많이 발생하며, 특히 7월에는 평균 13회 정도 발생하는 것으로 나타났다.

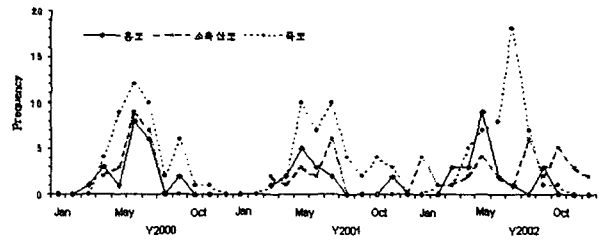


Fig. 6 Monthly fog frequency at Hongdo, Soheugsando and Chukdo from Y2000 to Y2002

장소별 안개발생 빈도의 차이를 규명해 보기 위해 소흑산도와 진도(죽도 인근 지점)에서 안개가 가장 자주 발생하는 5~7월의 3개월 동안의 해양기상자료를 이용하여 이를 분석하였다. Fig. 6과 7은 두 지점의 기온 및 해면수온의 시계열로, 기온의 경우 대체적으로 진도가 소흑산도보다 낮게 나타나며, 6~7월에는 진도의 기온이 소흑산도에 비해 약 2~3℃ 정도 낮은 것으로 나타났다. 표면수온의 경우에는 5월 하순 경까지는 소흑산도의 수온이 진도보다 낮으나 그 이후에는 진도의 수온이 소흑산도보다 1~5℃ 정도 낮아 여름에 진도 부근에서 저수온 현상이 더욱 뚜렷한 것으로 나타났다.

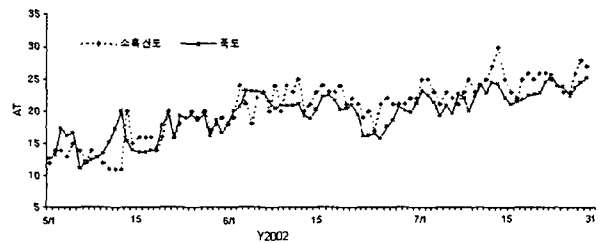


Fig. 6 Daily air temperature(°C) at Soheugsando and Jindo from May to July in 2002

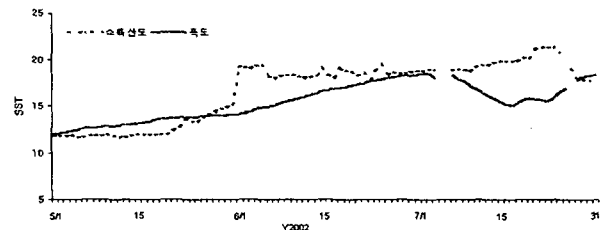


Fig. 7 Daily sea surface temperature(°C) at Soheugsando and Jindo from May to July in 2002

Fig. 8은 두 지점의 기온과 노점온도와의 차에 대한 시계열로, 이 값은 각 지점에서의 상대습도를 의미한다. 두 지점 모두 5월에서 6월 중순까지는 대체로 습도가 낮은 편이며, 진도의 습도가 소흑산도에 비해 더 낮은 것으로 나타났다. 그러나 6월 중순이후에는 상대습도가 높아지고, 특히 진도에서는 기온과 노점온도의 차가 2~3℃ 이하로 상대습도가 상당히 높게 나타남을 알 수 있다.

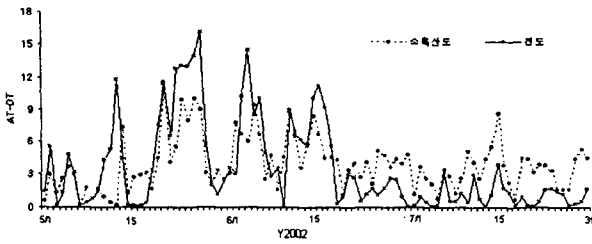


Fig. 8 Variation of air temperature minus(-) dew point temperature at Soheugsando and Jindo from May to July in 2003

Fig. 9는 노점온도와 해면온도의 차에 대한 시계열로, 두 곳 모두 5월에는 대부분 해면온도가 노점온도가 높으나, 6월에는 약 10일 정도 해면온도가 노점온도보다 낮고, 7월에는 대부분 해면온도가 노점온도보다 낮다. 특히 7월의 경우 진도에서는 소흑산도에 비해 두 온도의 차가 크게 나타나 대기 중에 함유된 수증기가 보다 쉽게 포화될 수 있음을 알 수 있다.

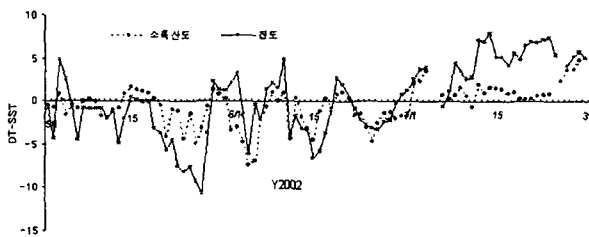


Fig. 9 Variation of dew point temperature minus(-) sea surface temperature at Soheugsando and Jindo from May to July in 2002

4. 토의 및 결론

한국남서 연안해역은 하계 저수온수가 출현하는 곳으로, 이 해역에서는 봄~여름에 걸쳐 지속적인 농무가 발생하여 선박의 안전운항을 저해할 뿐만 아니라 여러 가지 해양활동에도 상당한 지장을 초래한다. 본 연구에서는 이 해역에서의 저수온 출현을 알아보고, 이것이 안개에 형성에 영향을 주는지에 대해 조사하였다.

(1) 5월말~6월초경 대흑산도 부근해역에서 주변해역보다

수온이 낮은 저온수가 출현한다. 이것은 7월말~8월초경 가장 발달하고 그 중심은 진도 남서쪽 해역으로 이동하며, 10월 중순경 저온수는 한국남서 연안해역에서 소멸한다.

(2) 봄~여름에 걸쳐 안개가 자주 발생하며, 그 중 죽도 부근에서 가장 빈번히 발생한다. 그리고 하계 죽도부근 해역의 해면온도는 인근 해역에 비해 상당히 낮게 나타난다.

(3) 하계 안개다발지역중 진도 부근은 인근해역에 비해 상대습도가 높고, 또 해면온도가 노점온도보다 크게 낮은 현상을 보인다. 이로 인해 특히 이 해역에서는 여름에 안개가 자주 발생하는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 강철중, 한국서해 해황의 계절적 변동에 관하여, 수진 연구보고 8, 9-29, 1979
- [2] 국립수산진흥원, 한국해양편람, 214, 1964
- [3] 기상연구소, 한국 서해 중부 연안의 해무특성조사. 한국기상연구소, MR 86-1. 83, 1986
- [4] 정희동, 한국 남서연안 해역의 하계 저수온 출현의 기작과 해황변동, 부경대학교, 2001
- [5] Cho, K. D., M. O. Kim and B. C. Kim, Sea fog around the Korean peninsula. J. Applied Meteorology(in print), 2000
- [6] Fedorov, K. N., Lecture note on coastal and estuary studies(the physical nature and structure of oceanic front). spring-werlag, 21-22, 1983
- [7] Lie, J. J., Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. Prog. Oceanog., 17, 229-242, 1986
- [8] Lie, H. J., Tidal fronts in the southeastern Hwanghae(Yellow Sea). Continental Shelf Research, 9, 527-546, 1989
- [9] Nishida, K., On the oceanographic conditions in the adjacent seas of Korea. Fisheries in Korea, 1, 8-12, 1924