

## 해양기상 관측자료를 이용한 서해 중부해역 해무 분석

오희진 · 김태희\* · 이호만 · 서태건 · 윤용훈

기상연구소 해양기상지진연구소, 156-720 서울시 동작구 신대방동 460-18

### Analysis of a Sea Fog Using Ocean-air Observation Data in the Mid-Yellow Sea off Korea

Heejin Oh · Tae-Hee Kim\* · Homan Lee · Tae-Gun Seo · Yong-Hoon Youn

Marine Meteorology and Earthquake Research Laboratory,  
Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea

**Abstract:** Ocean-air observation using an Automatic Weather Station (AWS) and Conductivity Temperature Depth (CTD) was conducted in the Mid-Yellow Sea off Korea during 8-10 July 2002. A water mass lower than 17°C around the Taean peninsula and a tidal front between 36°20'N and 36°30'N were observed. The horizontal distribution of air temperature was similar to that of sea surface temperature (SST). Hourly observation around Dukjuk island showed the cold and saline southwesterly and the warm and fresh northeasterly in phase with tidal current. Sea fogs two times formed at 2300 LST 8-0130 LST 9, and 0300-0600 LST 9 July 2002 during the observation period, respectively. During the initial stage of fogs, winds became northeasterly at the speed of 2-4m/s<sup>1</sup>, and air temperature dropped to 18°C, as the North Pacific High weakened. The satellite image indicated that sea fogs formed over warm water in the western Yellow Sea and moved eastward toward the observation site, which could be called a steam fog. The fogs dissipated when wind speed and air temperature increased.

Keywords: Ocean-air observation, tidal front, Yellow sea cold water, steam fog

**요약:** 2002년 7월 8일에서 10일까지 AWS와 CTD를 이용하여 서해 중부 연안역에서 해양기상관측을 실시하였다. 수심이 낮은 태안반도 연안역에서 17°C 이하의 냉수가 출현하였고, 36°20'N와 36°30'N 사이에 정선을 따라 조석전선이 형성되었다. 기온의 분포는 수온의 분포양상과 유사하게 나타났다. 덕적도 주변(A1)에서 24시간 연속관측결과, 조류와 같은 주기로 북동부로부터 고온저염수와 남서부로부터 저온고염수의 이동이 관측되었다. 관측기간 중에 7월 8일 23시에서 9일 1시 30분까지, 9일 3시에서 6시까지 해무가 발생하였다. 해무발생 시 북태평양 고기압이 약해지면서 기온은 18°C까지 하강하였고, 바람은 2-4m/s의 북동풍이 불었다. 위성사진을 분석하였을 때, 이 안개는 포층수온이 높은 황해서부를 중심으로 발생하여 시간이 지나면서 관측해역으로 확장된 증기안개이다. 이 해무는 기온과 풍속이 상승하면서 소멸되었다.

주요어: 해양기상관측, 조석전선, 황해냉수, 증기안개

## 서론

평균고도 400m 이하에서 시정 1km 이하의 현상을 안개라고 하며(Byers, 1930; Taylor, 1917), 서해에서는 7월에 가장 많은 안개가 발생한다. 김성삼과 이내영(1970)에 의하면 여름철 조석전선에 의해 냉수가

출현하는 서해 중부 해역 및 남부 해역에서 안개가 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 안개는 풍향, 풍속, 해수면 온도, 기온 등과 같은 다양한 해양 및 기상요소의 상호작용으로 발생하며(Filonczuk, 1995), 서해 중부 해역은 다양한 수괴의 계절 변동(Park, 2001), 현저한 조석현상 등 다양한 해양요소와 계절에 따른 바람 응력(Na and Seo, 1992)과 해수면의 가열, 냉각(Na *et al.*, 1998) 등 대기/해양요소의 상호작용이 활발한 곳이다. 이러한 대기/해양의 상호작용을 연구하기 위해서는 해양과 기상을 동시에 관측한

\*Corresponding author: kth@metri.re.kr

Tel: 82-2-847-2495

Fax: 82-2-847-2496

자료가 필요하다. 그러나 국내에서는 해양과 대기를 동시에 관측하는 해양기상관측 연구가 많지 않으며, 아직 초기단계라 할 수 있다.

Tag and Peak(1996), Vislocky and Fritch(1997)에 의해 해양과 대기의 요소들을 고려한 해무발생에 관한 경험적인 접근이 시도되었으며, 이 요소들은 지역성이 강하여 다른 지역 안개 예측에 동일하게 적용하기엔 한계가 있다. Taylor(1917)는 지역성을 고려한 안개발생 기작을 연구하기 위해 선상관측을 시도하였다. 해무연구의 초기에는 중규모의 해수면 온도와 해류풍에서 해무발생기작을 발견하기 위한 노력이 있었으며(Patterson, 1938; Leipper, 1948; Pilie *et al.*, 1979), 최근에는 미세규모의 구름물리(Oliver and Williamson, 1978, Telford and Chai, 1984)까지 연구 범위가 확장되고 있다.

한반도 주변에서는 최근 Nam *et al.* (2001)과 Kim *et al.* (2001)에 의해 해무의 사례 연구가 수행되었으나 서해 안개 발생 기작의 일부만이 연구되었고, 기상환경에 중점을 두어 해양환경에 관한 연구가 미흡하였다. 본 연구에서는 서해 중부해상의 해양-기상 동시 관측자료를 이용하여 해양기상의 시·공간적 변화특성을 연구하였고, 지상 및 925hPa면 일기도, 위성사진과 고층관측 결과를 이용하여 관측기간 중 해무의 발생 기작을 연구하였다.

### 자료 및 방법

2002년 7월 8일에서 11일까지 서해 중부 해역에서 해양-기상 동시 관측이 이루어졌으며, 관측해역 및 정점은 Fig. 1과 같다. 관측정점은 125°10'E에서 126°00'E, 36°10'N에서 37°00'N 범위에서 위경도 10' 간격으로 30개를 선정하였다. 해양과 기상의 일변화를 관측하기 위해 7월 8일 19시부터 7월 9일 19시까지 24시간 동안 시간별로 정점 A1에서 CTD(Conductivity Temperature Depth, Model: SBE 19)를 이용하여 수심별 수온과 염분을 관측하였고, 기상관측선에 설치된 선박용 AWS(Automatic Weather System)를 이용하여 기온, 습도, 바람 그리고 해면기압을 관측하였다. 서해 중부해역의 해양기상 특성을 조사하기 위해 매 시간마다 각 정점별로 이동하면서 위와 같은 방법으로 관측하였다. Table 1은 해양/대기 관측 일정 및 방법을 정리한 것이다. 관측된 자료로부터 현열속( $Q_H$ : sensible heat flux) 및 잠열속( $Q_E$ :

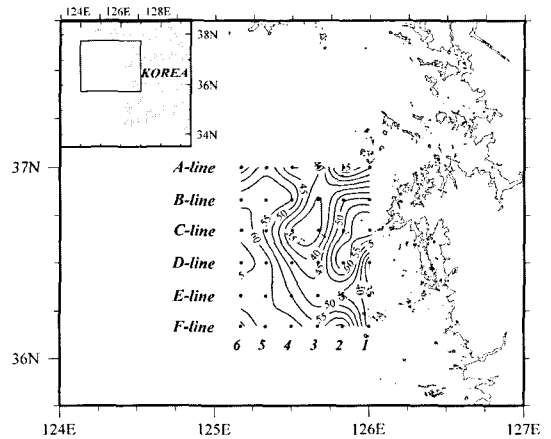


Fig. 1. Geographical points of the target observation in the mid-Yellow sea area. Contours mean lines of equi-sea depth and dots represent the locations of target observation.

Table 1. Summary of the target observation.

Station No.	Period	Instruments & Measurements
A1	19 h 08 July - 19 h 09 July	CTD: depth, sea temperature, salinity
A1~F6 (30 stations)	19 h 09 July - 05 h 11 July	AWS: air temperature, wind, humidity, air pressure

latent heat flux)을 계산하였다. 이 계산에는 Kondo (1975)의 경험식으로부터 현열속과 잠열속의 벌크 교환계수를 구하였다.

### 자료분석

#### 서해중부해역의 해양기상 특성

서해 중부 해역은 조석의 강하게 작용하며 천해에서는 조석에 의한 마찰의 작용으로 저층의 황해냉수와 표층수가 혼합된다. 그래서 성층을 이루고 있는 외해수와 혼합수인 연안수 사이에 전선이 형성되는데 이것을 조석전선(Tidal front)이라고 한다. 연안역에서 고온의 상층수와 저온의 하층수가 혼합되면 외해역보다 상층의 수온은 낮아지고, 하층의 수온은 올라가게 된다(Lie, 1989; Seung *et al.*, 1990). 이와 같은 현상은 Fig. 2의 표층수온 분포도에서도 나타난다. 관측 지역의 지형이 A1과 A2, C3와 C4에서 수심 35m 이하의 천해이므로(Fig. 1), 천해 영역과 유사하게 표층수온은 태안반도 연안역과 C3와 C4에서 18°C 이하의 낮은 값이 나타났으며, 수심 50m 이상의 해역에서는 수온 22°C 이상의 난수역이 나타났다(Fig. 2).

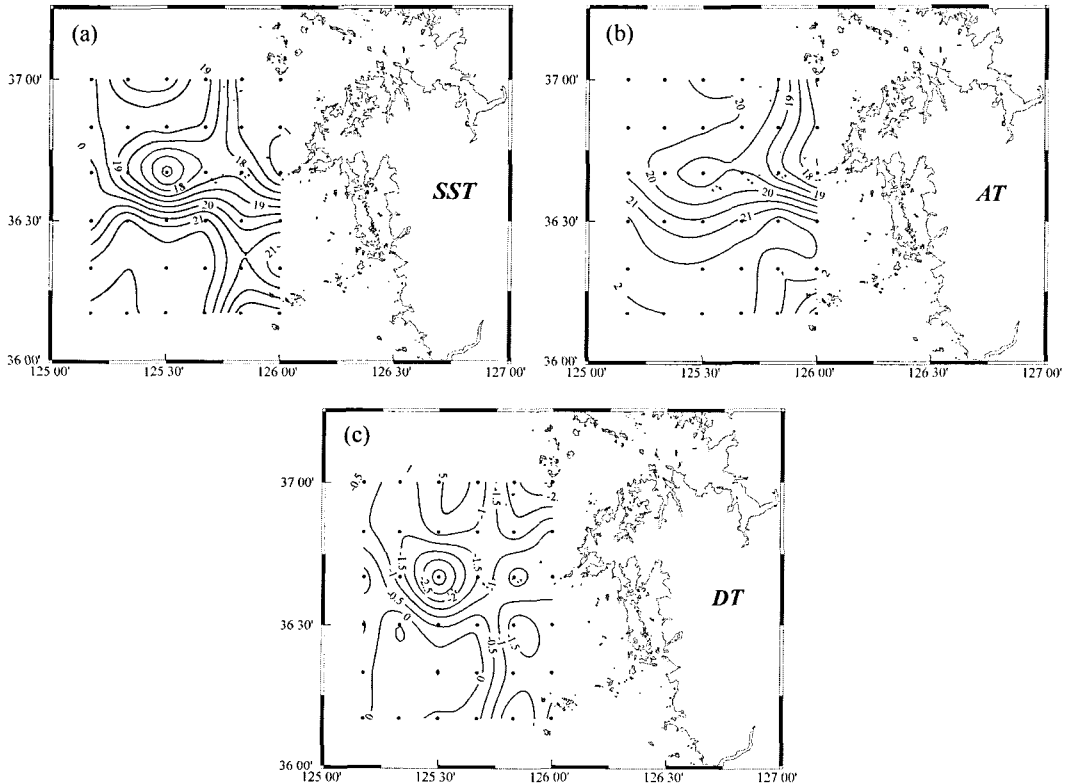


Fig. 2. Mean distributions for the observation period (9-11, July 2002) of (a) sea surface temperature, (b) air temperature and (c) the difference between (a) and (b).

조석전선은 냉수역과 난수역 사이 높은 수온구배를 보이며 정선 C와 D 사이에 정선을 따라 형성되어 있다.

표층수온은 선상의 AWS로부터 관측된 기온에도 영향을 주어 기온이 표층 수온과 같은 양상으로 태안반도 연안역과 C3과 C4에서 19.5°C 이하의 낮은 값을 보였고, 정선C와 D사이에 2°C의 기온구배를 나타냈다(Fig. 3a). 표층수온이 낮은 태안반도 앞바다와 C3와 C4에서 높은 해기차를 보였고 수온이 높은 외해역에서는 해기차가 0에 가까운 낮은 값을 보였다(Fig. 3b). 태양복사 에너지와 해수의 물리적 작용에 의해 표층수온은 지형에 따라 변화하게 되며 이것이 기온에 반영되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 각 정선별 수온의 수직분포도를 나타낸 것이다. 전체적으로 관측해역에서 수온은 8-22°C 분포를 나타내며, 정선 A-C에서 뚜렷한 수온약층이 나타나지 않으나, 정선 D-F에서 수심 10-20m 사이에 강한 수온약층이 형성되어 있다. 이로부터 혼합역(정선 C)과 성층역(정선 D) 사이에 조석전선이 위치하

고 있음을 알 수 있다. 정선 A, B, C는 수온약층 이심에 9-12°C로 남부해역(정선 D-F)의 저층수보다 수온이 약 1-3°C 높게 나타난다. 정선 C에서는 경도 125.4E를 중심으로 연안에서 상하 연속적으로 균질한 분포를 이루는 혼합역과 외해에서 상하 높은 수온경도를 이루는 성층역으로 구분된다. 정선 D-F는 수온 9-20°C 사이에 수직수온경도가 0.2°C/m의 강한 수온약층을 형성하며, 정점 1, 2의 연안역에서 약한 연속 혼합이 일어나고 있다. 이러한 결과는 전선의 위치에 약간의 변화가 있을 뿐 이전에 연구되었던 조철호와 승영호(1989), 신상익과 승영호(1993)의 결과와 유사한 모습이다(Fig. 3).

#### A1 지점에서 해양기상요소의 일변화 분석

서해는 반일주조가 우세한 혼합조로서 일조부등이 매우 적고 1일 2회조로 하루에 두 번 저조와 고조가 나타난다(이석우, 1992). 관측기간 중 덕적도 지역에서 조석에 대한 정보는 Table 2와 같다. Fig. 4는 관측기간 중 정점 A1에서 해수면 변화와 조류 변화를

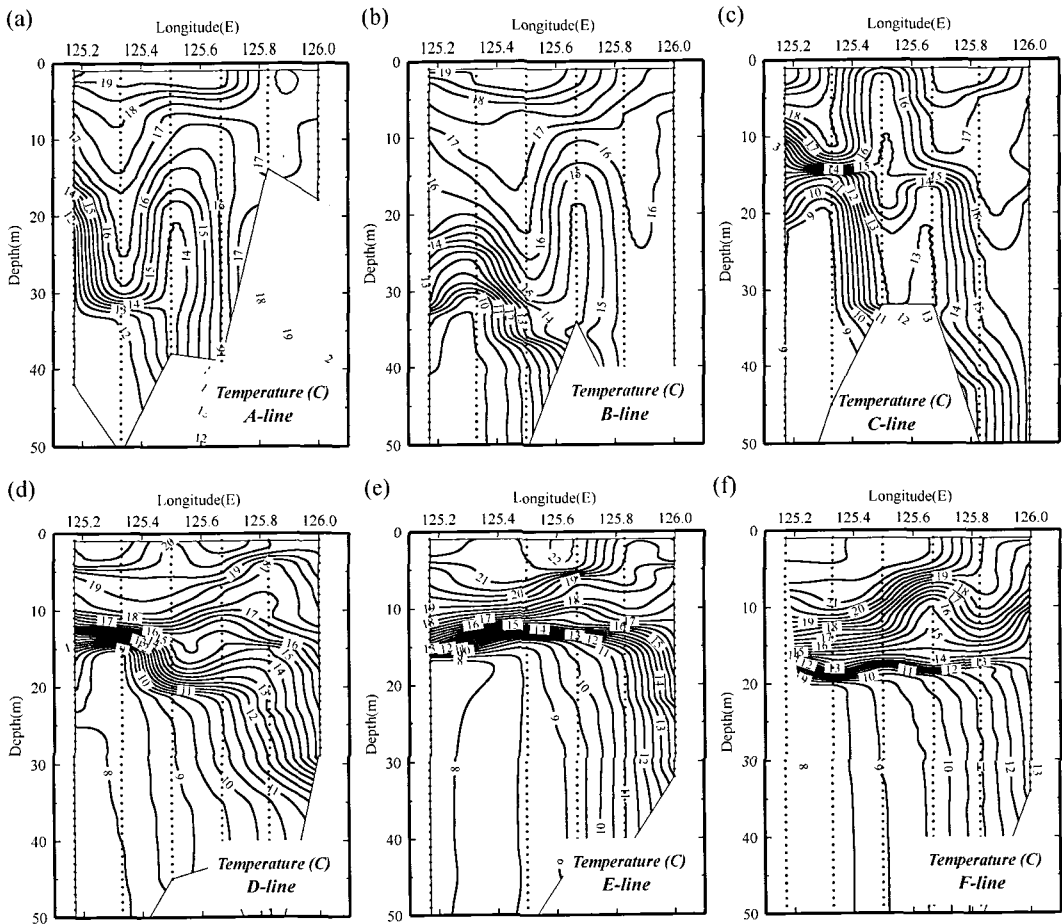


Fig. 3. Mean profiles of sea temperature along the observation lines from A to F during 9~11, July 2002.

Table 2. Tide information at Dukjuk island provided by NORI (National Oceanographic Research Institute).

		High Water	Low Water	High Water	Low Water
8 July 2002	Time	3:27	9:36	15:32	21:37
	Height (m)	7.0	2.3	6.5	1.4
9 July 2002	Time	4:15	10:26	16:22	22:24
	Height (m)	7.4	2.0	6.7	1.1

백터로 보여주고 있다(해양조사원). 조석은 1일 2회 조인 서해 조석의 전형적인 모습을 보여주고 있고, 조류타원의 장축이 북동-남서 방향으로 되어있다. 관측지역의 복잡한 지형과 주변의 섬으로부터 영향을 받아 조류는 창조류(flood current)와 낙조류(ebb current)가 비대칭적으로 나타나는 반일부등주조이며, 낙조류는 창조류에 비하여 유속이 더 강하고, 발생시간도 더 길게 나타난다. 정점 A1에서 시간에 따른 수온의 변화를 보면 창조류시(7월 9일 0시~5시, 13시~16시)에는 점차적으로 수온이 감소하고 염분이 증가

했으며, 낙조류시(7월 8일 15시~7월 9일 0시, 5시~13시)에는 점차적으로 수온이 상승하고 염분은 감소하여 조류의 주기와 수온·염분의 변화 주기가 거의 유사한 것으로 나타났다(Fig. 5a-d). 이것은 외해역에서 수온 16°C, 염분 31.62psu, 연안역에서 수온 17.5°C, 염분 31.48psu인 해수가 조류에 따라 전진과 후퇴하면서 정점 A1에서 수온이 조류에 따라 변화하는 것이다.

Fig. 6은 NOAA위성으로부터 산출된 SST분포도이다. 관측시기에 표층 저온역의 중심은 태안반도 북서

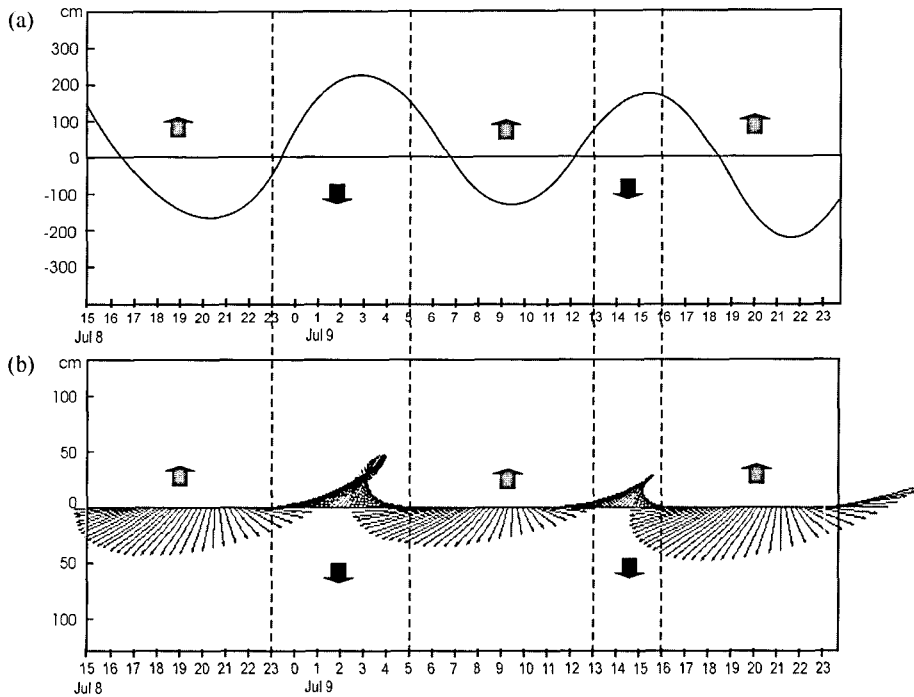


Fig. 4. Time variation of (a) sea level height and (b) tidal current measured at A1 during 8-9, July 2002. Arrow means increasing trend (↑) and decreasing trend (↓) of sea temperature. Provided by NORI.

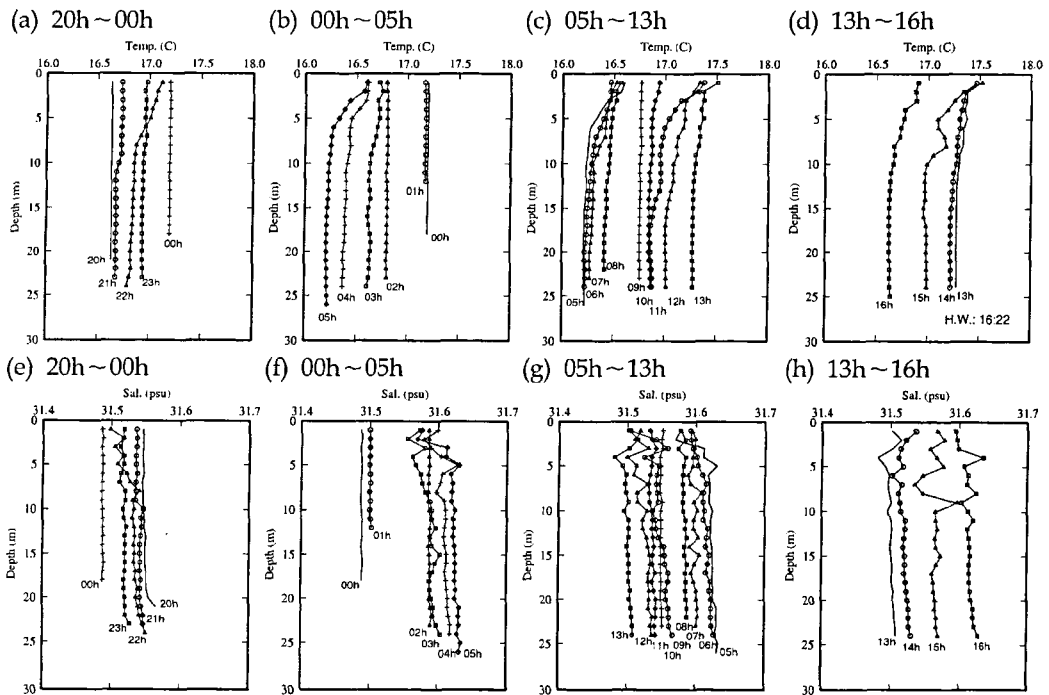


Fig. 5. Sequence of profiles of sea temperature (upper) and salinity (lower) measured at A1 for 9, July 2002(H.W.: High Water, L.W.: Low Water).

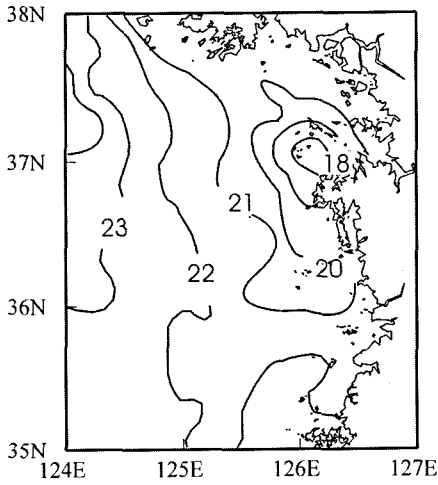


Fig. 6. Mean distribution of sea surface temperature during 9~15, July measured from NOAA-12, 14, and 15 satellites.

쪽에 위치하였으며, 18-21°C 등온선의 분포가 관측과 일치한다. 정점 A1는 저온역 중심에 해당된다. 태양 복사 에너지와 방류수에 영향을 받는 경기만 연안(정점 A1 동북부)의 고온저염수와 황해 저층수의 영향을 받는 저온고염수(정점 A1의 남동부)가 중심축이 북동-남서인 조류에 의해 북동쪽으로 밀려나가고 남동쪽으로 밀려오면서 정점 A1의 물성에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

관측기간동안 해무는 7월 8일 23시에 발생하여 9일 1시 30분에 소멸하였고, 3시에 다시 발생하여 6시에 소멸되었다. Fig. 7은 정점 A1에서 AWS로부터 관측된 풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압과 CTD로부터 관측된 표층수온의 변화를 나타내고 있으며, 안개발생 시기는 □로 표시하였다.

해무가 발생하기 8시간 전인 8일 15시경에 기상요

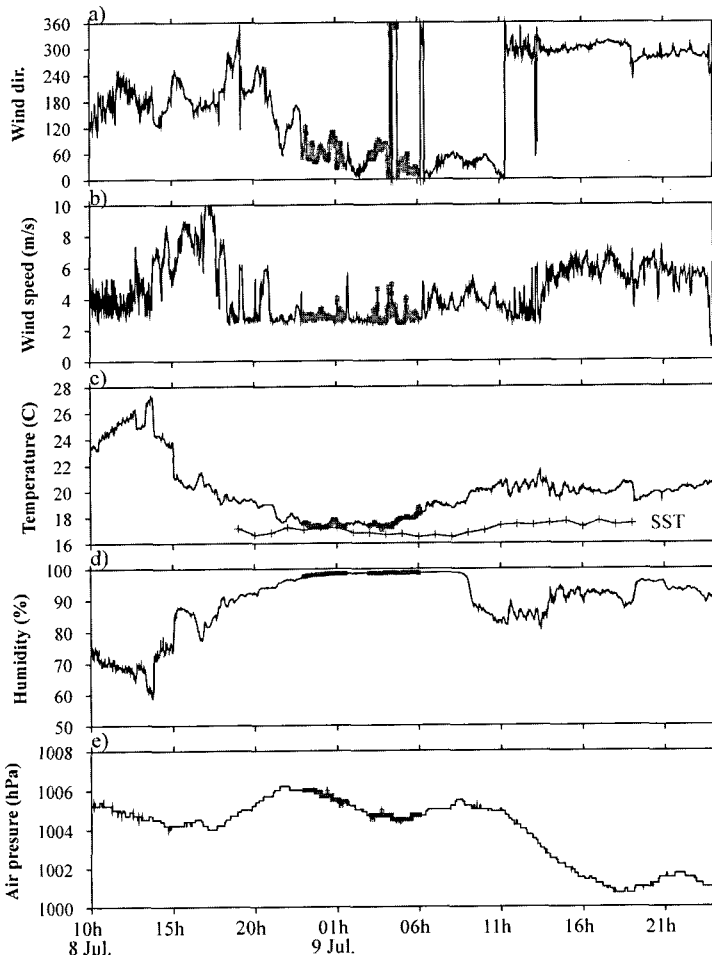
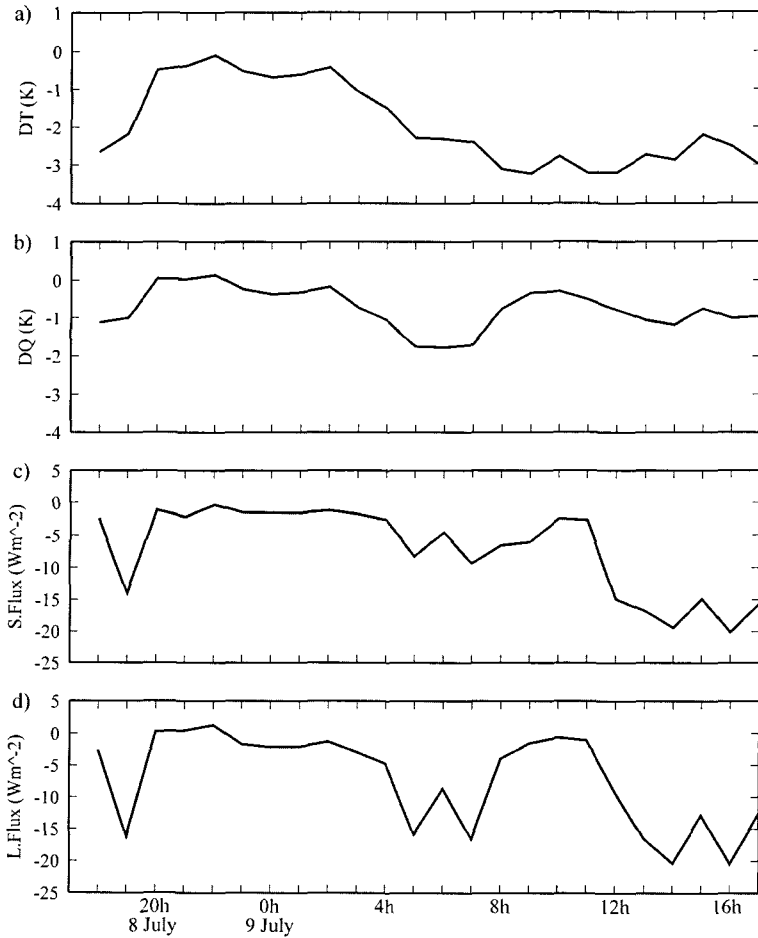


Fig. 7. Time variation of (a) wind direction, (b) wind speed, (c) air and sea surface temperature, (d) humidity, and (e) air pressure during 24 hours from 8 to 9, July 2002. □ indicates the time of sea fog.



**Fig. 8.** Time variation of the differences of (a) temperature, (b) humidity, (c) sensible heat flux, and (d) latent heat flux between sea surface and air during 24 hours from 8 to 9, July 2002. Shaded area indicates the duration time of sea fog.

소가 변화(풍향: 남서→남동, 풍속: 5→8m/s, 기온: 3°C 하강, 습도: 13% 증가)하였다. 7월 8일 13시에서 18시 사이에 남풍계열(150~250°)의 바람이 6~10m/s의 풍속으로 강하게 불어서 우리나라 해상에 고온다습한 공기를 공급되었다. 풍속이 4m/s 이하로 약해지고, 풍향이 북풍-북동풍으로 전환되면서 안개가 발생하였으며 풍속이 4m/s 이상으로 강해지면서 소멸되었다(Fig. 7a,b). 기온은 8일 일조시간에 26°C 이상까지 상승하였지만, 첫 번째 안개발생시인 23시에서 1시 30분까지 수온과 같은 수준으로 낮아졌고, 두 번째 안개발생시인 9일 3시에서 6시에도 17~18°C까지 하강하였다. 6시 이후 기온이 올라가면서 안개는 소산되었다(Fig. 7c). 상대습도는 안개발생시에 98%를 나타내었고, 안개 소멸 후 3시간이 지난 뒤에 90%

이하로 하강하였다(Fig. 7d).

관측기간 중 발생한 안개는 고온다습의 남풍계열 바람으로 인해 수증기가 충분히 공급된 상태에서 차가운 북풍계열의 바람이 유입되면서 기온이 하강하고, 수증기가 포화되어 발생한 것으로 보인다. 풍속이 강하면 난류에 의한 수직혼합이 왕성하므로 안개가 발생하지 못하고, 바람이 너무 약하면 안정층을 형성하여 얇은 접지역전에 국한된 안개를 발생시키게 되는 데(민병인, 1986), 안개발생시에 풍속이 2~4m/s로 불어 해무가 발생하기 적절한 조건을 나타냈다.

Fig. 8은 해양-대기 사이 온도차(DT) 및 습도차(DQ), 현열( $Q_H$ ) 및 잠열( $Q_E$ )의 시간에 따른 변화를 나타낸 것이며, 해무발생시간을 빗금으로 나타내었다. DT, DQ,  $Q_H$  그리고  $Q_E$ 의 절대값이 첫 번째 안개발

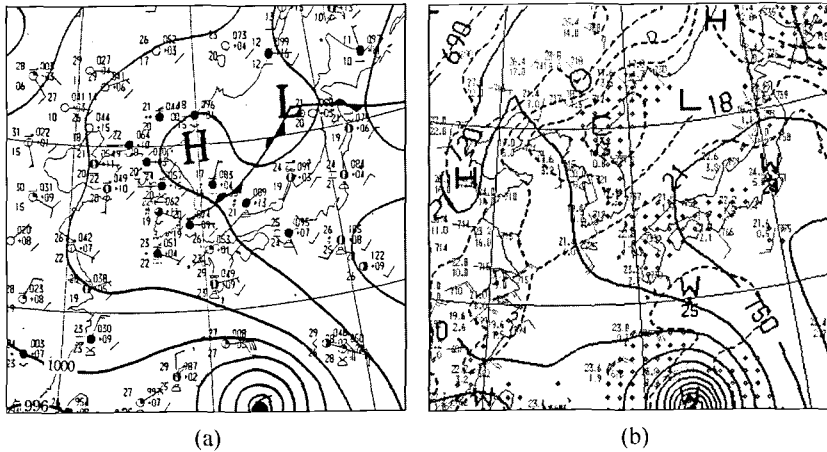


Fig. 9. Weather analysis charts of (a) surface and (b) 925hPa at 21 LST, 08 July 2002.

생에서는 작은 값을 보였지만 두 번째 안개발생에서는 점점 더 증가하는 것으로 나타났다. DT와 DQ의 변화로부터 공기 중 기온이 낮고 상대습도가 높을 때 해무가 발생하며,  $Q_H$ 와  $Q_E$ 의 절대값 변화로부터 해양과 대기간에 열이동이 둔화될 때 공기층이 안정되어 안개를 유지시키는 것으로 보인다. 기온과 수온이 같을 경우, 대류(Thermal convection)는 거의 일어나지 않으므로 난류는 약해지고 공기가 포화되어 안개를 형성할 수 있는 조건이 만들어진다(Telford and Chai, 1984).

**해무발생기작**

해무발생시 기상요소의 종관상태를 분석하기 위하여 안개 발생시간을 중심으로 지상일기도를 분석하였다. 관측기간 중 북서 태평양에 중심을 두고 있는 북태평양 고기압은 일본열도 남단에 위치하여 있으며, 오호츠크해 고기압은 사할린에서 한반도 북부지역으로 세력을 미치고 있다. 이 사이에 위치한 장마전선은 화남지방에서 남해안을 거쳐 일본북쪽 해상을 따라 형성되어 있다. 서해안을 따라 남동풍이 불어오고 있으며 기압경도가 완만하여 바람이 약하게 나타나고 있다(Fig. 9a). 안개발생시 등온선과 수분분포를 분석하기 위해 지상의 영향은 받으나 지형의 영향을 비교적 적게 받는 925hPa 일기도를 분석하였다. 일본 북부해상에서 동해를 거쳐 한반도까지 온도골이 형성되어 있으며 원산반 부근에 cold core가 위치하여 있다. 북태평양 고기압 연변을 따라 한반도로 유입되는 고온다습의 남동류가 cold core와 만나 한반도 북동

부에 습수 구역을 형성하고 있다(Fig. 9b). 남동쪽으로부터 습한 공기가 유입된 후, 찬 북동류가 약하게 불어 들어오면서, 안개가 형성될 수 있는 상태가 만들어진 것으로 생각된다.

Fig. 10은 GMS 위성영상 중 해무분석 자료와 SST 분석자료이다. 정체전선(장마전선)이 오호츠크해 고기압과 북태평양 고기압 사이에서 연해주에서 남해안을 거쳐 화남지방에 이르는 지역에 형성되어 있으며, 관측지역은 맑은 구역에 들어 있다. 북태평양 고기압이 수축하면서 풍향 변화와 함께 관측지역에서 18~20°C의 저온의 공기가 이루어졌다. 이 때 안개는 SST가 25°C 이상으로 고온을 나타내는 산둥반도 동안과 발해만으로부터 발생하였고 이것이 한반도 서해 중부까지 이루어진 것으로 보인다(Fig. 7, 10).

Fig. 11은 백령도 고층관측결과 중 안개형성 전후에 나타난 상층의 기온과 노점 온도를 Skew T-log P diagram을 이용하여 나타내었다. 안개형성 2시간 전 0821 LST에 지상에서 700hPa까지 남서풍이 불고 있으며, 그 상층에서는 북서풍이 불고 있다. 안개 소멸 후 3시간 후인 0909 LST에 하층에서 남동풍이 약해지고 있으며, 북서풍이 전시간보다 하강하여 700hPa까지 영향을 주고 있다. 지상에서 700hPa까지 0821 LST에는 습윤한 상태를 보였지만 0909 LST에는 노점편차가 커져 공기층이 건조해진 것을 알 수 있다. 이 안개는 형성되기 전에는 지상에서 700hPa까지 습도가 높아지면서 서서히 발생하며 소멸될 때는 짧은 시간에 이루어지는 것을 알 수 있다.



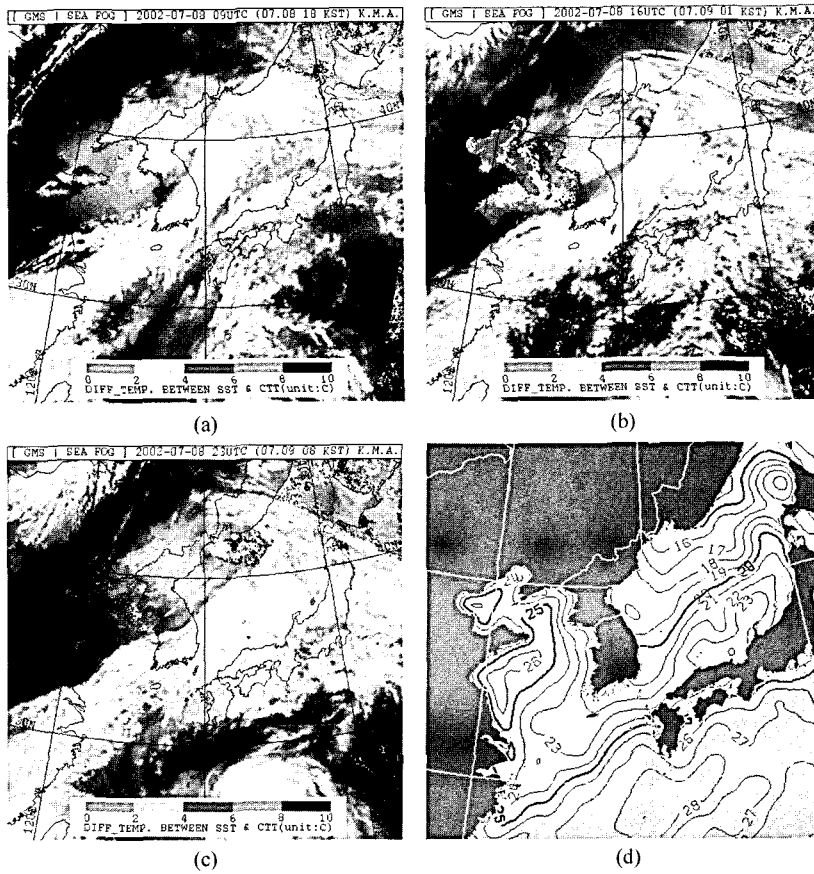


Fig. 10. The GMS satellite images of sea fog at (a) 18 LST 8 July, (b) 01 LST 9 July, (c) 08 LST 9 July. (d) Image of weekly mean of sea surface temperature for 4~10 July, 2002.

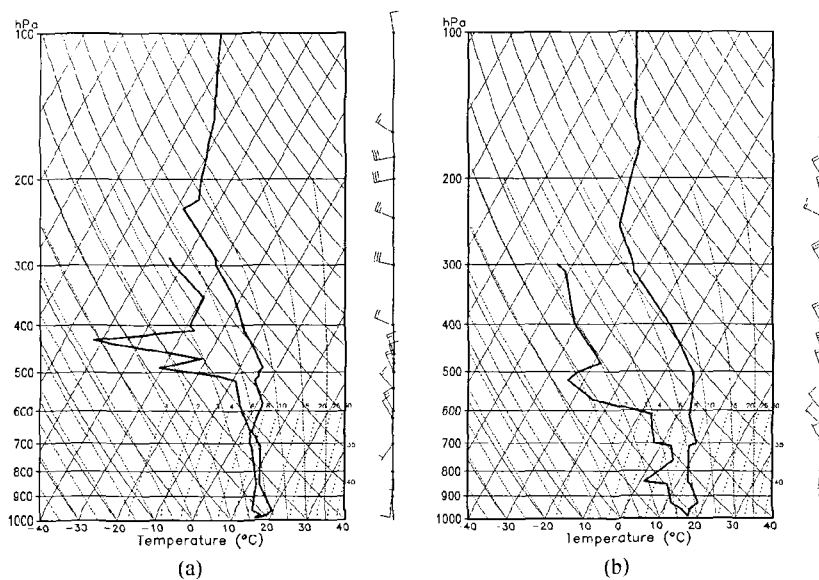


Fig. 11. Skew T-Log P diagrams in Paengnyongdo at (a) 21 LST 8 July and (b) 09 LST 9 July, 2002.

## 토의 및 결론

본 연구에서는 서해중부해역에서 2002년 7월 8일에서 11일까지 CTD와 AWS를 이용한 해양-기상 동시관측이 이루어졌다. 표층에서 수심 35m 이하인 정점 C4와 45m 이상인 정점 D4 사이에 5°C의 구배를 나타내며 정선 C와 정선 D 사이에 정선을 따라 조석전선이 형성되어 있었다. 조석전선을 사이에 두고 정선 A에서 C까지 수온약층이 발달하지 않았지만 D에서 F까지 수심 10-20m 사이에서 10°C 이상의 높은 수온구배를 형성하고 있었다. 천해역(정점 C3, C4)에서 낮은 수온은 선상에서 관측된 기온에 영향을 주어 조석전선이 위치한 정선 C와 D사이에 약 2°C의 기온구배를 나타내었다.

정점 A1에서 24시간 연속관측결과 중심축이 북동-남서인 조류의 영향을 받아 태양복사에너지와 방류수의 영향을 받는 고온저염수가 낙조류시에 북동쪽으로부터 밀려오고, 황해 저층수의 영향을 받는 저온고염수가 창조류시에 남동쪽으로부터 밀려오는 것이 관측되었다.

관측당시 우리나라 남해안은 장마전선의 영향으로, 동해안은 북동류의 영향으로 강수가 있었다. 관측해역은 대체로 맑은 날씨였고, 8일 23시에서 9일 1시 30분까지, 9일 3시에서 6시까지 해무가 발생하였다. 안개가 형성되기 전인 8일 낮까지 북태평양 고기압의 영향으로 관측지역으로 풍속 6-10m/s의 남동류가 지속적으로 유입되면서 기온이 27°C까지 상승하였고,

표층수온도 상승하였다.

낮에는 북태평양 고기압의 세력이 강해지면서 정체전선이 북상하였고 황해의 표층수온은 상승하였다. 밤이 되면서 북태평양 고기압의 세력은 약해지고 상대적으로 오호츠크해 고기압이 강해지면서 황해상에 찬기류가 이루어졌고 정체전선은 한반도 남해안까지 남하하였다. 이 영향으로 바람은 2-4m/s의 북동류로 전환되었고 기온은 18°C로 하강하였다. SST가 높게 나타나는 발해만과 산둥반도 동안을 중심으로 안개가 발생하였고 이것이 관측지역까지 영향을 준 것으로 보인다. 안개는 따뜻한 해수면 위에서 뿐 아니라, 차가운 해수면 위에서도 발생한다. 따뜻한 해수면 위에서 안개발생은 Petterson(1938)의 연구를 시작으로 Oliver and Williamson(1978), Pilie *et al.* (1979) 등이 연구되었으며, 따뜻한 해수면위로 차가운 공기가 이루어지면서 공기가 불안정해지면서 발생하는 것으로 알려져 있다. 차가운 해수면 위에서 안개발생은 따뜻한 공기가 차가운 해수면 위를 지날 때, 수면 위에서부터 냉각되어 역전층을 형성하게 되는데(Taylor, 1917, Leipper, 1948), 이것을 이류역전층(advective inversion layer)이라고 하며 안개는 역전층 아래 불안정 해양 경계층에서 존재하게 된다. 관측기간에 발생한 안개는 Pilie *et al.* (1979)의 스케치 그림처럼 찬기류가 cold core가 위치한 차가운 지역으로부터 북동류를 타고 따뜻한 해수면 위로 이동해 오면서 안개가 발생했다고 할 수 있다(Fig. 13). 이 안개는 대기에 비해 반응이 느린 따뜻한 해수면위로 차가운

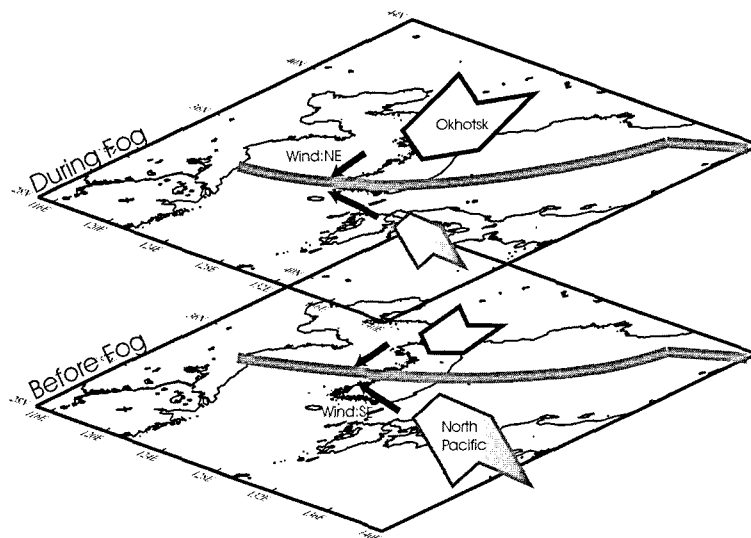


Fig. 12. Schematic of synoptic systems of the duration of sea fog (upper) and before the generation of sea fog (lower).

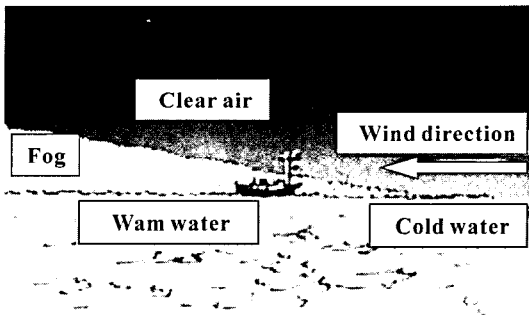


Fig. 13. Sketch of steam fog. Adopted from Pilie *et al.* (1979).

기단이 이루어지면서 수면으로부터 수증기의 증발에 의해 해무가 발생된 증기안개(steam fog)이다. 안개는 태양복사 에너지(solar radiation), 저층 구름의 이류(advection of low-level cloud), 안개보다 높은 구름층(cloud cover), 강한 바람으로 인해 소산되는 것으로 알려져 있다(John, 1981). 관측기간 중 기온과 풍속의 상승시에 해무가 소산되었으므로 태양복사에너지와 강한 바람이 이 해무의 소산 원인이 된다.

## 사 사

본 내용은 2002년도 기상청 기상연구소의 ‘해양기상 관측 부이 및 장비운영’ 및 ‘영종도 주변해역의 해무예측 연구’의 일환으로 이루어졌습니다. 아울러 야간 관측을 위하여 밤잠도 설치면서 도움을 주신 “기상2000” 호 선장님 이하 승선원께 감사드립니다.

## 참고문헌

국립해양조사원, 2001, 2002년 조석표(한국연안). 서지 제 510호, 11-1520290-00011-10, 125 p.  
 김성삼, 이내영, 1970, 한국 안개 기후구 설정에 관하여. 한국기상학회지, 6(1), 1-15.  
 이석우, 1992, 한국근해해상지. 집문당, 181 p.  
 민병언, 1986, 해양기상학, 한국해양대학교 해양도서출판부, 185 p.  
 신상익, 승영호, 1993, 혼합을 개념을 이용한 서해 중부 조석전선의 수치모델. 한국해양학회지, 28(2), 121-131.  
 조철호, 승영호, 1989, 경기만 일대의 조석전선 조사연구. 황해학회지, 2, 51-61.  
 Byers, H.R., 1930, Summer sea fogs of the central California coast. Publications in Geography, University of California, 3, 292-338.

Filonczuk, M.K., D.R. Cayan, and L.G. Riddle, 1995, Variability of marine fog along the California coast. Scripps Institution of Oceanography Rep. 95-2, 102 p.  
 John Mason, 1981, The physics of Radiation Fog. Journal of Meteorological Society of Japan, 6(1), 486-498.  
 Kim, T.H., S.O. Hwang, Y.J. Kang, J.C. Nam, 2001, Analyses of heat flux in the southeastern part of the Yellow Sea. Journal of International society of Yellow Sea Research, 7(1), 15-21.  
 Kondo, K., 1975, Air-sea bulk coefficients in diabatic condition. Boundary-Layer Meteorology, 9, 91-112.  
 Korain, Darko, John Lewis, William T. Thompson, Clive E. Dorman, Joost A. Businger, 2001, Transition of Stratus into Fog along the California Coast: Observations and Modeling. Journal of the Atmospheric Sciences, 58(13), 1714-1731.  
 Leipper, D. F., 1948, Fog development at San Diego, California. Journal of Marine Research, 7, 337-346.  
 Lie, H.J., 1989, Tidal fronts in the southwestern Hwanghae (Yellow Sea). Continental Shelf Research, 9, 527-546.  
 Na, J.Y. and J.W. Seo, H.J. Lie, 1999, Annual and seasonal variation of the sea surface heat fluxes in the east Asian marginal seas. Journal of Oceanography, 55, 257-270.  
 Na, J.Y. and J.W. Seo, 1992, Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korea Peninsula. Journal of the Korean Society of Oceanography, 27(1), 1-10.  
 Nam, J.C., S.O. Hwang, T.H. Kim, E.J. Seo, 2001, Analyses of a sea fog using intensive upper-air and ocean observation data on an observation ship. Journal of Korea Meteorological Society, 37(3), 253-260.  
 Oliver, D., W. Lewellen, and G. Williamson, 1978, The interaction between turbulent and radiative transport in the development of fog and low-level stratus. Journal of the Atmospheric Sciences, 35(2), 301-316.  
 Park, M.J. and H.J. Oh, 2001, Annual variation of water masses in the eastern Yellow Sea and South Sea of Korea. Proceedings, PAMS/JECSS Meeting, Cheju, Korea.  
 Petterson, S., 1938, On the cause and the forecasting of the California fog. Bulletin of the American Meteorological Society, 19, 49-55.  
 Pilie, R. J., E. J. Mack, C. W. Rogers, U. Katz, and W. C. Kocmond, 1979, The formation of marine fog and the development of fog stratus systems along the California coast. Journal of Applied Meteorology, 18(10), 1275-1286.  
 Pingree, R.D., and D.K. Griffiths, 1978, Tidal fronts on the shelf seas around the British Isles. Journal of Geophysical Research, 83, 4615-4622.  
 Seung, Y.H., J.H. Chung and Y.C. Park, 1990, Oceano-

- graphic studies related to the tidal front in the Mid-Yellow Sea off Korea: Physical Aspect. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 25(2), 84-95.
- Tag, Paul M., James E. Peak, 1996, Machine learning of maritime fog forecast rules. *Journal of Applied Meteorology*, 35(5), 714-724.
- Taylor, G. I., 1917, The formation of fog and mist. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 43, 241-268.
- Telford, J., and S. K. Chai, 1984, Inversions and fog, stratus and cumulus formation in warm air over cooler water. *Boundary-Layer Meteorology*, 29, 109-137.
- Telford, James W., Steven K. Chai, 1993, Marine fog and its dissipation over warm water. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50(19), 3336-3349.
- Vislocky, R.L. and J.M. Fritsch, 1997, An automated observations-based system for short-term prediction of ceiling and visibility. *Weather and Forecasting*, 12(1), 31-43.

---

2003년 1월 20일 원고 접수  
2003년 4월 9일 수정원고 접수  
2003년 5월 24일 원고 채택