



Received: 2026/08/14
Revised: 2026/08/26
Accepted: 2026/09/11
Published: 2026/09/30

***Corresponding Author:**

Hojun Lee

1 Jungwon-ro, Jinhae-gu, Changwon-si,
Gyungsangnam-do, 51704, Republic of Korea
Tel: +82-55-907-5257
E-mail: generalhojun@gmail.com

Abstract

본 연구에서는 2016~2025년 평택과 목포의 기상 및 해양 관측자료를 활용하여 저시정 발생 특성을 비교하였다. 두 해역 모두 해무는 봄철에 집중되었으며, 그 비율은 목포(49.3%)가 평택(36.3%)보다 높았다. 평균 해기차(SST - SAT)는 평택 -0.3°C, 목포 +0.5°C로 차이를 보였으며, 봄철 짙은 해무에서 양의 해기차 비율은 각각 68.3%와 86.8%로 나타났다. 이는 동일한 서해안에서도 지역적 해양환경에 따라 해무 발생 특성이 상이함을 보여준다.

This study compared low-visibility characteristics in Pyeongtaek and Mokpo using meteorological and oceanographic observations from 2016 to 2025. Sea fog occurred predominantly in spring, accounting for 49.3% of annual sea fog duration in Mokpo and 36.3% in Pyeongtaek. The mean sea-air temperature difference (SST - SAT) was -0.3°C in Pyeongtaek and +0.5°C in Mokpo, while positive differences during dense spring sea fog occurred in 68.3% and 86.8% of cases, respectively. These results indicate regional differences in sea fog characteristics associated with local oceanographic conditions along the western coast of Korea.

Keywords

저시정(Low Visibility), 해무(Sea Fog),
해양-대기 상호작용(Ocean-Atmosphere
Interaction),
평택(Pyeongtaek), 목포(Mokpo)

2016~2025년 평택·목포 해역의 저시정 발생 특성과 기상·해양 요인 비교 분석

A Comparative Analysis of Low-Visibility Characteristics and Associated Meteorological and Oceanographic Factors in the Pyeongtaek and Mokpo Coastal Waters during 2016 - 2025

권혁제¹, 고영건¹, 황용상², 곽명택³, 이호준^{4*}

¹해군사관학교 해양학과 사관생도

²해군 소령/해군사관학교 해양학과 교관

³해군사관학교 해양학과 조교수

⁴해군 소령/해군사관학교 해양학과 조교수

Hyukjae Kwon¹, Younggun Go¹, Youngsang Hwang², Myeong-taek Kwak³,
Hojun Lee^{4*}

¹Midshipman, Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy

²LCDR, ROK Navy/Instructor, Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy

³Assistant professor, Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy

⁴LCDR, ROK Navy/Assistant professor, Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy

1. 서론

해상 저시정 현상은 해상에서의 시정이 급격히 저하되어 선박의 안전 운항에 중대한 영향을 미치는 기상 현상이다[1]. 특히, 출동 함정과 상선 항로가 밀집된 연안 협수로 해역에서 저시정은 항해의 어려움뿐만 아니라 충돌 위험 증가와 출항 지연 등 전반적인 운항 장애를 초래할 수 있다[2]. 더 나아가 군 작전 수행 해역에서는 저시정 상황이 전술적 기동의 제약, 감시·정찰 능력 저하 등 다양한 운용상 제한으로 이어질 수 있어, 저시정 발생 조건을 사전에 파악하고 위험 가능성을 평가하는 것은 함정의 출동 계획과 작전 운용에 있어 매우 중요하다[3].

저시정 현상은 크게 해무 조건과 비해무 조건에서 발생한 사례로 구분된다. 해무는 대기와 해양의 상호작용 속에서 발생하는 현상으로, 기상 조건과 해양환경에 따라 전선무, 복사무, 이류무, 증기무의 네 가지 유형으로 나눌 수 있다[4].

전선무는 온난전선이나 한랭전선 등 전선이 통과할 때 기온 차이로 발생하며, 대규모 저기압성 활동과 밀접하게 관련된다. 복사무는 맑고 바람이 약한 밤에 지표면이 복사냉각을 겪으면서 육상에서 형성된 뒤, 해풍 등에 의해 해상으로 이동하여 나타난다. 이류무는 따뜻하고 습한 공기가 상대적으로 차가운 해수면 위로 이동할 때 형성되며, 이때 해기차(수온-기온)는 음(-)의 값을 보인다. 증기무는 반대로 차가운 공기가 상대적으로 따뜻한 해수면 위로 이동할 때 해수면에서 증발한 수증기가 응결하여 형성되며, 이때 해기차는 양(+)의 값을 보인다. 한반도 서해(황해)에서 봄철에 지배적으로 나타나는 유형은 이류무로 알려져 있으며, 약한 남풍 계열의 바람과 높은 상대습도가 동반되는 경우가 많다. 한반도 주변 해역 가운데 서해의 해무 발생일이 동해의 약 3배에 달할 만큼 서해가 해무에 빈번하게 노출되는 해역임이 보고된 바 있다[1].

반면, 본 연구에서 정의한 ‘비해무’는 단순히 안개가 없어 시정이 양호한 상태를 의미하는 것이 아니라, 저시정 조건 중 강수가 동반된 경우(강수량 > 0 mm)를 가리킨다. 이러한 강수 동반 저시정(비해무)은 주로 저기압이나 전선성 대기 변동과 연관되어 발생한다. 비해무 사례의 경우 대기-해양 경계면의 열적 불균형보다는 강수 강도와 구름 미세물리 과정이 시정 악화의 지배적 요인으로 작용한다. 즉, 해무와 비해무는 모두 저시정을 초래하지만 발생 메커니즘과 주요 기상·해양 조건은 서로 상이하며, 저시정 현상을 정확히 이해하기 위해서는 두 조건을 구분하여 분석할 필요가 있다.

해무 및 저시정 현상에 관해서는 국내외적으로 다수의 연구가 수행되었다. 해양-대기 상호작용 속에서 해무가 형성되는 메커니즘을 종합적으로 정리한 연구가 수행되었으며[2], 해무를 연안무·냉각해무·온난해무로 구분하고 해기차, 상대습도 및 풍속을 중심으로 36년간의 자료를 이용하여 한반도 주변 해무 발생의 계절별·연도별 장기 변화와 상관관계를 분석한 연구도 보고되었다[3].

또한, 한반도 주변 해역에서는 계절성과 지역적 차이에 따라 해무의 발생 시기와 공간 분포가 뚜렷하게 다르게 나타남이 확인되었으며[4], 해무와 해상 교통사고 간의 연관성을 규명한 연구[5], 그리고 황해 인접 군 비행장을 대상으로 이류무의 낮은 예측성과 중규모(mesoscale) 해상의 한계를 고해상도 결합 해양

-대기 모델을 통해 분석한 연구[6]도 수행되었다.

그러나 이러한 선행연구들은 대체로 단일 해역을 대상으로 하거나 해무의 세부 유형 분류 또는 단일 발생 원인에 초점을 맞추는 경향이 있었다. 또한 시정 기준에 있어서도 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)가 정의하는 안개 기준인 시정 1 km 미만을 일률적으로 적용하여 저시정 사례 전반을 하나의 범주로 다루는 경우가 많았다. 따라서 해무와 강수에 의한 저시정(비해무)을 함께 고려한 연구는 드물며, 동일한 1 km 미만 저시정 사례 중에서도 운항·작전에 가장 큰 위험을 초래하는 짙은 안개 구간을 별도로 식별하여 그 발생 특성과 요인을 규명한 연구는 매우 제한적이다.

이러한 한계를 고려할 때, 평택과 목포는 저시정 발생 특성을 비교 분석하기에 적합한 해역이다. 두 해역은 저시정에 취약할 뿐만 아니라 군사·안보적으로도 중요한 거점이기 때문이다. 평택은 아산만에 위치한 서해 중부의 반폐쇄성 해역으로, 조석 간만의 차가 크고 봄철 이류무가 빈번하다. 반면 목포는 도서와 수로가 발달한 다도해를 배경으로 한 서남해의 관문 항만으로, 해무 발생 빈도가 높은 해역으로 알려져 있다. 두 해역은 모두 서해안에 위치하지만, 평택은 서해 중부에, 목포는 서해 남부에 위치하여 서로 다른 해양·기상 환경 특성을 보인다.

이에 본 연구에서는 평택과 목포 두 해역을 대상으로 해무와 비해무를 구분하여 저시정 발생 시 기상 및 해양 요소의 특성을 정량적으로 분석하고, 두 해역의 발생 특성과 영향 요인을 동일한 기준에서 비교·분석하는데 목적을 둔다. 특히 본 연구는 WMO가 정의하는 안개(시정 1 km 미만)뿐만 아니라 짙은 안개(시정 200 m 미만) 구간을 따로 분석하여 기존 연구들과 차별성을 가진다.

시정 200 m 이하 구간은 운항자가 충돌이나 좌초를 회피할 수 있는 여유가 사라지고, 함정 및 항공기 운용에도 심각한 제약이 발생하는 임계 영역이다. 따라서 본 연구는 일반적인 저시정과 짙은 안개의 발생 요인을 구분하여 분석하고자 한다. 또한 강수 동반 여부에 따른 해무·비해무 구분과 두 해역 간 비교를 통해 서해에 공통적으로 작용하는 일반적 요인과 각 해역의 국지적 요인을 구분하여 제시하고자 한다. 이러한 분석은 지역 맞춤형 해양기상 예측의 기초자료를 제공하는 동시에, 함정 운항 계획과 저시정 위험 관

리, 특히 치명적인 짙은 안개 상황에 대한 사전 대응을 위한 실질적인 기반을 제공할 것으로 기대된다.

2. 자료 및 방법

2.1 자료 수집

본 연구에서는 서해안의 대표적인 저시정 취약 해역인 평택과 목포를 대상으로 저시정 발생 시 기상 및 해양 요소의 특성을 비교 분석하기 위해, 2016년 1월 1일부터 2025년 12월 31일까지 총 10년간의 기상 및 해양 관측 자료를 수집하였다(Fig. 1 참조). 관측 변수 선정과 자료 수집 방법은 항만 해역에서 저시정 발생 시 기상 및 해양 요소의 변화를 분석한 선행 연구[7]를 주로 참고하여 구성하였다.

기상 자료는 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)의 종관기상관측소(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료를 이용하였다. 평택 해역은 서산 지점(36.7766°N, 126.4939°E), 목포 해역은 목포 지점(34.8173°N, 126.3815°E)의 자료를 사용하였다. 수집한 기상 변수는 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 증기압, 이슬점온도, 현지기압, 해면기압, 시정, 강수량 및 적설 등 총 11개 항목이다.

해양 자료는 기상청의 해양기상부이(buoy) 관측 자료를 이용하였다. 평택 해역은 덕적도 부이(37.2361°N, 126.0187°E), 목포 해역은 신안 부이(34.7333°N, 126.2417°E)의 자료를 사용하였으며, 해수면온도(sea surface temperature, SST), 염분, 풍향, 풍속, 기온(surface air temperature, SAT) 및 현지기압 등 총 6개 변수를 분석에 활용하였다. 한편 풍향, 풍속, 기온, 현지기압 4개 변수는 ASOS와 해양기상부이 모두에서 관측되는데, 본 연구에서는 이들 변수에 대해 해양기상부이의 관측 자료를 사용하였다. 기상 및 해양 자료는 모두 기상청에서 제공하는 1시간 간격의 시계열 자료이다.

2.2 자료 처리

본 연구에서는 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)의 기준에 따라 시정(visibility, vis)이 1 km 미만인 경우를 저시정(low

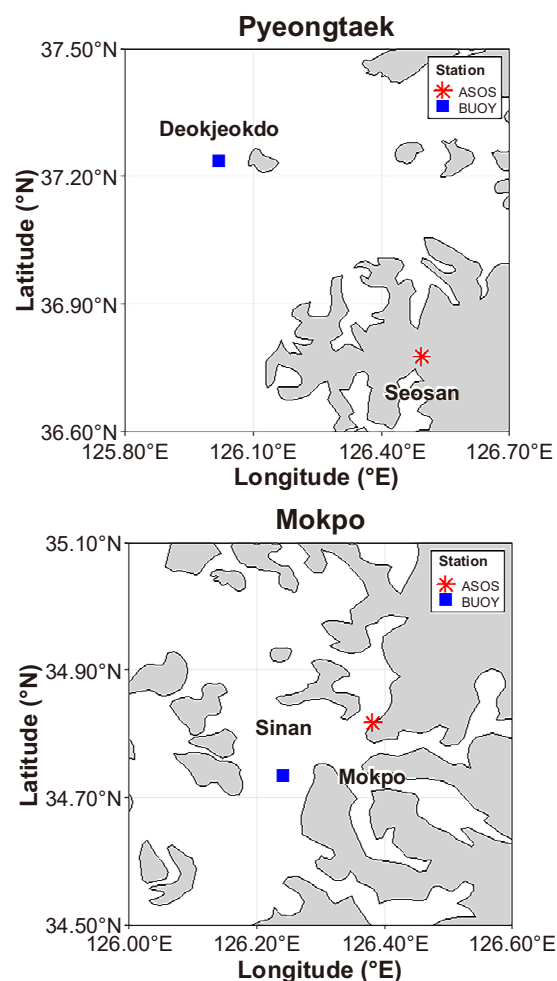


Fig. 1. Locations of observation stations used in this study. The blue dots represent the Korea Meteorological Administration (KMA) buoy observing system, while the red dots represent automated synoptic observing system

visibility)으로 정의하였다. 저시정 사례는 기상청 종관기상관측자료(KMA ASOS)의 시정값이 1 km 미만인 경우를 기준으로 선별하였으며, 강수량이 0 mm인 경우는 해무(fog), 0 mm를 초과하는 경우는 강수를 동반한 저시정(비해무, non-fog low visibility)으로 분류하였다.

해무 사례는 발생 강도를 구분하기 위해 시정에 따라 짙은 안개(Vis < 200 m)와 보통 안개(200 m ≤ Vis < 1000 m)의 두 계층으로 구분하였다. 반면 비해무는 강수를 동반한 저시정 현상으로 정의하고 시정 계층 구분 없이 하나의 범주로 처리하였다.

저시정 발생 시 기상 및 해양 요소를 분석하기 위해 기상청 ASOS 자료에서는 시정, 강수량, 풍향, 풍속, 이슬점 온도 및 기압을 사용하였으며, 해양기상부이 자료에서는 해수면온도(SST)와 기온(SAT)을 이용

하였다. 또한 본 연구의 핵심 지표인 해기차(air-sea temperature difference)는 해수면온도에서 기온을 뺀 값($SST - SAT$)으로 정의하였다. 해기차가 양(+)의 값을 가지는 경우는 해수면온도가 기온보다 높은 상태를, 음(-)의 값을 가지는 경우는 기온이 해수면온도보다 높은 상태를 의미한다.

자료 처리 과정에서 ASOS와 해양기상부이의 시계열은 자료를 정시(整時) 기준으로 동기화하여 병합하였으며, 두 자료가 모두 유효한 시각만을 분석에 사용하였다. 또한, 저시정 현상이 여러 시간에 걸쳐 연속적으로 지속된 경우에도 각 시각의 관측값을 개별 자료로 취급하여 분석에 포함하였다.

3. 결과

3.1 저시정 발생 시 해양·기상 요소의 분포 특성

평택과 목포 두 해역에서 2016~2025년간 관측된

시정 1 km 미만 사례를 해무(강수량 = 0 mm)와 비해무(강수량 > 0 mm)로 구분하고, 각 사례에서의 해양·기상 요소가 시정에 따라 어떻게 분포하는지를 빈도 히트맵으로 분석하였다. 해무 발생 시의 기상 및 해양 요소 분포는 평택과 목포에 대해 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 제시하였으며, 해무와 비해무 조건에서의 각 요소별 통계값(최소값, 최대값, 평균, 표준편차)은 Table 1(평택)과 Table 2(목포)에 정리하였다.

평택: 해무 발생 시 SST와 SAT의 평균은 각각 15.4°C와 15.7°C였으며, SST는 1.0~27.0°C, SAT는 -8.1~26.5°C 범위로 넓은 계절 변동을 보였다(Fig. 2 참조). 해기차($SST - SAT$)는 -4.4~13.0°C 범위에서 평균 -0.3°C로 0°C 부근에 집중되었다. 풍향은 0~50° 구간에서 발생 빈도가 높았고, 풍속은 평균 3.1 m/s로 대부분 5 m/s 이내에 분포하였다. 상대습도는 평균 96.3%로 대부분 95% 이상이었고, 해면기압은 평균 1007.7 hPa, 이슬점온도는 평균 15.3°C였다. 비해무 조건과 비교하면(Table 1 참조), 해무의

Table 1. Comparison of statistical values of oceanographic and meteorological variables in the Pyeongtaek coastal area under sea-fog and non-sea-fog conditions. Values outside the parentheses represent sea-fog conditions, and values inside the parentheses represent non-sea-fog conditions

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. dev.
Sea surface temp. (°C)	1.0 (1.6)	27.0 (27.0)	11.6 (15.4)	7.1 (7.1)
Surface air temp. (°C)	-10.6 (-8.1)	27.6 (26.5)	10.7 (15.7)	7.8 (8.2)
SST-SAT (°C)	-4.8 (-4.4)	17.6 (13.0)	0.9 (-0.3)	2.6 (3.1)
Wind speed (m/s)	0.0 (0.0)	8.9 (8.5)	1.1 (3.1)	1.1 (1.9)
Relative humidity (%)	57.0 (79.0)	100.0 (99.0)	97.2 (96.3)	2.9 (2.8)
Sea-level air pressure (hPa)	998.1 (990.5)	1033.3 (1030.3)	1017.2 (1007.7)	6.8 (7.3)
Dew point temp. (°C)	-16.6 (-10.0)	26.4 (26.0)	8.4 (15.3)	8.4 (8.5)

Table 2. Comparison of statistical values of oceanographic and meteorological variables in the Mokpo coastal area under sea-fog and non-sea-fog conditions. Values outside the parentheses represent sea-fog conditions, and values inside the parentheses represent non-sea-fog conditions

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. dev.
Sea surface temp. (°C)	4.0 (4.1)	25.2 (26.7)	12.2 (12.7)	5.2 (6.2)
Surface air temp. (°C)	-5.9 (-5.6)	25.7 (25.8)	11.0 (12.3)	5.9 (7.5)
SST-SAT (°C)	-6.3 (-6.4)	14.3 (14.4)	1.2 (0.5)	2.2 (3.2)
Wind speed (m/s)	0.0 (0.0)	12.6 (9.0)	1.9 (2.4)	1.4 (1.7)
Relative humidity (%)	86.0 (86.0)	100.0 (100.0)	97.7 (97.5)	2.5 (2.8)
Sea-level air pressure (hPa)	994.7 (999.2)	1034.1 (1036.4)	1015.8 (1012.8)	6.7 (7.3)
Dew point temp. (°C)	-7.2 (-9.9)	27.0 (26.0)	10.7 (12.5)	6.7 (8.3)

평균 SST(15.4°C)와 SAT(15.7°C)가 비해무(각각 11.6°C, 10.7°C)보다 약 4~5°C 높았다. 해기차는 해무에서 -0.3°C, 비해무에서 +0.9°C로 나타났으며, 풍속은 해무(3.1 m/s)가 비해무(1.1 m/s)보다 강하였다. 상대습도는 두 조건 모두 96% 이상으로 높게 나타났다.

목표: 해무 발생 시 SST와 SAT의 평균은 각각 12.7°C와 12.3°C였으며, SST는 4.1~26.7°C, SAT는 -5.6~25.8°C범위에 분포하였다(Fig. 3 참조).

해기차(SST-SAT)의 평균은 +0.5°C였으며,

-6.4~14.4°C 범위를 보였다. 풍향은 0~50°와 300~360° 구간에 상대적으로 높은 발생 빈도를 보였고, 풍속은 평균 2.4 m/s로 대부분 5 m/s 이내였다. 상대습도는 평균 97.5%로 대부분 95% 이상에 집중되었으며, 해면기압은 평균 1012.8 hPa, 이슬점온도는 평균 12.5°C였다. 비해무 조건과 비교하면 (Table 2 참조), 해무의 평균 SST(12.7°C)와 SAT(12.3°C)는 비해무(각각 12.2°C, 11.0°C)와 유사하거나 다소 높았다. 해기차는 해무 +0.5°C, 비해무 +1.2°C로 두 조건 모두 양의 값을 보였으며, 풍속은

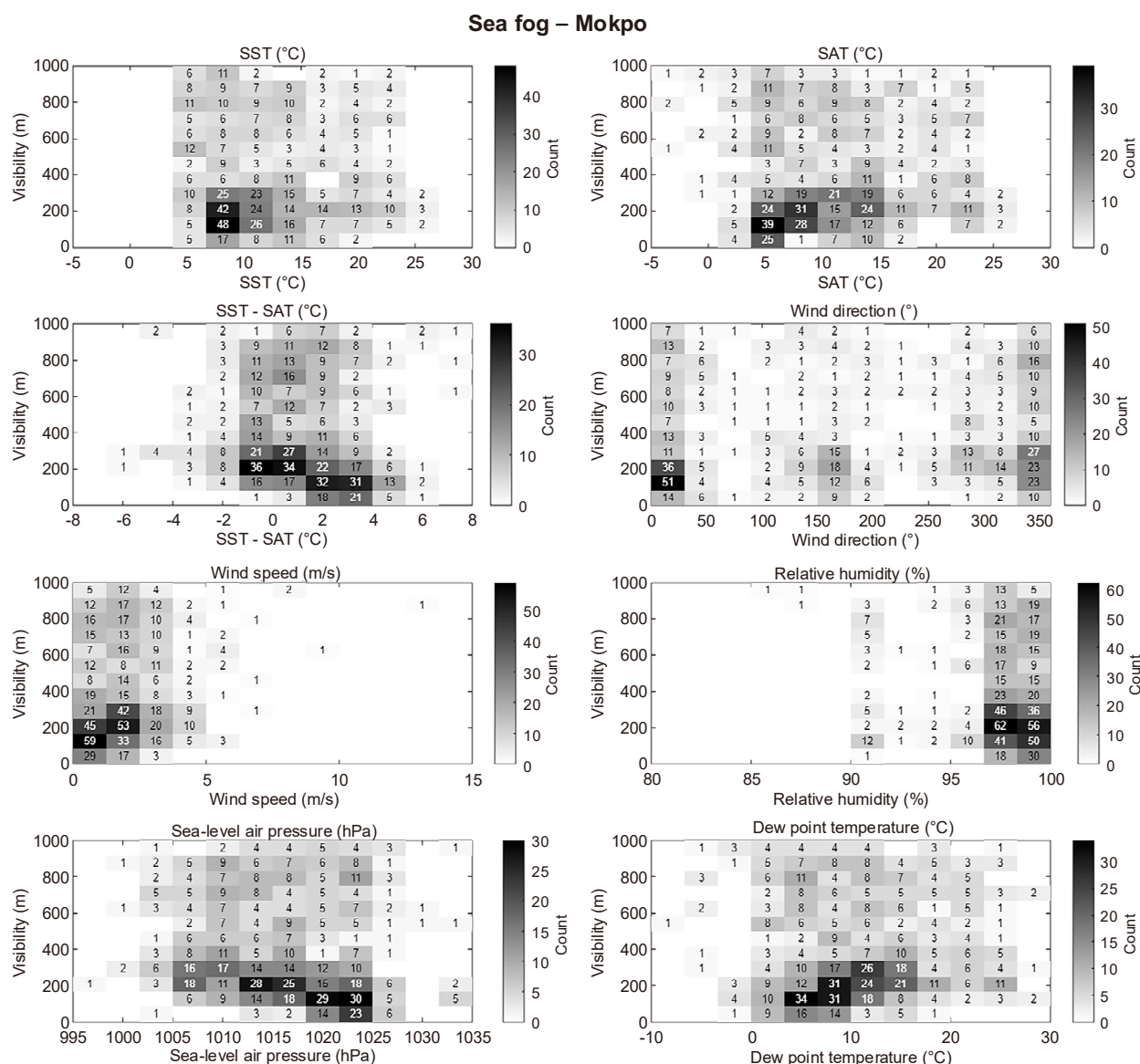


Fig. 2. Two-dimensional frequency (Count) heatmaps showing the distribution of sea-fog events (visibility < 1 km) with respect to meteorological and oceanographic variables observed in the Mokpo coastal area during 2016–2025. In each panel the vertical axis denotes visibility (m) and the horizontal axis the corresponding variable; the grayscale shading and the inset numbers indicate the number of observations (Count) within each bin

해무(2.4 m/s)가 비해무(1.9 m/s)보다 다소 강하였다. 상대습도는 두 조건 모두 97% 이상으로 높게 나타났다.

해무 발생 시 평균 해기차는 평택 -0.3°C , 목포 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 로, 목포가 평택보다 양의 값에 위치하였다. 평균 SST는 평택 15.4°C , 목포 12.7°C , 평균 SAT는 평택 15.7°C , 목포 12.3°C 로 두 해역 간 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 차이를 보였다. 한편 두 해역 모두 해무 조건에서 상대습도가 96% 이상으로 높게 유지되고 풍속이 대부분 5 m/s 이내에 분포하는 공통점을 보였다.

3.2 저시정 발생의 월별 분포 및 지속시간 특성

2016년부터 2025년까지 평택과 목포 두 해역에서 관측된 시정 1 km 미만의 저시정 사례를 대상으로 해무와 비해무의 월별 발생 분포를 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다.

평택 해역에서는 전체 관측 기간 동안 해무가 753시간, 강수를 동반한 비해무가 129시간 발생하여 저시정 사례의 대부분이 해무에 의해 발생한 것으로 나타났다(Fig. 4(a) 참조). 해무는 3월에 141시간으로

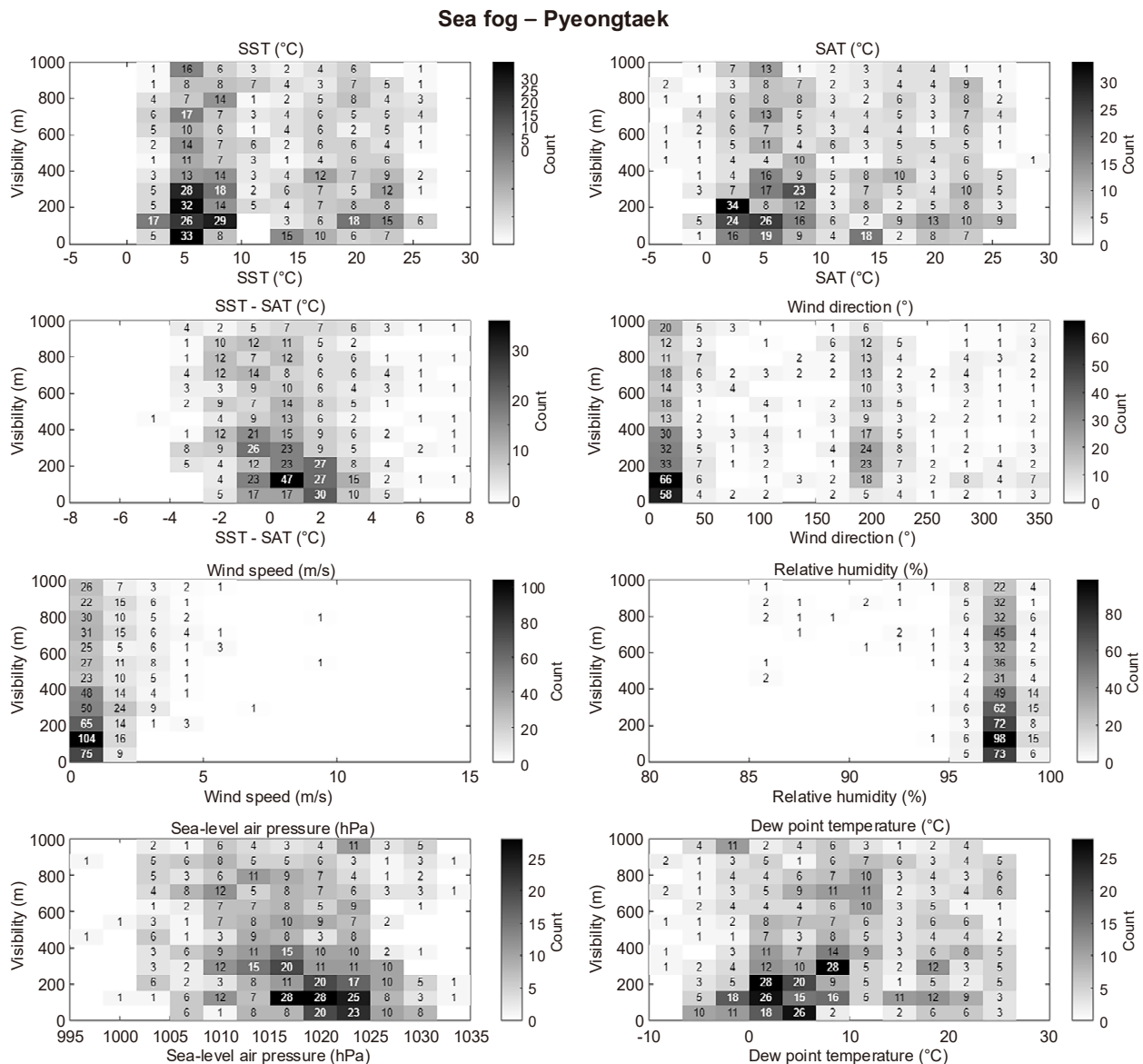


Fig. 3. Two-dimensional frequency (Count) heatmaps showing the distribution of sea-fog events (visibility < 1 km) with respect to meteorological and oceanographic variables observed in the Pyeongtaek coastal area during 2016–2025. In each panel the vertical axis denotes visibility (m) and the horizontal axis the corresponding variable; the grayscale shading and the inset numbers indicate the number of observations (Count) within each bin.

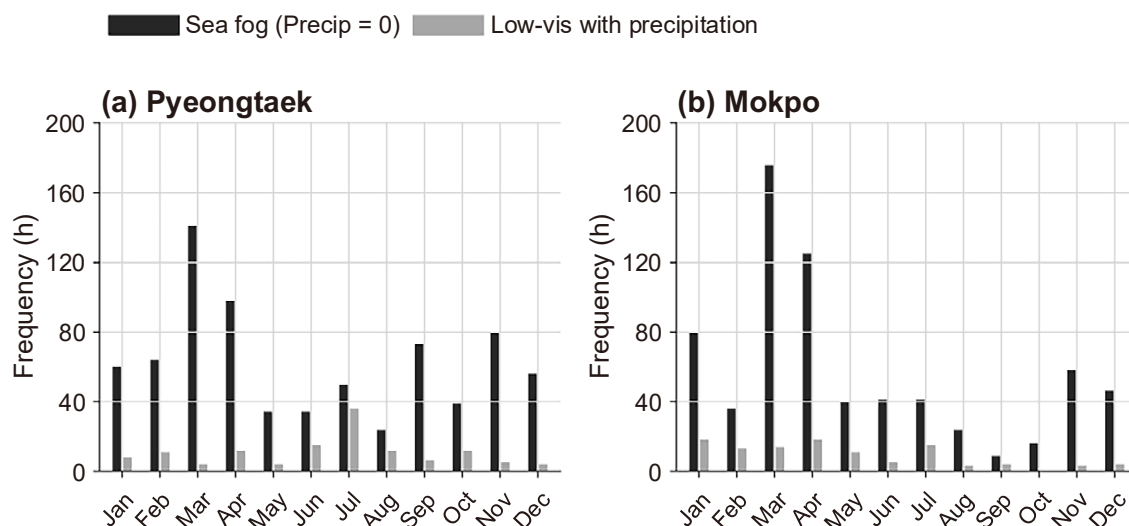


Fig. 4. Monthly frequency (hours) of low-visibility (< 1 km) events observed in the (a) Pyeongtaek and (b) Mokpo coastal areas during 2016–2025. Black bars indicate sea-fog conditions without precipitation (Precip = 0), and gray bars indicate low-visibility conditions accompanied by precipitation. The vertical axis denotes the cumulative occurrence (hours) in each month

가장 빈번하게 발생하였으며, 이는 전체 해무 발생 시간의 18.7%에 해당한다. 또한 봄철(3~5월) 해무 발생 시간은 총 273시간으로 전체 해무 발생 시간의 36.3%를 차지하였다. 봄철 이외에도 가을철(9~11월)에 비교적 높은 발생 빈도가 나타나, 평택의 해무는 봄철에 가장 집중되면서도 연중 비교적 고르게 분포하는 특성을 보였다.

목포 해역에서는 해무가 총 692시간, 비해무가 108시간 발생하여 평택과 유사한 규모의 해무 발생량을 나타냈다(Fig. 4(b) 참조). 해무는 3월에 176시간으로 가장 많이 발생하였으며, 이는 전체 해무 발생 시간의 25.4%에 해당한다. 봄철(3~5월) 해무 발생 시간은 총 341시간으로 연간 해무의 49.3%를 차지하여, 해무 발생이 봄철에 뚜렷하게 집중되는 양상을 보였다. 반면 봄철 이외 시기에는 발생 빈도가 크게 감소하여, 평택보다 계절성이 더욱 뚜렷한 특징을 나타냈다.

두 해역의 총 해무 발생 시간은 평택 753시간, 목포 692시간으로 유사한 수준이었다. 그러나 계절 분포에서는 차이가 뚜렷하게 나타났다. 봄철 해무 발생 비율은 목포가 49.3%로 평택(36.3%)보다 높았으며, 최다 발생 월인 3월의 해무 발생 시간 역시 목포(176시간)가 평택(141시간)보다 많았다. 한편 두 해역 모두 강수를 동반한 비해무의 발생 시간은 해무에 비해 현저히 적어, 저시정 발생의 주요 원인이 해무임을 확

인할 수 있었다.

3.3 시정 계층별 해기차(SST–SAT)의 계절 분포 특성

해무 발생 시 해기차(SST–SAT)가 시정에 따라 어떻게 분포하는지를 살펴보기 위해, 해무 사례를 봄철(3~5월)과 여름철(6~8월)로 구분하여 시정과 해기차의 관계를 산점도로 정리하였고(Fig. 5 참조), 평택과 목포의 봄철 및 여름철 결과는 각각 Fig. 5(a)~(d)에 제시하였다.

산점도 분석 결과, 두 해역 모두 봄철에는 시정이 200 m 미만의 짙은 안개 사례가 주로 양(+)의 해기차($SST > SAT$) 영역에 분포하는 경향을 보였다(Fig. 5(a)와 (b) 참조). 특히 목포에서는 이러한 경향이 평택보다 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 시정이 감소할수록 양의 해기차 영역에 자료가 집중되는 양상을 보였다. 반면 여름철에는 해기차가 전반적으로 0°C 부근 또는 음(-)의 영역에 분포하여, 봄철에 나타난 양의 해기차 우세 현상은 관찰되지 않았다(Fig. 5(c)와 (d) 참조).

이러한 경향을 정량적으로 확인하기 위해 해무 사례를 시정에 따라 짙은 안개($Vis < 200$ m)와 보통 안개($200 \text{ m} \leq Vis < 1000$ m)의 두 계층으로 구분하여 해기차 분포를 비교하였다. 각 계층의 통계값은 Table 4에 제시하였으며, 두 계층 간 차이의 통계적

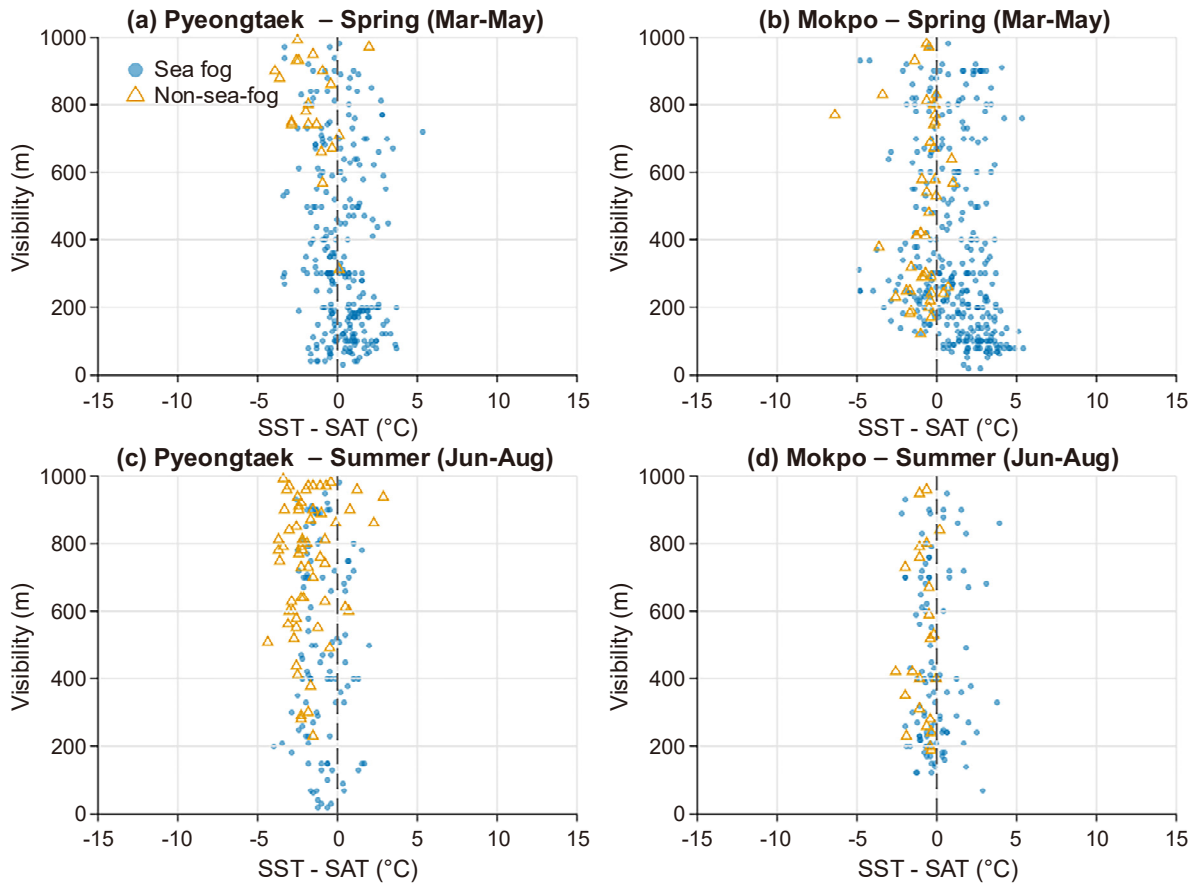


Fig. 5. Scatter plots showing the relationship between visibility (< 1 km) and the sea-air temperature difference (SST-SAT) in the (a, c) Pyeongtaek and (b, d) Mokpo coastal areas during 2016–2025, separated by season: (a, b) spring (Mar–May) and (c, d) summer (Jun–Aug). Blue dots indicate sea-fog conditions without precipitation, and yellow triangles indicate non-sea-fog conditions accompanied by precipitation. The vertical axis denotes visibility (m) and the horizontal axis the SST-SAT difference ($^{\circ}\text{C}$)

유의성은 Wilcoxon 순위합 검정(rank-sum test)으로 평가하였다.

3.3.1 봄철(3~5월)

봄철에는 두 해역 모두 짙은 안개 계층이 보통 안개 계층보다 높은 해기차를 나타냈다. 평택에서는 짙은 안개 계층($n = 101$)의 평균 해기차가 $+0.70^{\circ}\text{C}$ (중앙값 $+0.80^{\circ}\text{C}$, 표준편차 1.25°C)였으며, 양의 해기차 비율은 68.3%였다. 반면 보통 안개 계층($n = 172$)은 평균 $+0.05^{\circ}\text{C}$ (중앙값 -0.20°C), 양의 해기차 비율 47.1%로 0°C 부근에 분포하였다. 두 계층 간 차이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.001$).

목포에서는 이러한 차이가 더욱 뚜렷하게 나타났다. 짙은 안개 계층($n = 114$)의 평균 해기차는 $+2.03^{\circ}\text{C}$ (중앙값 $+2.20^{\circ}\text{C}$, 표준편차 1.69°C)였으며, 양의 해기차

비율은 86.8%에 달하였다. 보통 안개 계층($n = 227$)의 평균 해기차는 $+0.55^{\circ}\text{C}$ (중앙값 $+0.60^{\circ}\text{C}$), 양의 해기차 비율은 59.9%로 나타났으며, 두 계층 간 차이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.001$). 특히 목포의 짙은 안개 계층 평균 해기차($+2.03^{\circ}\text{C}$)는 평택($+0.70^{\circ}\text{C}$)보다 약 2.9배 높았다.

3.3.2 여름철(6~8월)

여름철에는 두 해역 모두 해기차가 봄철보다 낮아져, 양의 해기차 우세 현상이 나타나지 않았다. 평택의 짙은 안개 계층($n = 21$)은 평균 해기차 -0.60°C (중앙값 -0.60°C), 양의 해기차 비율 23.8%였으며, 보통 안개 계층($n = 87$)은 평균 -1.06°C (중앙값 -1.30°C), 양의 해기차 비율 20.7%를 나타냈다. 두 계층 모두 음의 해기차가 우세하였으며, 계층 간 차이는 통계적

Table 3. SST – SAT statistics for sea fog by region, season, and fog intensity (dense fog, visibility < 200 m; moderate fog, visibility 200–1000 m)

Region	Season	Visibility	n	Mean	Median	SD	SST – SAT > 0 (%)	p-value
Pyeongtaek	Spring	Vis < 200 m	101	0.7	0.8	1.25	68.3	< 0.001
		Vis 200–1000 m	172	0.05	–0.2	1.56	47.1	
	Summer	Vis < 200 m	21	–0.6	–0.6	1.13	23.8	0.062
		Vis 200–1000 m	87	–1.06	–1.3	1.18	20.7	
Mokpo	Spring	Vis < 200 m	114	2.03	2.2	1.69	86.8	< 0.001
		Vis 200–1000 m	227	0.55	0.6	1.92	59.9	
	Summer	Vis < 200 m	15	0.08	–0.1	1.09	40.0	0.355
		Vis 200–1000 m	91	–0.11	–0.4	1.25	34.1	

으로 유의하지 않았다($p = 0.062$).

목포 역시 유사한 경향을 보였다. 짙은 안개 계층($n = 15$)의 평균 해기차는 $+0.08^{\circ}\text{C}$ (중양값 -0.10°C), 양의 해기차 비율은 40.0%였으며, 보통 안개 계층($n = 91$)은 평균 -0.11°C (중양값 -0.40°C), 양의 해기차 비율 34.1%를 나타냈다. 두 계층 모두 해기차가 0°C 부근에 분포하였으며, 계층 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.355$). 다만 여름철 짙은 안개 사례의 표본 수는 평택 21건, 목포 15건으로 상대적으로 적었다.

4. 고찰

4.1 두 해역 해무 발생 특성의 요약

본 연구는 서해안의 평택과 목포 해역을 대상으로 2016~2025년 동안 발생한 해무와 비해무의 발생 특성을 비교·분석하였다. 두 해역의 총 해무 발생 시간은 평택 753시간, 목포 692시간으로 유사하였으나, 해무는 두 해역 모두 봄철에 집중되었으며 그 집중도는 목포(연간 49.3%)가 평택(36.3%)보다 높게 나타났다. 해무 발생 시의 해양·기상 조건에서는 두 해역 모두 상대습도가 96% 이상으로 높고 풍속이 대부분 5 m/s 이하로 약하다는 공통점을 보였다. 반면 해기차(SST–SAT)는 평택 -0.3°C , 목포 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 로 뚜렷한 차이를 나타냈으며, 이러한 차이는 시정이 낮은 짙은 해무(Vis < 200 m)에서 더욱 두드러졌다. 한반도 연안의 해무 발생이 일반적으로 여름철에 빈번하다는 보고가 있는 반면[4], 본 연구의 평택과 목포 해역에서는 해무가 봄철에 집중되는 특징을 보였다. 이는 동

일한 한반도 연안이라 하더라도 해역의 위치와 환경에 따라 해무의 계절 구조가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다.

한편 두 해역 모두 보통 안개($200\text{ m} \leq \text{Vis} < 1000\text{ m}$) 계층의 해기차는 0°C 에 가까운 값을 보였다(평택

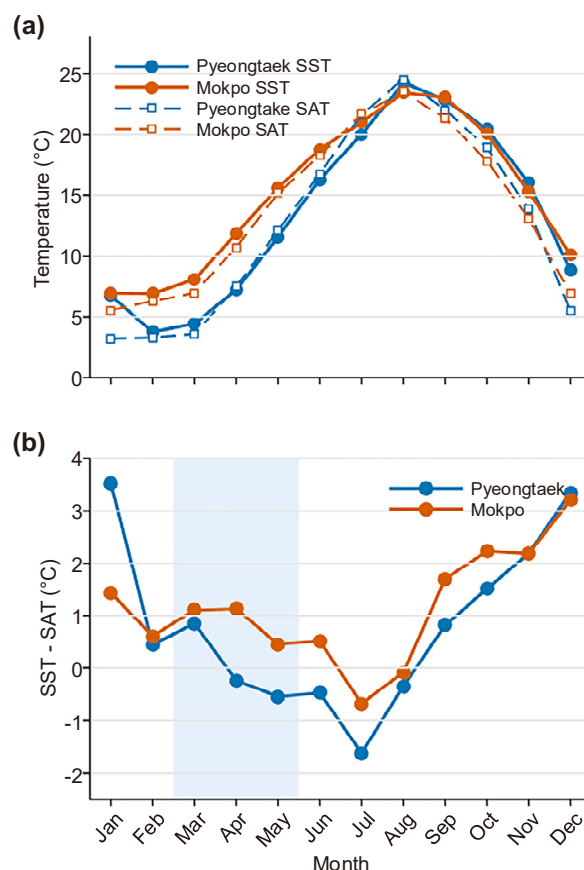


Fig. 6. Monthly mean (a) SST and SAT, and (b) SST – SAT during sea fog in the Pyeongtaek (blue) and Mokpo (red) coastal areas (2016–2025). In (a), solid lines with circles denote SST and dashed lines with triangles denote SAT. The shaded band indicates spring (March–May)

Table 4. Monthly mean SST, SAT, and SST – SAT during sea fog in the Pyeongtaek and Mokpo coastal areas (°C). Spring (March–May) is shaded

Month	Pyeongtaek			Mokpo		
	SST (°C)	SAT (°C)	SST–SAT (°C)	SST (°C)	SAT (°C)	SST–SAT (°C)
Jan	6.75	3.23	+3.52	6.97	5.54	+1.44
Feb	3.76	3.31	+0.45	6.93	6.32	+0.61
Mar	4.43	3.58	+0.85	8.08	6.97	+1.11
Apr	7.26	7.49	–0.23	11.86	10.73	+1.14
May	11.56	12.11	–0.54	15.62	15.16	+0.46
Jun	16.30	16.77	–0.47	18.79	18.27	+0.52
Jul	20.03	21.65	–1.62	21.01	21.69	–0.68
Aug	24.19	24.53	–0.34	23.43	23.50	–0.07
Sep	22.86	22.04	+0.82	23.04	21.34	+1.70
Oct	20.43	18.92	+1.51	20.06	17.83	+2.23
Nov	16.03	13.84	+2.19	15.27	13.09	+2.18
Dec	8.82	5.47	+3.35	10.12	6.92	+3.21

+0.05°C, 목포 +0.55°C). 이는 보통 안개 계층에 관측 지점 인근에서 직접 형성된 해무뿐 아니라, 관측망이 없는 주변 해역에서 발생한 후 이동해 온 사례가 포함되기 때문으로 해석된다. 또한, 발생 이후 이류 과정에서 연직으로 상승하여 하층운으로 발달한 사례 역시 포함되었을 가능성이 있다. 본 연구에서 평택 해역의 대표 자료로 사용한 덕적도 부이를 분석한 선행연구 [2]에서도 해무 발생 시 해기차가 주로 +0.8°C에서 +3.0°C 범위에 분포하는 가운데, 0°C 부근의 값이 다수 확인되었다. 해당 연구에서는 이러한 사례의 원인으로 관측망 외 해역에서 발생한 해무의 이류 또는 발생 후 연직 상승에 따른 하층운화를 제시한 바 있다. 동일한 부이 자료를 사용하였다는 점에서 이러한 해석은 본 연구의 보통 안개 계층에도 적용될 수 있다. 따라서 보통 안개 계층에는 발생 지점의 국지적 해기차를 충분히 반영하지 못하는 사례가 포함되어 있으며, 이로 인해 짙은 안개 계층에 비해 해기차와 시정 사이의 관계가 상대적으로 약하게 나타난 것으로 판단된다.

4.2 계절에 따른 해기차 구조의 전환

월별 해기차 추이(Fig. 6(b))는 두 해역의 해기차(SST–SAT) 구조가 계절에 따라 뚜렷하게 변화함을

보여준다. 평택과 목포 모두 늦가을부터 겨울(10~1월)에는 SST가 SAT보다 높은 양(+)의 해기차를 나타냈으며, 봄철을 거치면서 점차 감소하여 여름철에는 음(-)의 방향으로 전환되었다. 이는 겨울철에는 해수면이 대기보다 상대적으로 따뜻한 반면, 여름철에는 SAT의 상승이 SST 상승보다 빠르게 이루어지기 때문으로 해석된다.

다만 해기차의 전환 시점과 강도는 해역에 따라 차이를 보였다. 평택은 4월에 해기차가 음의 값(–0.23°C)으로 전환된 반면, 목포는 같은 시기에도 양의 해기차(+1.14°C)를 유지하였다. 이러한 계절 전환 시점의 차이는 두 해역의 봄철 해무 집중도 차이와도 관련되는 것으로 판단된다. 실제로 봄철 해무 발생 비율은 목포가 49.3%로 평택(36.3%)보다 높았으며, 이는 목포 해역이 봄철까지 양의 해기차를 더 오래 유지함으로써, 해수면이 대기보다 따뜻한 조건의 해무가 더 늦은 시기까지 빈번하게 발생하였기 때문으로 해석된다[8].

한편 여름철(6~8월) 해무에서는 두 해역 모두 시정 계층 간 해기차 차이가 통계적으로 유의하지 않았다(평택 $p = 0.062$, 목포 $p = 0.355$). 평택은 짙은 안개와 보통 안개 모두 음의 해기차를 나타냈으며, 목포 역시 두 계층 모두 0°C 부근에 분포하였다. 이는 봄철에 관찰된 양의 해기차 우세 현상이 여름철에는 나타

나지 않음을 의미하며, 계절에 따라 해무 발생 시의 해양·기상 환경이 달라질 수 있음을 시사한다.

5. 결론

본 연구는 2016년부터 2025년까지 10년간 서해안의 평택과 목포 두 해역에서 발생한 시정 1 km 미만의 저시정 사례를 대상으로 해무와 비해무의 발생 특성을 비교·분석하고, 시정 강도와 계절에 따른 해기차(SST-SAT)의 분포 특성을 분석하였다.

두 해역의 총 해무 발생 시간은 평택 753시간, 목포 692시간으로 유사하였으나, 해무는 두 해역 모두 봄철에 집중되었으며 그 집중도는 목포(49.3%)가 평택(36.3%)보다 높았다. 또한, 해무 발생 시 두 해역 모두 상대습도가 96% 이상으로 높고 풍속이 대부분 5 m/s 이하로 약하다는 공통점을 보였으나, 해기차는 평택 -0.3°C , 목포 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 로 차이를 나타냈다.

시정 계층별로 구분한 결과, 봄철 짙은 해무($\text{Vis} < 200 \text{ m}$)에서는 두 해역 모두 양의 해기차 비율이 보통 안개보다 높게 나타났으며(평택 68.3%, 목포 86.8%), 두 시정 계층 간 차이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.001$). 특히 목포 짙은 해무의 평균 해기차($+2.03^{\circ}\text{C}$)는 평택($+0.70^{\circ}\text{C}$)의 약 2.9배로 나타났으며, 이는 목포 해역의 상대적으로 높은 봄철 표층 수온과 관련된 것으로 판단된다. 반면 여름철에는 두 해역 모두 해기차가 음의 방향으로 전환되었고 시정 계층 간 차이도 유의하지 않아, 봄철과는 다른 분포 특성을 보였다.

이러한 결과는 동일한 서해안이라 하더라도 해역과 계절에 따라 해무의 발생 구조와 해양·기상 조건이 상이할 수 있음을 보여준다. 특히 본 연구에서 별도로 구분한 시정 200 m 이하의 짙은 해무는 일반적인 저시정보다 운용상 위험성이 높은 조건으로, 함정 운용 및 해상 활동 시 저시정 위험을 관리하기 위한 중요한 정보가 될 수 있다. 또한 두 해역의 해무 발생 시기와 해기차 특성이 다르게 나타난 만큼, 저시정 예측과 대응 전략 역시 해역별 특성을 고려하여 차별화될 필

요가 있다.

결론적으로 본 연구는 서해안 두 해역의 저시정 발생 특성을 장기 관측 자료에 기반하여 정량적으로 비교·제시함으로써, 지역 맞춤형 해양기상 예측과 함정 운용 계획 수립을 위한 기초자료를 제공하였다. 다만 본 연구는 관측 자료에 기반한 통계적 분석에 한정되므로, 향후 해양 순환 및 열수지 분석, 수치모델링을 병행한다면 봄철 짙은 해무에서 나타나는 양의 해기차의 형성 과정과 해역 간 차이를 보다 정밀하게 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Moon-Ouk Kim, 'The Characteristics of Sea Fog Distribution around the Korean Peninsula,' Master's thesis, Chonnam National University, 1998. (in Korean)
- [2] Young Nam Kim, 'The Characteristics of Sea Fog Generation and Improvement of Forecast Model in the Korea Sea,' Ph.D. thesis, Inje University, 2023. (in Korean)
- [3] Seon Young Lim, 'Long-Term Change of Fog Occurrence in the Sea around Korean Peninsula,' Master's thesis, Chonnam National University, 2011. (in Korean)
- [4] Yang-Ki Cho, Moon-Ouk Kim, & Byung-Choon Kim, 'Sea Fog around the Korean Peninsula,' Journal of Applied Meteorology, VOL. 39, NO. 12, 2000, pp. 2473-2479.
- [5] Dae-Sik Kim, 'A Study on the Prevention of Ship Collision in Low Visibility: Focusing on the Role of the Korea Coast Guard,' Korean Journal of Maritime Police Science, VOL. 8, NO. 3, 2018, pp. 71-85. (in Korean)
- [6] Adam W. DeMarco, 'A Mesoscale Model Analysis of Sea Fog Formation and Dissipation Near Kunsan Air Base,' Master's thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 2012.
- [7] Hojun Lee, 'Analysis of Oceanographic and Meteorological Changes During Low-Visibility Events in the Masan Harbor Area (2019-2023),' Journal of the KNST, VOL. 8, NO. 4, 2025, pp. 848-856.
- [8] Hee-Young Kim & Kyung-Ae Park, 'Comparison of Sea Surface Temperature from Oceanic Buoys and Satellite Microwave Measurements in the Western Coastal Region of Korean Peninsula,' Journal of the Korean Earth Science Society, VOL. 39, NO. 6, 2018, pp. 555-567.