

2007년 2월
박사학위논문

西海 中部沿岸의 海霧發生과
內陸流入에 관한 研究

조선대학교 대학원

대기과학과

정병욱

2007년 2월

박사학위논문

西海

中部沿岸의

海霧發生과

內陸流入에

관한 研究

정병욱

西海 中部沿岸의 海霧發生과
內陸流入에 관한 研究

*A Study on the Formation and Inflow of Sea Fog
over the Mid Western Coastal Area*

2007년 2월 23일

조선대학교 대학원

대기과학과

정병욱

西海 中部沿岸의 海霧發生과
內陸流入에 관한 研究

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학박사학위신청 논문으로 제출함.

2006년 10월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

정 병 옥

정병옥의 박사학위 논문을 인준함

심사위원장 기상연구소 이학박사 정 효 상 인

심사위원 조선대학교 교수 류 찬 수 인

심사위원 기 상 청 공학박사 이 종 호 인

심사위원 조선대학교 명예교수 조 주 환 인

심사위원 부산대학교 이학박사 이 순 환 인

2006 년 12 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

List of Tables	i
List of Figures	ii
ABSTRACT	v
I. 서 론	1
II. 연구범위 및 자료	3
A. 연구범위	3
B. 研究에 사용된 자료	4
III. 통계적 분석	7
A. 안개의 월별 분포	7
B. 일 중 시간에 따른 안개의 분포 양상	9
C. 氣壓系類型에 따른 해무의 발생빈도	11
D. 해무발생 시 풍향과 풍속	15
IV. 해양·대기 상호작용과 해무발생	19
A. 수온과 기온의 월별 분포	19
B. 해무발생과 해양·대기간 열교환의 관계	21
C. 조석전선(潮汐前線)과 해무발생	30
D. 해수온도와 상층관측자료와의 관계	34
V. 발생한 해무의 내륙유입	36

A. 시간별 해무의 내륙유입 분포	36
B. 해무유입과 만조(滿潮)시간과의 관계	37
C. 해무의 내륙유입과 난류	38
D. 數值 <i>model</i> 을 이용한 사례분석	41
E. 위성영상과 실황을 통한 검증	48
VI. 결론	55
참고문헌	59
부 록	62

List of Tables

Table 1. Observation data used for this study	6
Table 2. The monthly frequencies of dense fog less than 1 mile for each observatory	7
Table 3. The features of each synoptic pattern	12
Table 4. The frequencies(%) of synoptic pattern that causes monthly sea fog	14
Table 5. The thermal gradient between the sea and the air(850, 1000hpa), and the frequencies of fog depending on the upper air wind, when sea fog persists for more than 3hours a day(April through July between 1997~2005)	35
Table 6. The specification of Numerical weather forecast Model for this experiment simulation	42
Table 7. The observation data for 04KST July 25th, 2000	49
Table 8. The observation data for 17KST May 03th, 2001	50
Table 9. The observation data for 15KST May 05th, 2002	52
Table 10. The observation data for 08KST April 29th, 2005	53
Table 11. The observation data for 10KST June 24th, 2005	54

List of Figures

Fig. 1 The interested domain of this study	2
Fig. 2 The concept of Aviation Weather Short Range Prediction System	5
Fig. 3 The monthly frequencies of severe visibility less then 1 km by fog	8
Fig. 4 The frequencies of fog depending on time	10
Fig. 5 The synoptic pattern for severe visibility less then 1km by fog	13
Fig. 6 The frequencies(%) of fog on wind direction	16
Fig. 7 The wind speed of maximum occurrence of fog at each station.	18
Fig. 8 The monthly average distribution of SST and air temperature	20
Fig. 9 The monthly distribution of SST- air temperature	20
Fig. 10 The monthly distribution of a latent heat and a sensible heat over the western coastal area(a positive result means an amount of heat transfers from the sea to the air, while a negative one means an amount of heat transfers from the air to the sea.)	26
Fig. 11 The relationship between the time of sea fog occurrence and a sensible heat flux(a), latent heat flux(b)	27
Fig. 12 In the season(April through July) when sea fog frequently occurs, the thermal gradient between the sea and the air for the case that sea fog persists for more than 3 hours and for the case that sea fog does not form	28
Fig. 13 The sensible heat for the case that sea fog persists for over 3 hours and that sea fog does not form	29

Fig. 14 The latent heat for the case that sea fog persists for over 3 hours and that sea fog does not form	30
Fig. 15 The example of tidal front observed by an meteorological satellite on June 20~26th, 2005	32
Fig. 16 The Sea fog image of tidal front area	33
Fig. 17 The frequencies of sea fog a daily for SST-1000hPa temperature(a) and SST-850hPa temperature(b)	34
Fig. 18 Inland inflow of the sea fog the hourly	36
Fig. 19 The ratio(%) of High tide time and sea fog inflow	37
Fig. 20 The Movement of cloud liquid water and relative humidity which it follow at high tide hour for 07KST(up), 10KST (lower) February 09th, 2003	38
Fig. 21 Thermal Potential Model proposition	39
Fig. 22 The cross view of Sea and Land	40
Fig. 23 MTSAT Sea fog image for 0200~0500KST June 09th, 2006	43
Fig. 24 The visibility forecast of Numerical model for 0200~0500KST June 09th, 2006.	44
Fig. 25 The visibility forecast of Numerical model for 0700~1000KST June 9th, 2006	45
Fig. 26 A-B vertical profile of turbulence, cloud liquid water and wind vector simulated by Numerical model	46
Fig. 27 The change of turbulence depending on time simulated by Numerical model	47

Fig. 28 NOAA-14 FOG image for 04KST July 25th, 2000	48
Fig. 29 GMS Visible image for 17KST May 03th, 2001	50
Fig. 30 GMS Visible image for 15KST May 05th, 2002	51
Fig. 31 GOES-9 Visible image for 08KST April 29th, 2005	52
Fig. 32 GOES-9 Visible image for 10KST June 24th, 2005	54

ABSTRACT

A Study on the Formation and Inflow of Sea Fog over the Mid Western Coastal Area

Jung, Byeung-Ock

Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su, Ph.D

Department of Atmospheric Science,

Graduate School of Chosun Univ.

Sea fog causes not only enormous economic losses but also human resource ones, so it is very important to forecast sea fog exactly.

In spite of the fact that there were lots of sea fog study, thoes are not sufficient that the interaction between the sea and the air, which plays an important role in forming sea fog, and sea fog inflow into the land.

Based on Kyoungki bay where dense sea fog occurs frequently, this study, therefore, found out the features of sea fog for the costal region in the mid-West Sea by way of statistic correlation of the synoptic observation and the features of sea fog occurrence in the point of heat exchange process between the sea and the air. In addition, the mechanism of sea fog inflow into the land was figured out.

The results were summarized as follows ;

1. The frequencies of sea fog increase gradually from April, and July is the most frequent period of sea fog occurrence in spite of the fact the frequencies decrease from August. The frequencies in relation to time have the maximum period around 7 A.M and the minimum period around 15 P.M.
2. There are some synoptic patterns which facilitate a sea fog settlement, and they have periodic features. Sea fog frequently occurs in the high in the south and Low in the north synoptic pattern, and the High in the east and Low in the west synoptic pattern. Moreover, southwesterly winds are the main wind directions that cause sea fog.
3. The amount of heat is transferred to the sea, and the sea acquires more heat from the sensible heat than the latent heat because SST around Kyoungki bay is lower than the air temperature during summer.
4. In spite of the fact the amount of heat, transferred by a latent heat from the air to the sea, is more in case of sea fog settlement, the amount of heat, moved by a sensible heat, is almost the same regardless of whether sea fog settles or not. We, therefore, find out the degree of an air mass is an important factor for settling sea fog, as well as, the latent heat caused by a radiational cooling is very important factor.
5. It is judged that an ebb and flow front around Kyoungki bay and Taeon peninsula play an important role in the beginning of a sea fog settlement when we analyze the spatial distribution of the West Sea surface temperature. In other words, if an air mass moves across the direction of an ebb and flow front, it is considered that sea fog settles easily because the air is saturated and condensed.
6. Sea fog settles when SST is 1°C to 4°C lower than 1000hPa temperature and it is 1°C to 4°C higher than 850hPa temperature. And, sea fog forms most

frequently when the winds of 1000hPa and 850hPa are the southwest direction.

7. In the sea fog inflow into the land distribution, low frequencies of sea fog inflow during a day means that a sea wind doesn't play an important role in the movement of sea fog. It is considered that thermal blocking caused by radiational heating during a day prevents the sea fog from moving into the land.
8. The inflow of sea fog into the land was frequently occurred around the time before and after 2hours of a high tide time. It is considered that a high tide provides the land with a lot of amounts of humidity and it makes the thermal environment which is easy to inflow of sea fog.
9. The thermal blocking in the land is formed when air temperature in the land is 4°C or more higher than SST and it decreases the inflow of sea fog into the land. That is, sea fog doesn't move to the land under condition that the difference between T_A and T_{SS} is more than 4°C ($T_A - T_{SS} > 4^{\circ}\text{C}$)
10. Numerical Model shows a stable atmospheric feature in a sea fog location due to a moist Richardson number 1 through 4, in contrast to a negative value (means a strong turbulence) for the head of sea fog. Sea fog, formed under the stable condition, doesn't expand across a strong turbulence area.
11. This study has meaningful results of a regional wind direction and a speed, an ebb and flow front and a coast sea fog settlement, a humidity difference relating to visibility, the relation between the sea fog inflow into the land and a high tide, and the difference between SST and air temperature ($T_A - T_{SS} > 4^{\circ}\text{C}$) after we analyzed synoptic observations and satellite images which can scan the sea fog at the sea low level.

I. 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 반도로 형성된 우리나라는 해양의 영향을 많이 받는다. 특히 서해는 중국과 한반도 사이에 위치한 거대한 만의 海域으로, 서에서 동으로 이동하는 기압계(氣壓系)의 특성상 기상학적으로 매우 중요하다.

서해는 수심이 얕고 조수간만의 차가 크며 복잡한 해안선과 많은 도서로 이루어져 있어, 기상현상이 다양하고 복잡하게 나타난다. 서해상에서 일어나는 해양·대기의 상호작용은 해양과 대기의 열교환과정을 통한 열 및 수증기의 이동이 여름철 집중호우, 초여름의 해무(海霧), 겨울철 서해연안의 폭설 등에 중요한 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 그 중 해무는 이류무(移流霧)로서 아침시간에 국지적으로 발생하는 복사무(輻射霧)와는 달리 넓은 지역에 급격하게 시정을 악화시켜 각종 해난사고의 원인 중 38%를 차지할 정도로 인명 및 경제적 손실은 물론 내륙에 유입되어 농작물의 일조시간 감소, 교통사고, 항공기 이착륙지연 등 우리생활에 막대한 지장을 초래한다. 그러므로 해무의 발생과 발생한 해무의 내륙유입(內陸流入)에 대한 연구는 매우 중요하다.

해무는 해수면으로부터의 수증기의 공급과 다양한 물리적·역학적 원인에 의해 발생하며(남재철, 2002), 해당지역 기후인자(氣候因子)의 영향을 강하게 받는다(변희룡, 1997).

지금까지 해무의 발생을 이해하고 예측하기 위한 많은 연구들이 국내·외적으로 꾸준히 진행되어 왔다. Koziara et al.(1983)은 관측의 어려움을 보완하기 위하여 모델에서의 결과와 관측자료를 이용한 MOS(Model Output Statistics) 기법을 소개하고 예측 가능성을 보인바 있으며, Leipper(1994)는 종관분석과 관측자료를 바탕으로 역전층의 높이 변화에 따른 안개 예보법을 마련하기도 하였다. 국내에서도 해무의 발생특성과 예측에 관한 많은 연구들이 있었으며, 그 중에서 서해연안 해무에 대한 연구는 기상연구소(1986)의 연구와 조혜경(1996), 기상연구소 I(2000), II(2001), III(2002), 이충태(2006), 등의 연구가 있었다. 기상연구소(1986)는 서해중부연안에 나

타나는 안개를 연구하기 위해 서해연안의 기상청 관측소 관측자료와 특별관측자료(상층풍)를 이용하여 안개발생의 특성을 연구하여, 3월부터 안개발생이 증가하여 7월에 최대로 안개가 발생하고, 06시에서 09시 사이에 주로 발생하는 특성을 발견하였다. 조혜경(1996),은 신공항 건설예정지인 영종도 부근의 안개 특성과 안개의 成因을 분석하였다. 기상연구소 I(2000), II(2001), III(2002)와 이충태(2006)는 인천국제공항에서 발생한 안개를 유형별로 분류하여 유형별 안개의 특성을 연구하였으며, 안개사례를 항공기상대에서 운용중인 ‘항공기상 단시간 예측시스템’을 이용하여 수치실험 하였다.

이와 같은 연구는 서해상의 안개의 특성에 대한 중요한 연구결과를 얻었으나, 해무의 생성에 중요하게 작용하는 해양·대기간의 상호작용에 대한 연구와 해상에서 생성된 해무의 내륙유입에 대한 연구가 부족한 편이며, 위의 결과를 해무예보(海霧豫報)에 직접 이용하기에는 부족한 것이 사실이다.

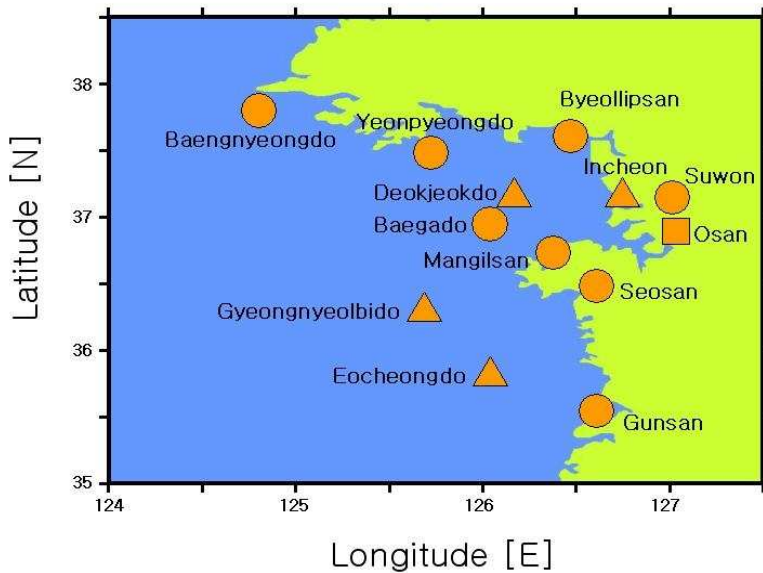


Fig. 1 The interested domain of this study

(●: synoptic observatory ▲: SST observation n : upper air observatory)

따라서 본 연구에서는 Fig. 1의 경기만을 중심으로, 서해중부연안 해무의 특성을 단일 기상요소와의 통계적인 相關性으로부터 구하고, 해양·대기 열교환 과정을 통한 상호작용 측면에서 해무의 발생특성을 알아본 후, 발생한 해무가 어떠한 메카니즘에 의해 내륙으로 유입되는가를 파악하고자 하며, 이를 통하여 보다 정확한 해무 예보와 해무로 인한 氣象災害를 예방하는데 본 연구의 목적이 있다.

II. 연구 범위 및 자료

A. 연구 범위

안개는 아주 작은 다수의 물방울이 대기 중에 떠있는 현상으로, 수평시정이 1km 미만일 때를 말한다(공군 기상총감, 1994). 수평시정이 1km 이상이며, 그 존재를 인식할 수 있을 때 薄霧(mist)라고 한다.

구름과 안개의 차이는 그 밑부분이 지면과 접하고 있는가 또는 떨어져 있는가에 따라 결정되며, 밑면이 지면과 접하고 있으면 안개(fog), 떨어져 있으면 구름(cloud)이라고 한다.

안개는 크게 냉각에 의한 안개와 증발에 의한 안개로 구분된다. 냉각에 의한 안개는 육상에서 야간 복사냉각에 의해 발생하는 복사무와 고온 다습한 공기덩어리가 상대적으로 차가운 지면이나 해수면을 지날 때 발생하는 이류무 등이 있고, 증발에 의한 안개는 찬 공기가 상대적으로 따뜻한 지면이나 해수면을 지나면서 증발에 의해 발생하는 증기무(蒸氣霧)와 기압골에 동반되어 전선면에서 발생하는 전선무(前線霧)가 있다

냉각에 의한 안개와 증발에 의한 안개를 구분하는 방법에는 수직적인 온도傾度를 이용한 방법 외에 지면의 수분 함유량과 수직적인 熱束의 比를 이용하여 결정하는 방법이 있다. 또한 안개층 내의 수직적인 liquid water 분포가 안개 상층에서

최대로 관측되면 이류무이고, liquid water의 수직적인 차이가 적으면 증기무로 구분하는 방법이 있다(Oliver, 1978).

본 연구에서는 35~39°N, 124~128°E의 지역에서 발생한 수평시정이 1km미만인 이류무를 대상으로 하였으며, 降雪이나 降雨로 인한 시정악화는 제외하였다. 또, 안개발생시 대기의 연직특성 연구를 위한 상층자료 분석은 850hpa고도까지이며, 그 이상의 고층자료는 수치자료를 제외하고는 고려하지 않았다.

B. 研究에 사용 된 자료

서해중부연안의 해무발생 특성과 발생한 해무의 내륙유입에 대한 연구를 위해 Table 1의 자료를 사용하였다.

가. 서해연안에 위치한 백령도, 연평도, 별립산, 망일산, 백아도, 수원, 서산, 군산 등 Fig. 1에 표시한 8개의 지점에서 관측한 정시관측자료(시정, 풍향, 풍속, 기온)를 사용하였으며, 관측기간은 서산은 1997년부터 2005년까지 9년, 그 외의 지역은 1990년부터 2005년까지 16년간이다. 정시관측자료는 해무발생 및 발생한 해무의 내륙유입특성을 연구하는데 사용하였으며, 해양·대기의 열교환량을 구하는데 사용하였다.

나. 해무가 자주 발생하는 氣壓系類型을 파악하기 위해 1990년부터 2005년까지 해무발생일의 공군기상전대 지상일기도(00UTC)자료를 이용하였다.

다. 해무발생 시 대기의 연직특성 연구를 위하여 오산에서 관측한 上層자료 중 1990년부터 2005년까지 16년간 매일 00UTC에 관측된 1,000hPa, 850hPa 고도의 풍향, 풍속, 기온, 露點溫度 등을 사용하였다.

라. 해수면 수온은 덕적도 Buoy관측과 인천, 격렬비열도, 어청도, 등 3개의 등대 관측소에서 매일 10시에 관측한 자료를 사용하였으며, 기간은 덕적도는 10년 그 외의 지역은 16년간이다. 이 해표면 수온자료와 기상관측자료를 이용하여 해양·대기 간의 열교환량을 결정하였다.

마. 해양·대기 열교환의 공간적인 分布樣相을 알아보고, 해무와의 특성을 살펴

보기 위하여 1990년부터 2005년까지 국립수산진흥원 停船觀測資料의 선상관측 기상자료 및 수온자료를 이용하였다.

바. 해무의 분포 및 이동 여부를 판독하고 종관관측자료의 정확성을 보정하기 위하여 다음과 같은 衛星影像을 활용하였다. 위성사진은 GMS와 GOES 위성영상을 비롯하여, NOAA위성의 가시영상 및 근적외영상, 해상안개영상 등을 이용하였다. 또한 위성사진을 통해서 특정 지점의 해수온도 및 해수온도의 분포를 파악하였다.

사. 사례분석을 위해 Fig. 2의 기상청 항공기상대의 ‘항공기상 단시간 예측시스템’ 수치모델을 이용하였다.

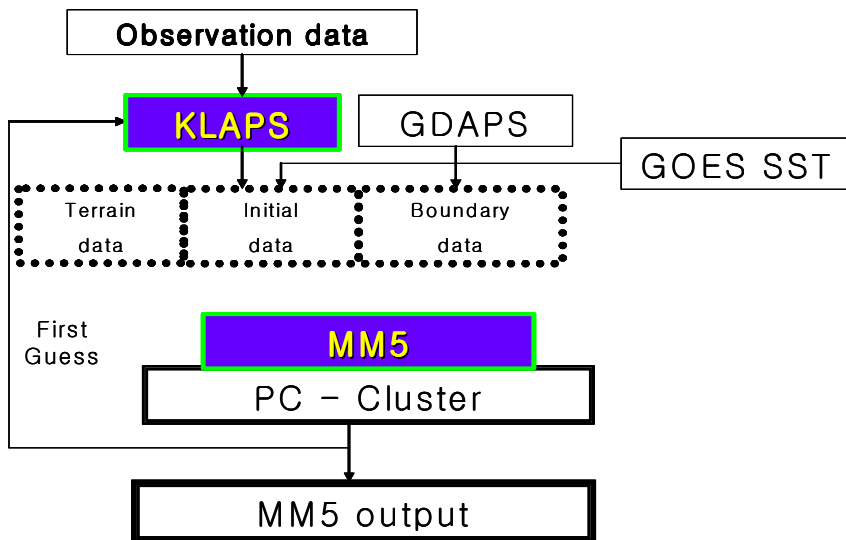


Fig. 2 The concept of Aviation Weather Short Range Prediction System

Table 1. Observation data used for this study

observation type	station	observation period	observing interval	observation element
ground observation	Seosan	1997~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Suwon	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Gunsan	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Baengnyeongdo	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Yeonpyeongdo	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Baegado	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Byeollipsan	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
	Mangilsan	1990~2005	every hour	visibility, wind direction, wind speed, temperature.
upper layer observation	Osan	1990~2005	everyday 09 hour	1,000, 850HPA wind direction and wind speed, temperature, dew point.
sea temperature	Incheon	1990~2005	everyday 10 hour	sea surface temperature.
	Gyeongnyeolbido	1920~2005	everyday 10 hour	sea surface temperature.
	Gocheongdo	1990~2005	everyday 10 hour	sea surface temperature.
	Deokjeokdo	1996~2005	everyday 10 hour	sea surface temperature.
vessel observation	western sea	1990~2005	every two month	wind direction, wind speed, temperature, humidity, sea surface temperature
satellite observation	GOES, GMS, NOAA	1990~2005	every hour	sea surface temperature, sea fog
SFC chart		1990~2005	00, UTC.	

Ⅲ. 통계적 분석

A. 안개의 월별 분포

1990년부터 2005년까지 16년(서산은 1997년부터 9년)간 기상관측소에서 관측한 시정자료로부터 구한 안개의 월별 평균발생횟수를 해무와 복사무로 구분하여 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2. The monthly frequencies of dense fog less than 1 mile for each observatory

Month Station	Month												year average	statistical duration
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Suwon	7.3	4.6	4.9	5.3	6.2	5.5	4.7	4.6	7.6	10.5	8.4	7.7	77.3	'90~'05
Seosan	6.6	4.4	5.0	5.8	4.9	9.1	7.5	3.2	5.2	6.6	4.7	6.1	69.1	'97~'05
Baengnyeongdo	2.8	3.8	6.1	7.9	11.8	16.1	22.4	12.1	3.9	3.1	2.2	2.3	94.5	'90~'05
Yeonpyeongdo	2.5	2.5	3.7	5.9	8.9	12.5	18.1	5.3	0.9	1.0	1.7	1.8	64.8	'90~'05
Baegado	0.9	1.1	3.4	5.9	9.1	15.0	20.6	7.6	1.9	1.1	0.9	1.3	68.7	'90~'05
Byeollipsan	3.7	3.9	5.5	6.7	9.4	12.5	20.6	12.7	6.3	3.8	5.3	4.7	95.1	'90~'05
Mangilsan	5.0	5.9	7.3	8.1	9.1	13.1	19.2	13.6	7.5	4.2	4.7	5.2	103.1	'90~'05
Gunsan	6.7	5.5	5.2	5.1	5.2	8.6	6.5	3.9	4.6	5.0	4.9	5.9	66.9	'90~'05

백령도, 연평도, 백아도의 경우는 3월부터 점차 안개의 발생빈도가 증가하여 7월에 최대의 빈도를 나타내고 8월에 들어서는 급격히 감소한다. 이것은 봄부터 초여름에 걸쳐 서해상에서 발생하는 해무가 이 지역의 시정을 악화시키는 주요 요인으로 해석된다.

별립산과 망일산의 경우도 연평도 등 島嶼地方과 비슷한 양상을 보이고 있어서 산악인 이곳도 해상 안개의 영향을 주로 받는 것으로 보인다.

내륙인 수원의 경우 안개는 가을철인 9, 10, 11월에 많이 나타나며, 10월에 10일

이상으로 최대치를 보인다. 이것은 주로 가을철 복사안개인 것으로 판단된다. 그러나 지표냉각에 의한 복사안개가 발생하기 어려운 시기인 6월부터 8월까지의 안개는 서해상에서 발생한 해무의 내륙유입에 의한 이류무로 추정된다.

서산과 군산의 경우는 월별 큰 편차를 보이지 않지만 6월에 최대발생빈도를 보이는 특이한 양상을 보인다. 이것은 군산과 서산 지역이 해안과 가까워 봄 및 초여름에 해무의 영향을 많이 받기 때문으로 판단된다. 즉, 해안과 가까운 내륙의 경우 4월부터 7월의 안개발생빈도가 차지하는 비율이 높게 나타나서 이 지역 안개의 대부분이 봄철과 여름철 해무임을 알 수 있다.

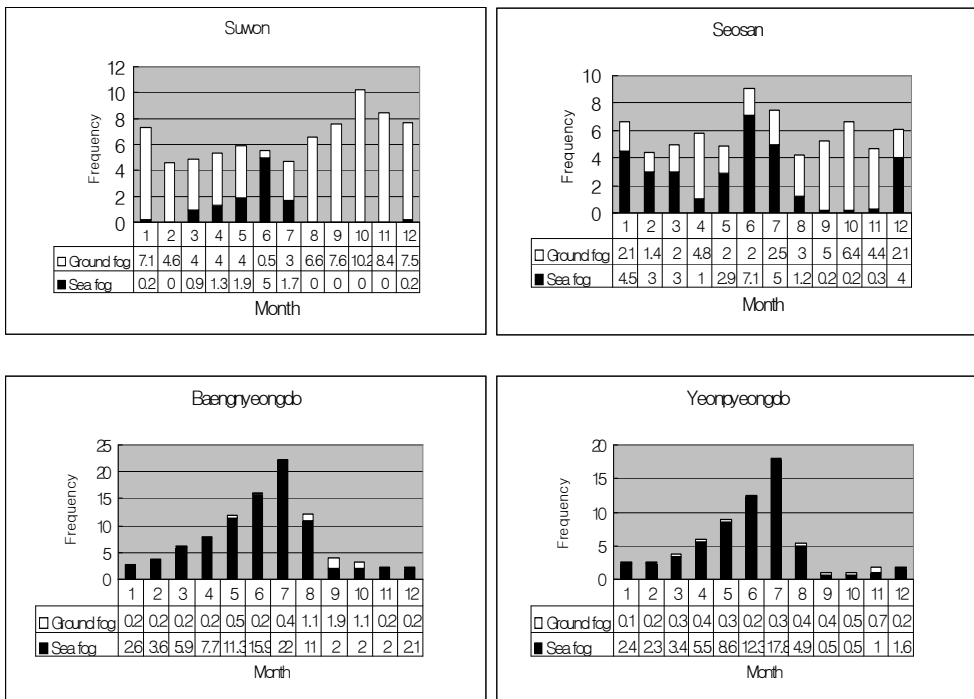


Fig. 3 The monthly frequencies of severe visibility less than 1 km by fog.

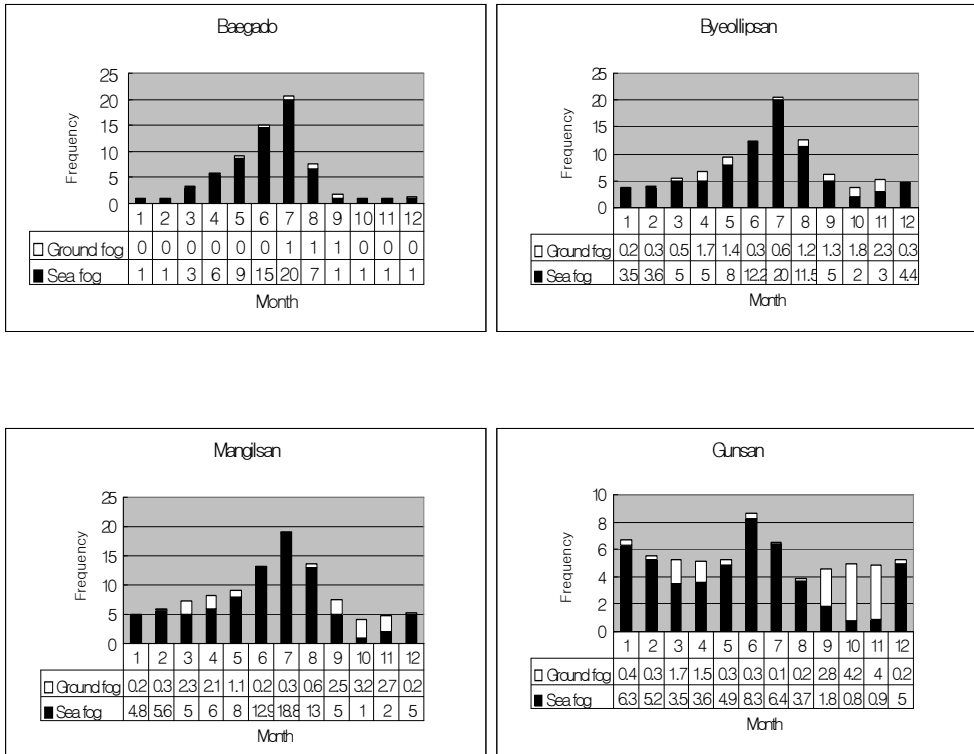


Fig. 3 Continued.

B. 일 중 시간에 따른 안개의 발생빈도 분석

하루 중 시간에 따른 각 지역의 안개 발생빈도의 분석을 위해 Fig. 4에서와 같이 백령도, 연평도, 백야도의 도서지방과 관측소가 1000ft정도의 비교적 고지에 위치한 별립산과 망일산 그리고 해안선에 가까운 내륙에 위치한 군산, 서산, 수원의 안개 발생빈도의 특성을 살펴보았다.

백령도, 연평도는 7시, 백야도는 9시에 최대 발생빈도를 보이며 최소빈도는 모두 15시에 나타난다. 망일산과 별립산의 경우 7시와 8시에 최대, 15시에 최소의 발생빈도를 보이면서 島嶼地方과 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 관측소가 내륙평지에 위치한 서산, 수원, 군산은 7시에 최대 발생빈도가 나타나지만, 12시 이후 급

격히 소멸하여 거의 발생하지 않다가 일몰 전후에 점차 증가하는 양상을 보인다. 이는 낮 동안의 日射量 증가에 따른 지표기온 상승과 亂流의 발생이 안개를 消散 시키기 때문으로 판단된다.

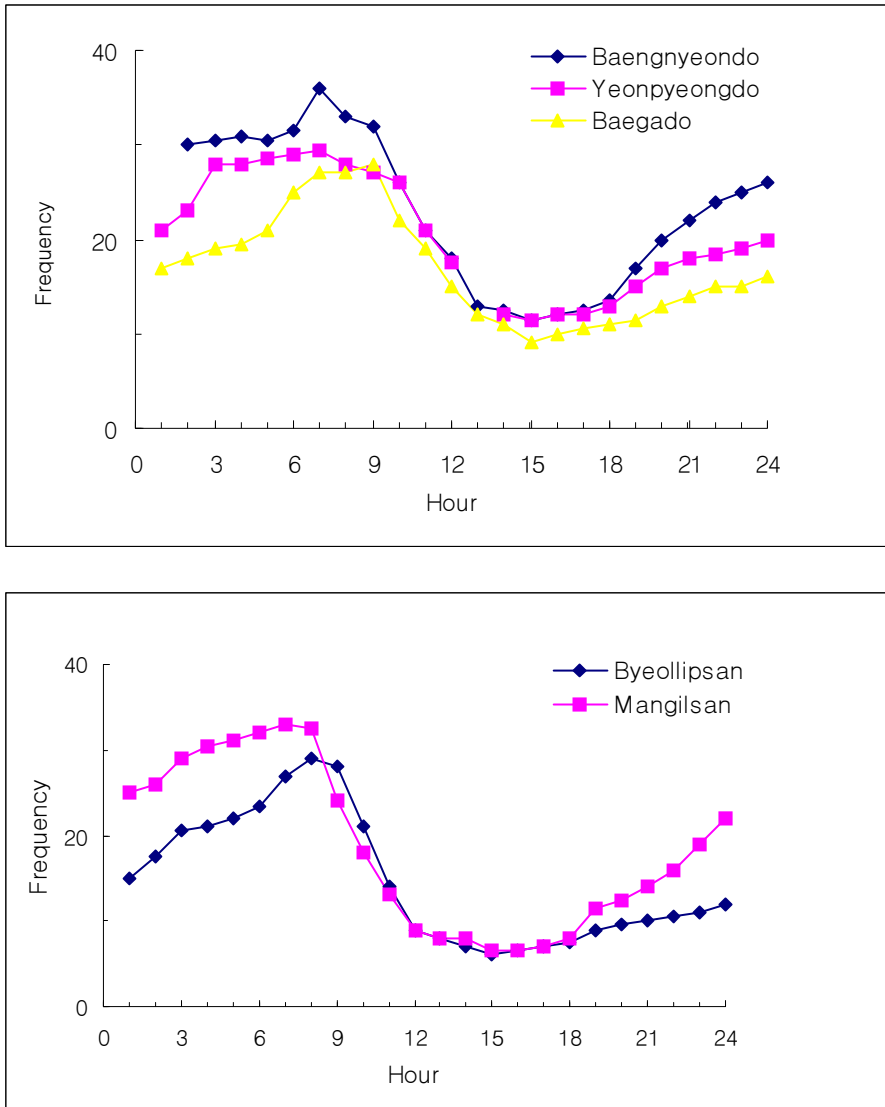


Fig. 4 The frequencies of fog depending on time

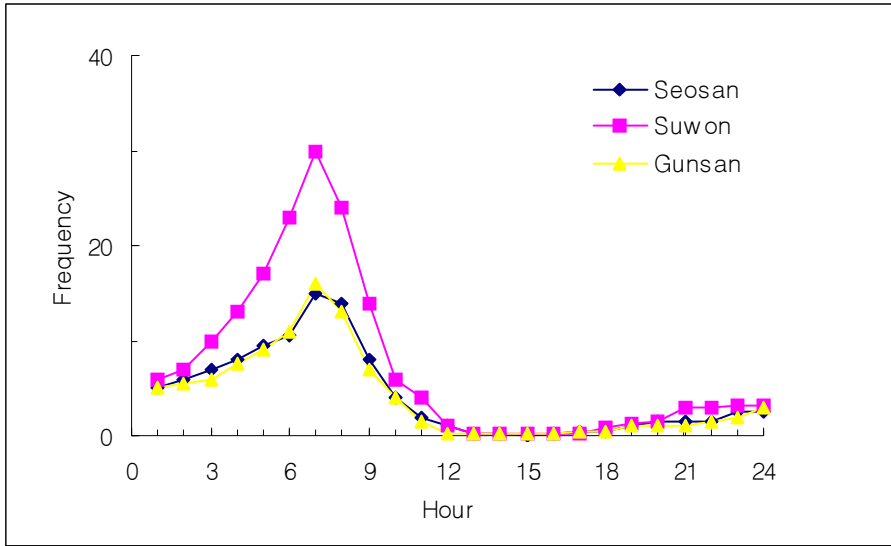


Fig. 4 Continued.

C. 氣壓系類型에 따른 해무의 발생빈도

원덕진 등(2000)은 아래 식(1)의 상관계수 행렬식을 이용하여 해무 발생 시의 해면 기압간의 相關關係를 구하여 상관계수가 높은 날끼리 같은 군집으로 하는 방법을 취하였으며, 해무 발생 시 우리나라에 영향을 미치는 氣壓系의 특성을 파악하기 위해서 NCEP 자료 중 25~45°N, 110~145°E 범위를 유형분류 영역으로 설정하여 통계기간('86년~'95년)동안에 해무가 발생한 날의 00UTC의 해면 기압자료를 이용하였다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

x_i 는 어느 해무 발생일의 해면 기압값이고 그 평균값이 \bar{x} 이다. y_i 는 $d \pm k$ 날의 관

측값이며 그 평균값이 \bar{y} 이다.

이를 통해 원덕진 등(2000)은 32개 이상의 氣壓系類型을 분류하였다. 본 연구에서는 이 중 해무 발생 비율이 높은 순으로 8개의 유형을 선택하였고, 그 이외의 24개의 유형은 기타로 분류하여, 본 연구의 통계 기간('90년 1월~'05년 12월) 동안의 00UTC 지상 日氣圖를 분류하였다.

Table 3과 Fig. 5에서는 분류한 氣壓系類型과 그 특성을 기술하였다.

해무가 빈번하게 발생하는 유형 15와 유형 13의 기압 배치는 일본 남쪽 해상의 고기압과, 몽고와 만주 지역으로 중심을 둔 저기압이 위치하고, 유형 20과 19는 일본 동쪽으로 고기압이 몽고 북쪽으로 저기압이 위치하는 형태를 가진다. 유형 3은 만주 지역의 저기압이 산둥반도를 거쳐 중국 내륙으로 길게 前線을 형성하는 형태이다.

Table 3. The features of each synoptic pattern.

Patterns	Features
3	The situation that the low pressure in Manju forms the front between Sandung peninsula to the inner China
8	The situation that the high pressure in the south of Japan develops
13	High in the south(located in the southern sea of Japan) and low in the north(located in the vicinity of Manju)
15	High in the south(located in the southern sea of Japan) and low in the north(located in the vicinity of Mongo)
18	The situation that the low pressure in the vicinity of Manju forms the front between Sandung peninsula to the inner China
19	The situation that marin polar high pressure develops and the trough lie on the southern China
20	High in the west(located in the east of Japan) and low in the east (located in the north of Mongo)
26	The situation under the influence of low pressure in the northeastern sea
etc.	The other type

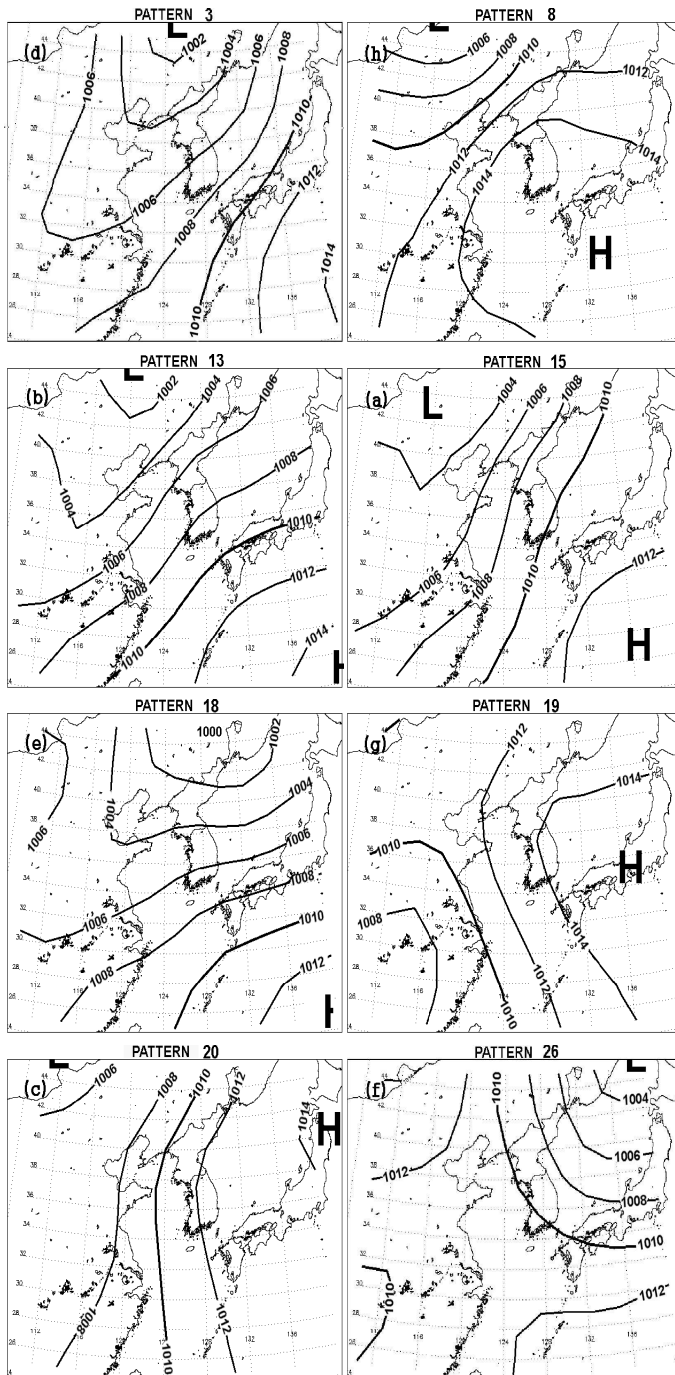


Fig. 5 The synoptic pattern for severe visibility less than 1 km by fog.

日氣圖를 분류한 결과 해무 발생시 나타나는 氣壓系類型은 15, 13과 같은 남고북저 및 20과 같은 동고서저의 형태로 등압선이 남서에서 북동으로 뺀 형태와 3, 18과 같이 前線 前面에서 해무가 발생하는 형태가 많은 것으로 나타났다. Table 4에서는 기압계 유형별 해무 발생빈도와 동시에 기압계 유형들의 월별 발생 빈도를 나타내었다.

Table 4. The frequencies(%) of synoptic pattern that causes monthly sea fog

Month \ Patterns	ect.	pattern 15	pattern 13	pattern 20	pattern 3	pattern 18	pattern 26	pattern 19	pattern 8
The whole	35.8	16.7	19.6	7.1	5.1	5.7	6.8	2.1	1.1
january	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0
february	11.7	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0
march	5.9	12.3	2.8	7.7	10.0	0.0	0.0	0.0	50.0
april	10.4	3.3	5.4	7.9	0.0	9.1	7.8	25.0	50.0
may	17.6	21.9	27.1	7.5	0.0	18.5	30.9	0.0	0.0
june	16.2	18.7	16.2	23.1	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0
july	20.7	37.5	32.3	38.6	70.1	18.0	0.0	50.0	0.0
august	8.8	3.0	2.8	0.0	19.9	18.1	7.6	0.0	0.0
september	4.4	3.2	2.6	0.0	0.0	27.3	23.1	0.0	0.0
october	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0
november	0.0	0.0	5.4	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
december	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0
total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

월별 기압계유형별 발생빈도에서 5월은 남고북저형인 유형 13과 15의 발생 빈도가 높고, 6월은 동고서저형의 유형20이 5월에 비해 전체적인 발생 빈도가 증가하였다. 이는 시기적으로 볼 때 오호츠크해 고기압의 영향을 받는 것으로 분석되고, 유형 19의 전 단계라고 판단된다. 7월은 전선 전면에서 해무가 발생하는 유형 3과 18 기압배치가 증가한 것을 알 수 있다. 남고북저형의 유형 13은 해무 발생시기와 기압계유형으로 보아 온난 습윤한 북태평양 고기압의 영향을 받는 경우라고 판단된다. 8월은 전체적인 해무 발생 빈도가 감소하기 시작하고, 동고서저형인 유형3의 빈도가 높게 나타난다. 9월은 유형 19, 26이 많이 나타나며, 10월 초에는 해무의 발생이 거의 없음을 알 수 있다. 이상의 결과를 볼 때 해무가 잘 발생하는 기

압계 유형들이 존재하며 이것은 월별로도 시기적인 특성을 가짐을 알 수 있었다.

D. 해무발생 시 풍향과 풍속

Fig. 6의 풍향에 따른 해무 발생빈도에서 백령도의 경우 4월부터 7월에 주로 서풍(270도)이 불 때 해무가 발생하였으나, 동, 남동(90~120)풍의 경우에도 높은 발생빈도를 나타냈다.

연평도의 경우에는 7월에 남동(130~190도)풍일 때 해무가 주로 발생하였으나, 북서풍의 경우에도 높은 발생빈도를 나타냈다.

백아도에서는 남서(210도)풍에서 최대의 발생빈도를 보였으며, 남동-남서(150~240)풍의 경우에도 높은 발생빈도를 나타냈다.

별립산의 경우는 남동, 남서(150~240도)풍에서 최대의 발생빈도를 보였으나, 북서(300도)풍의 경우에도 남동, 남서풍에 비해 빈도는 낮지만 또 하나의 높은 발생빈도를 보였다.

망일산은 남, 남서(180~240)풍의 경우 높은 발생빈도가 나타나고, 남동풍, 서풍의 경우에도 높은 발생빈도를 보였다.

군산은 앞의 경우와는 다르게 북서풍에서 해무가 빈번히 발생하여, 경기만과 태안반도 연안의 조석전선(潮汐前線)이 영향을 주는 것으로 사료된다.

서산은 남동, 남서, 서(150~270)풍에서 발생빈도가 높게 나타났으며, 수원의 경우에는 남서(240)풍에서 가장 발생빈도가 높았다.

주목할만한 것은 모든 지역에서 북서, 북동(330~060)풍의 풍향에서는 해무발생이 거의 없었다. 이는 기압배치에 의해 결정되는 풍향의 특성상 해무를 발생시키는 남고북저, 동고서저형의 기압배치 하에서는 북서, 북동(330~060)풍이 불기가 어렵기 때문으로 판단된다.

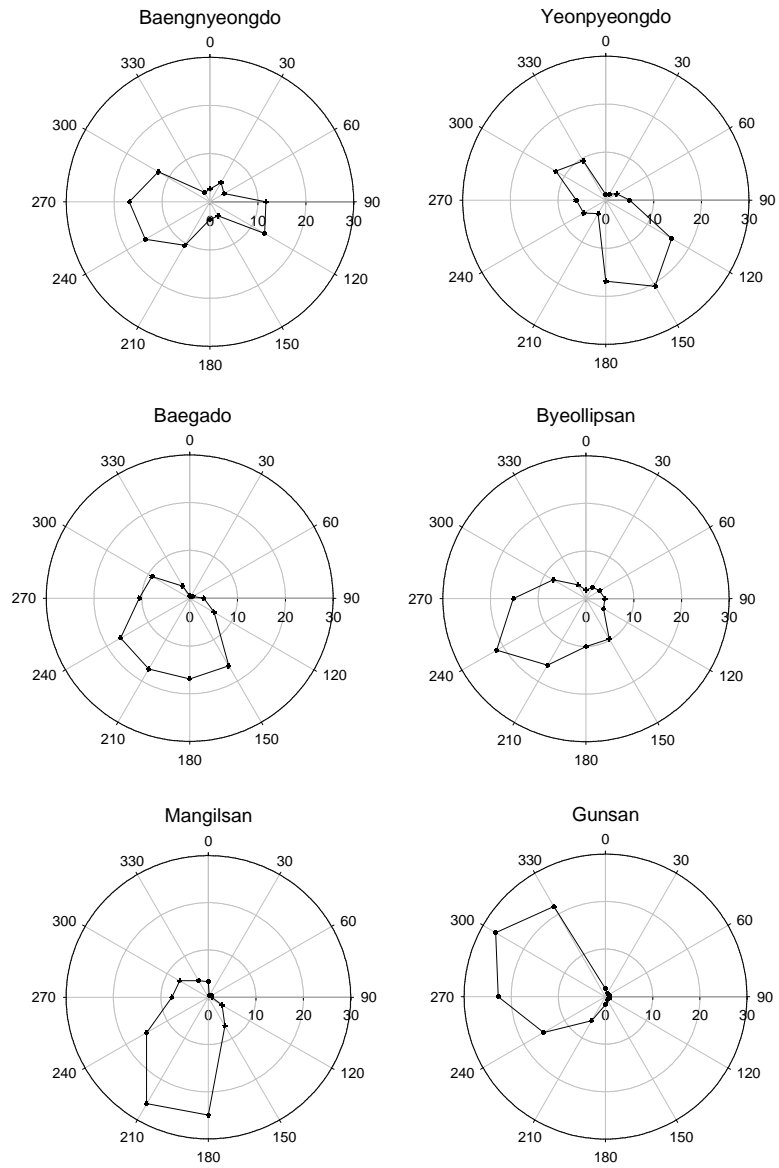


Fig. 6 The frequencies(%) of fog on wind direction.

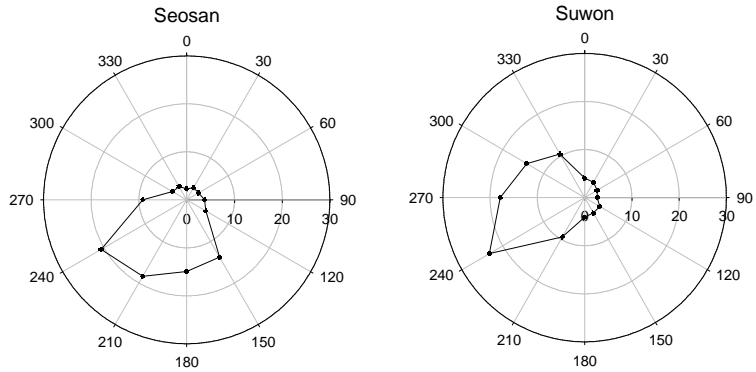


Fig. 6 Continued.

해무 발생 시 풍속이 강하면 난류(亂流)에 의한 연직 혼합이 왕성하여 안개보다는 층운이 되기 쉽고, 풍속이 너무 약하면 안정층을 형성하여 얇은 해양 접지역 전층(接地逆轉層)에 국한된 해무가 생성된다(Telford and Chai, 1998). Fig. 7은 지역별로 해무가 발생할 때 최대 빈도를 보인 풍속을 나타내는 그래프로서 망일산과 별립산의 경우 4~5 m/sec로 비교적 풍속이 강할 때 해무가 발생하였으나 내륙인 수원의 경우에는 1.5m/sec의 약한 풍속에서 해무가 발생하였다. 그 외 지역에서는 3m/sec내외의 풍속에서 해무발생이 최대로 나타났다. 일반적으로 내륙복사무는 풍속이 정온(靜穩, calm)에 가까운 1m/sec이내의 약한 풍속에서 안개가 발생하지만 해무의 경우 복사무와는 다르게 해무발생 시 다소 강한 풍속이 존재하였다.

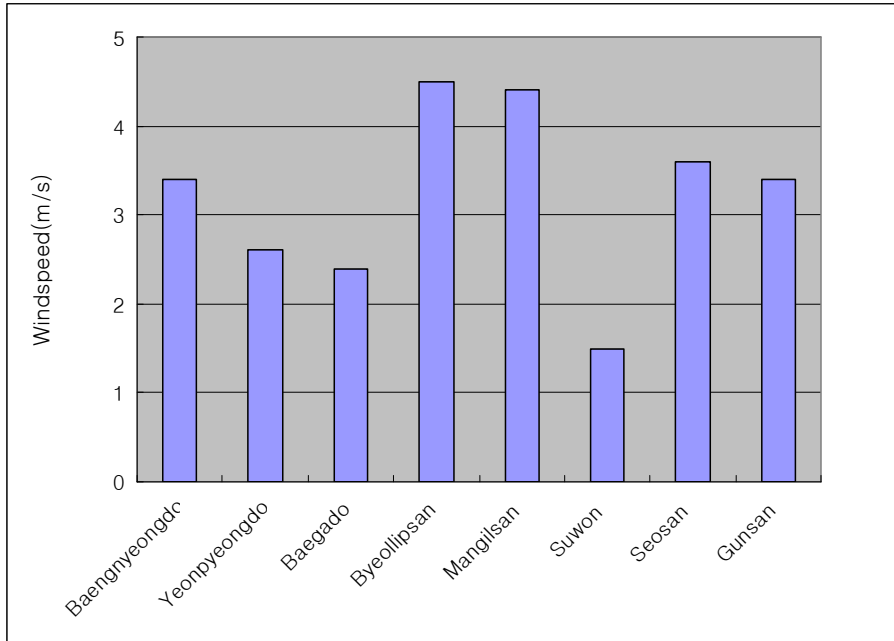


Fig. 7 The wind speed of maximum occurrence of fog at each station.

IV. 해양·대기 상호작용과 해무발생

A. 수온과 기온의 월별분포

해양과 대기는 해표면을 통하여 열, 물질 그리고 운동량을 교환한다. 일반적으로 대기는 해양에 운동량을 공급하여 해양의 순환을 일으키며, 해양은 대기에 열을 공급한다. 그러나 해양과 대기는 한 방향으로만 에너지를 전달하는 것이 아니라 상호작용을 통해 두 계의 운동과 상태를 변형시킨다. 해무는 이러한 해양과 대기의 상호작용 과정에서 발생한다.

서해에서 발생하는 안개가 해양·대기 상호작용에 의해 생긴 해무라는 관점에서 해수온도와 대기온도의 관계를 살펴보았다.

수온과 기온을 동시에 관측한 자료가 없어 거리가 가까운 격렬비열도와 백아도에서 매일 오전 10시에 관측한 수온과 기온자료를 사용하였다. 같은 성질을 가진 기단(氣團)의 규모가 같은 성질의 해양의 규모보다 10배 이상 크므로 두 지점의 자료를 동시에 사용하는 것에 큰 무리가 없는 것으로 가정하였다.

Fig. 8에서와 같이 기온은 1월에 최소를 나타낸 후 급격히 상승하여 8월에 최대값을 가지며, 수온은 기온보다는 1개월가량 늦은 2월에 최소를 보이고 역시 8월에 최대를 나타낸다. 대부분의 계절에 있어 수온이 기온보다 높게 나타나지만 일사량에 의해 가열되는 기간인 4월부터 8월 사이에는 기온이 수온보다 높게 나타나는데, 이는 해수와 대기의 비열차로 인해 대기온도가 빨리 상승하기 때문이다. 해수온도가 더디게 상승함에 따라 해양-대기의 온도차도 겨울과는 다른 양상을 보이게 된다.

Fig. 9에서는 해양-대기 온도차의 월별분포를 나타내었다.

9월부터 3월까지의 기간은 온도차가 양의 값으로, 해양의 온도가 대기의 온도보다 높아 대기의 최하층이 불안정한 상태를 나타낸다. 그러나 4월부터 8월에는 陰의 값이 나타나며, 최대차이는 5월에 수온이 기온보다 약 4도 낮게 나타난다. 해무가

주로 이 계절에 나타나는 것과 관련하여 해양-대기의 온도차가 해무생성에 영향을 주는 것으로 사료된다.

즉, 해수의 온도가 대기의 온도보다 낮게 되어 하층대기가 안정되어 있어 기단이 냉각되어 응결된다면 해무가 발생하기 쉬울 것이다.

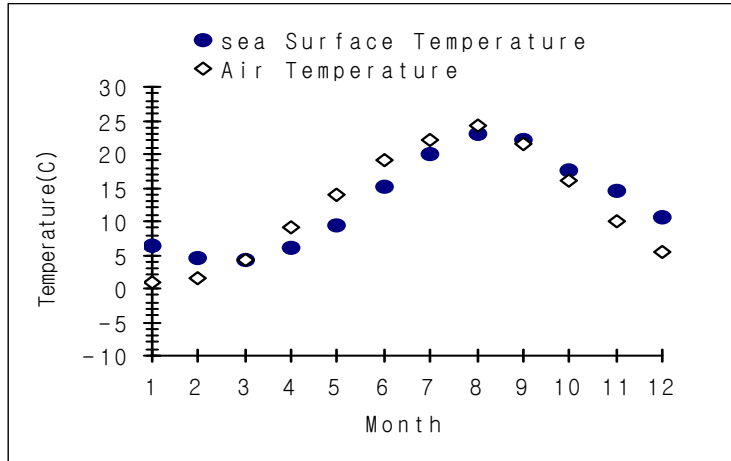


Fig. 8 The monthly average distribution of SST and air temperature

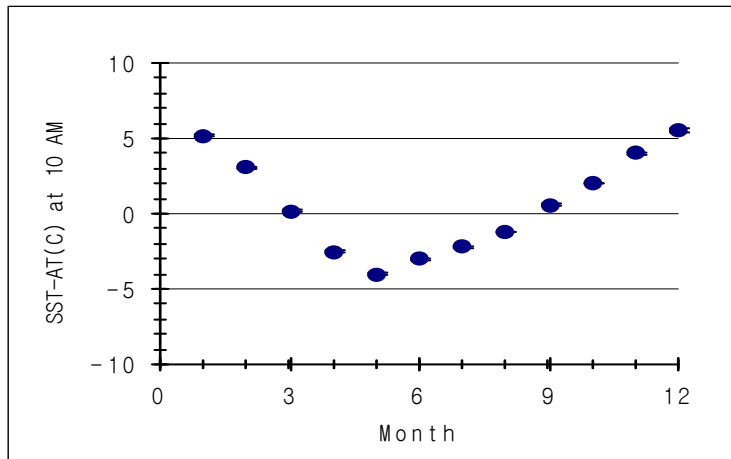


Fig. 9 The monthly distribution of SST- air Temperature

B. 해무발생과 해양·대기간 열교환의 관계

해무발생 시 생길 수 있는 해양·대기 상호작용을 알아보기 위해 1990년부터 2005년까지의 서해 중부연안 기상관측자료와 해표면수온 자료로부터 대기 경계층 역학을 이용하여 해양·대기간 열교환량에 대하여 알아보았으며, 해양·대기 열교환량의 결정에 있어 관계식은 박원선(1994)의 방법에 준하여 계산하였다.

해양·대기간의 열, 운동량 그리고 물질의 교환은 Reynold flux에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{\tau} = -\rho_a \overline{uw} = \rho_a u_*^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_H = \rho_a c_p \overline{wt} = -\rho_a c_p u_* t_* \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_E = \rho_a L_v \overline{wq} = -\rho_a L_v u_* q_* \dots\dots\dots (4)$$

$\vec{\tau}$, Q_H , Q_E 는 각각 바람의 응력, 顯熱束, 潛熱束을 나타내며, ρ_a , c_p , L_v 는 각각 공기의 밀도, 定壓比熱, 潛熱을 의미한다. u_* , t_* , q_* 는 각각 풍속, 기온, 비습의 매개변수로 다음과 같다.

$$u_* = (\tau/\rho_a)^{1/2} = \left| \overline{uw} \right|^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

$$t_* = -\frac{\overline{wt}}{x u_*} \dots\dots\dots (6)$$

$$q_* = -\frac{\overline{wq}}{x u_*} \dots\dots\dots (7)$$

이와 같은 해양·대기간의 에너지교환량을 계산하기 위해서는 대기의 표면 경계층에 대한 정보가 필요하다. 대기의 표면 경계층은 constant flux layer로서 이 층에서의 바람, 온도, 그리고 비습의 높이에 대한 평균 기울기는 similarity theory에 의해 다음과 같이 표현된다(Monin and Obukhov, 1954)

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial z} = \frac{u_*}{xz} \phi_m(z/L) \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} = \frac{t_m}{z} \phi_t(z/L) \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = \frac{q_*}{z} \phi_q(z/L) \dots\dots\dots (10)$$

여기서 x 는 Von Karman 상수로 0.4, z 는 해표면으로부터의 높이를 나타낸다. ϕ_m , ϕ_t , 그리고 ϕ_q 는 각각 풍속, 온도 그리고 비습의 profile function이다. L 은 Monin-Obukhov length로서 다음과 같다.

$$L = - \frac{u_*^3 T_0}{x g w t_v} \dots\dots\dots (11)$$

위의 식을 z/L 까지 적분하면 다음과 같이 높이 z 에서 각 변수의 높이에 따른 값을 구할 수 있다.

$$u(z) = \frac{u_*}{x} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z}{L}\right) \right] \dots\dots\dots (12)$$

$$\theta(z) = T_s - t_* \left[\ln\left(\frac{z}{z_t}\right) - \psi_t\left(\frac{z}{L}\right) \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$q(z) = q_s + q_* \left[\ln \left(\frac{z}{z_q} \right) - \psi_q \left(\frac{z}{L} \right) \right] \dots\dots\dots (14)$$

여기서 $\psi \left(\frac{z}{L} \right) = \int_0^{z/L} \frac{[1 - \phi(\xi)]}{\xi} d\xi$ 로 안정도를 나타내는 함수이다.

z_0, z_t, z_q 는 각각 운동량, 온도 그리고 비습의 roughness length이다.

Flux-relationship으로부터 대기의 안정도에 따라 ϕ 는 다음과 같이 표현 된다 (Dyer,1974).

즉, 대기의 상태가 안정($0 < z/L < 0.2$)할 경우,

$$\begin{aligned} \phi_m &= 1 + C_1 z/L \\ \phi_t = \phi_e &= 1 + C_2 z/L \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

대기의 상태가 불안정($-1.0 < z/L < 0$)할 경우,

$$\begin{aligned} \phi_m &= (1 - C_3 z/L)^{-1/4} \\ \phi_t = \phi_q &= (1 - C_4 z/L)^{-1/4} \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

이 성립한다.

여기에서 $C_1=C_2=7, C_3=C_4=16$ 을 사용한다(Large and Pond,1982). 안정도 함수는 (식15), (식16)로부터 다음과 같이 표현된다.

안정할 경우,

$$\psi_m(z/L) = \psi_t(z/L) = \psi_q(z/L) = -7 z/L \dots\dots\dots (17)$$

이며, 불안정할 경우

$$\begin{aligned} \psi_m(z/L) &= 2 \ln [(1 + X)/2] + \ln [(1 + X^2)/2] - 2 \tan^{-1} X + \pi/2 \\ \psi_t(z/L) = \psi_q(z/L) &= 2 \ln [(1 + X^2)/2] \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

이다.

여기서 $X = (1 - 16z/L)^{1/4}$ 이다.

지금까지 기술한 대기경계층 역학을 이용하여 해양·대기간의 에너지 교환량을 기본적인 관측자료를 이용하여 구하기 위한 bulk method는 다음과 같다.

이제 앞의 (2) ~ (4) 식을 무차원 계수를 포함한 난류 속의 bulk formula로 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{\tau} = \rho_a C_{D10} |u_{10}| \overline{u_{10}} \dots\dots\dots (19)$$

$$Q_H = \rho_a c_p C_{H10} \Delta\theta \overline{U_{10}} \dots\dots\dots (20)$$

$$Q_E = \rho_a L_v C_{E10} \Delta q \overline{U_{10}} \dots\dots\dots (21)$$

여기서, $\Delta\theta = \overline{T_s} - \overline{\theta_{10}}$, $\Delta q = \overline{q_s} - \overline{q_{10}}$ 를 나타내며, C_{D10} , C_{H10} 그리고 C_{E10} 은 각각 대기가 중립일 경우의 해상 10m에서의 drag coefficient, Stanton number 그리고 Dalton number이다.

대기를 중립인 상태로 가정하면 다음과 같은 10m에서의 무차원 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{DM10} = \frac{x^2}{[\ln(10/z_0)]^2} \dots\dots\dots (22)$$

$$C_{HM10} = \frac{x^2}{\ln(10/z_0) \ln(10/z_t)} \dots\dots\dots (23)$$

$$C_{EM10} = \frac{x^2}{\ln(10/z_0) \ln(10/z^q)} \dots\dots\dots (24)$$

이제 안정도를 고려한 값들을 구하면 10m에서의 각 계수는 다음과 같다.

$$C_{D10} = \frac{C_{DM10}}{[1 + C_{DM10}^{1/2} x^{-1} (\ln(z_u/10) - \psi_m(z_u/L))]^2} \dots\dots\dots (25)$$

$$C_{H10} = \frac{C_{HM10} (C_{D10}/C_{DM10})^{1/2}}{1 + C_{HM10} C_{DM10}^{-1/2} x^{-1} [\ln(z_t/10) - \psi_t(z_t/L)]} \dots\dots\dots (26)$$

$$C_{E10} = \frac{C_{EM10} (C_{D10}/C_{DM10})^{1/2}}{1 + C_{EM10} C_{DM10}^{-1/2} x^{-1} [\ln(z_q/10) - \psi_e(z_q/L)]} \dots\dots\dots (27)$$

풍속을 측정한 높이가 10m가 아닌 경우 다음의 식에 의해 10m에서의 풍속을 구한다.

$$U_{10} = \frac{U_z}{1 + C_{DN10}^{1/2} x^{-1} [\ln(z_u/10) - \psi_m(z_u/L) + \psi_m(10/L)]} \dots\dots\dots (28)$$

선상자료를 이용할 경우 roughness parameter의 결정에 큰 오차가 생길 수 있으므로(Blanc,1987) 다음과 같은 과정을 통해 그 오차를 줄일 수 있다. 앞의 높이와 무관한 매개변수를 사용하면 다음과 같은 식을 얻는다.

Large and Pond(1982)는 q가 [gm⁻³] 의 단위를 가질 때 T₀ ≅ T_{db} (1 + 1.7 · 10⁻⁶ * T_{db} q) 로 가온도를 근사하여 안정도항을 다음과 같이 정리하였다.

$$\begin{aligned} z/L &= - \frac{xgz}{u_*^3 T_0} (\overline{wt} + 1.7 \cdot 10^{-6} T_0^2 \overline{wq}) \\ &= - \frac{xgz}{u_*^3 T_0} \overline{wt} (1 + 1.7 \cdot 10^{-6} T_0^2 \frac{C_{EN10} \Delta q}{C_{HN10} \Delta \theta} \dots\dots\dots (29) \\ &= - \frac{xgz}{u^2 T_0} \frac{C_{HN10}}{C_{DN10}^{3/2}} (\Delta \theta + 1.7 \cdot 10^{-6} T_0^2 \frac{C_{EN10}}{C_{HN10}} \Delta q) \end{aligned}$$

본 연구에서는 대기가 중립일 경우의 무차원계수를 Hasse(1978)가 1,400시간 이상 안정한 부표에서 profile method를 이용하여 구한 대기가 중립 또는 약간 불안정할 경우의 무차원 계수인 C_{DN10} = 1.25 · 10⁻³, C_{HN10} = 1.34 · 10⁻³, 그리고 C_{EN10} = 1.15 · 10⁻³ 을 사용하였다.

이렇게 계산된 현열과 잠열의 월별 해양-대기간 열교환량을 Fig. 10에 나타내었다.

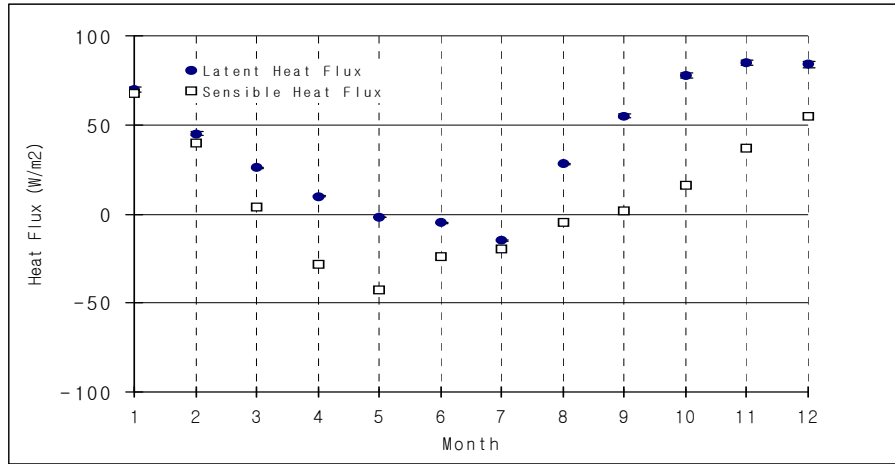


Fig. 10 The monthly distribution of a latent heat and a sensible heat over the western coastal area(a positive result means an amount of heat transfers from the sea to the air, while a negative one means an amount of heat transfers from the air to the sea.)

현열은 해양과 대기의 온도차에 의해 발생하며, 풍속 및 온도차에 의해 결정된다. 그 크기는 1월에 최대로 72 w/m^2 , 5월에 최소로 -43 w/m^2 가 나타나 서해 중부연안에서 연변화폭은 115 w/m^2 이다. 잠열은 상태변화를 위해 필요한 열로 풍속 및 비습차에 의해 결정되며, 서해 중부연안에서 11월에 최대 86 w/m^2 , 7월에 최소로 -15 w/m^2 를 나타내 연변화폭은 101 w/m^2 이다.

현열은 4월부터 8월까지 陰의 값으로 대기에서 해양으로 열량이 전달되며, 5월에 가장 많은 열이 해양으로 전달된다. 그 외의 달은 陽으로 대기가 해양으로부터 열을 받는다. 이것은 해양-대기온도차의 분포와 같은 양상이며, 온도차가 생김에 따라 현열과정을 통해 열이 해양으로 전달되는 것을 의미한다. 잠열은 5월부터 7월까지의 기간에 陰, 그 외는 陽의 값이 나타난다. 陰의 값이 나타나는 기간에는 온난한 공기가 찬 해수면 위에서 냉각되어, 이슬점온도 이하로 온도가 떨어지며 응결될 때 생긴 열이 해양으로 전달되는 것을 의미한다. 잠열을 통해 해양이 가장 많은 열을 얻는 달은 7월로 해무가 가장 많이 나타나는 달과 일치한다. 이와 반대로 11월

은 대기가 잠열을 통해 해양으로부터 가장 많은 열을 얻으며 해무가 가장 적게 나타나는 달과 일치한다.

Fig.11은 하루 중 해무의 지속시간과 현열, 잠열과의 관계를 알아보았다.

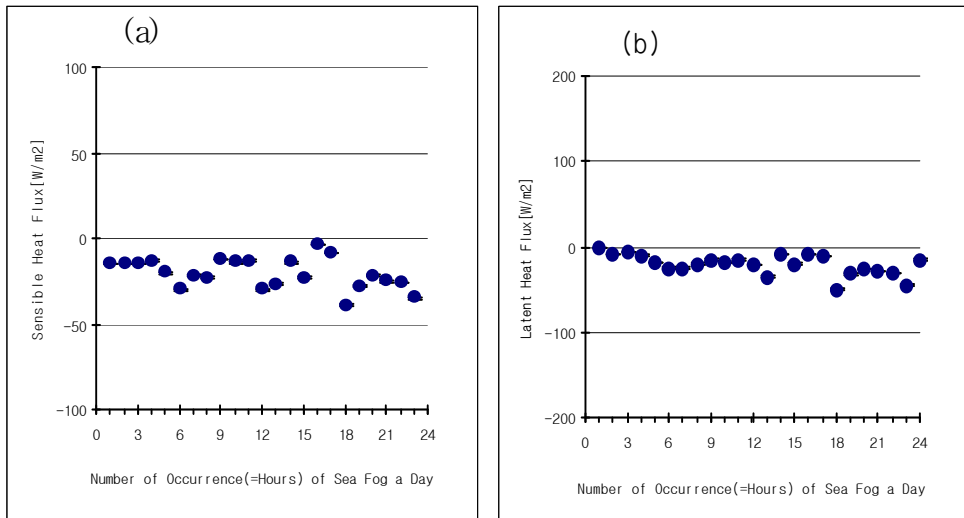


Fig. 11 The relationship between the time of sea fog occurrence and a sensible heat flux(a), latent heat flux(b)

해무가 발생하지 않은 경우 현열과 잠열은 모두 양의 값으로 나타났으나, 해무가 발생한 경우 현열(a), 잠열(b)이 모두 음의 값을 나타내었다.

따라서 해무의 월별 발생빈도와 해양-대기 열교환의 월별 평균값의 비교, 해무의 일중 지속시간과 해양-대기 열교환량의 비교를 통해 볼 때 현열과 잠열에 의해 대기로부터 해양이 열량을 얻을 경우 해무가 발생하기 쉬운 것으로 나타났다.

다음은 해무가 자주 발생하는 4월부터 7월까지의 해양-대기 온도차와 열교환량이 해무생성에 미치는 영향을 자세히 보기 위해 해무가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우를 나누어서 비교하였다.

Fig. 12는 해무가 발생하지 않은 경우와 하루 중 3시간 이상 해무가 나타난 경

우의 온도차를 나타낸 것이다. 1997년부터 2005년까지 대부분 해무가 발생하지 않은 경우와 발생한 경우 모두 수온이 기온보다 낮게 나타났으며, 두 경우의 값의 차이는 크지 않았다.

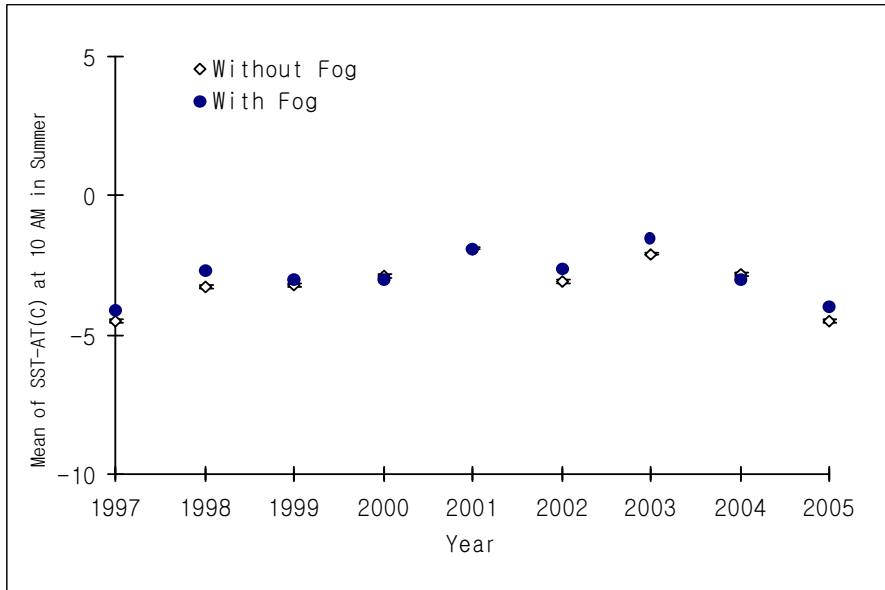


Fig. 12 In the season(April through July) when sea fog frequently occurs, the thermal gradient between the sea and the air for the case that sea fog persists for more than 3 hours and for the case that sea fog does not form

Fig. 13은 두 경우의 현열을 나타낸 것으로 해무가 발생한 경우와 그렇지 못한 경우에 현열에는 큰 차이가 없음을 보여준다. 이것은 여름철에 Fig. 12에 나타나는 것과 같이 기본적으로 해수의 온도가 낮아 해무가 발생하기 쉽게 만들지만 현열이 해무생성에 절대적인 영향을 주지 못하는 것을 의미한다.

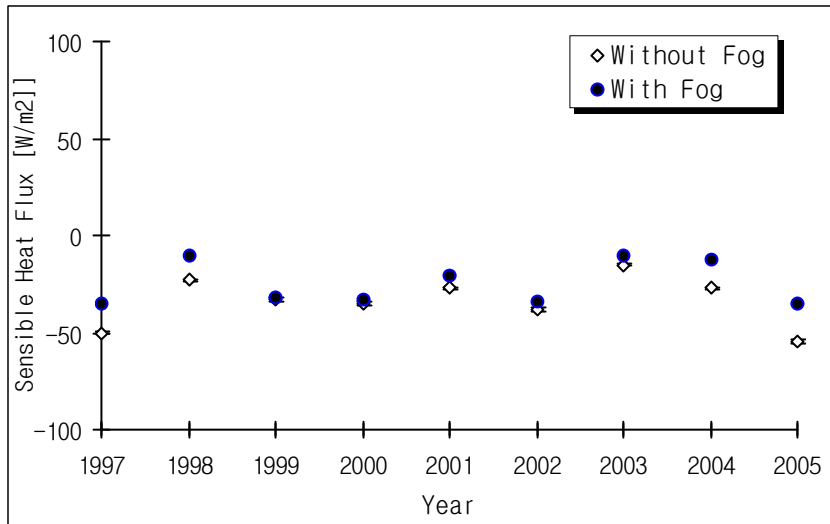


Fig. 13 The sensible heat for the case that sea fog persists for over 3 hours and that sea fog does not form

Fig. 14는 두 경우의 잠열을 비교한 것으로 해무가 발생한 경우와 그렇지 않은 경우에 값의 차이가 크게 나타난다. 즉, 해무가 발생하지 않은 경우 대부분 陽의 값으로 해수의 증발에 의해 해양에서 대기로 열이 전달되는 것을 나타낸다. 그러나 해무가 발생하는 경우는 陰의 값으로 해양이 대기로부터 열을 받게 된다. 즉, 여름철 해무의 생성에서 중요한 것은 잠열의 양상으로, 찬 해수 위로 유입된 공기가 노점온도까지 냉각되고 포화되어 응결되는 과정에서 해무가 생성되는 것을 의미하여, 응결 잠열이 해양으로 전달되는 것이다.

잠열 계산 시 현열 계산과는 다르게 대기의 습윤 정도인 공기의 비습항이 중요한 역할을 하므로 실제 해표면 위로 유입되는 공기의 습윤 정도를 파악하는 것이 중요한 것으로 알 수 있다.

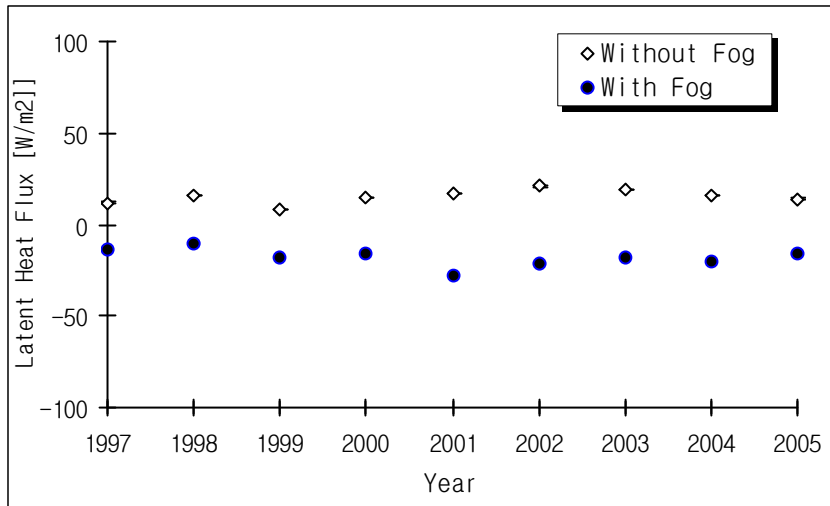


Fig. 14 The latent heat for the case that sea fog persists for over 3 hours and that sea fog does not form

C. 조석전선(潮汐前線)과 해무발생

우리나라 서해상에서 발생하는 안개는 크게 세가지로 나눌 수 있는데, 겨울철 증기무와 여름철의 이류무, 그리고 기압골에 동반된 안개가 그것이다.

증기무는 한랭건조한 시베리아 고기압이 장출할 때 상대적으로 따뜻한 해수온도에 의해 발생하는 안개이며, 이류무는 변질된 이동성 고기압과 북태평양기단의 온난습윤한 공기덩어리가 상대적으로 차가운 해수면을 지나면서 냉각될 때 발생하는 안개이다. 그러므로 해수온도와 해수면을 지나는 기단의 성질을 파악하는 것은 해무예보에 매우 중요하다.

서해안 수온 연교차는 평균 18℃로 매우 크고 뚜렷한 조석현상으로 동서방향으로 급격한 수온변화가 형성된다. 즉, 서해 연안의 해수면 온도는 내양에 비해 연중 2~5℃ 낮게 나타난다. 겨울철인 12월은 수온의 공간적인 변화폭이 작게 나타나 서해연안에서 2℃ 이내의 변화폭을 보이지만, 해무가 주로 발생하는 6월의 경우 경

기만과 태안반도 부근에서 5°C까지 강한 수온의 기울기가 나타난다.

태안반도부근에 심한 온도차가 나타날 수 있는 것은 조석전선 때문이다.

潮汐前線은 겨울철의 강한 바람과 해수면의 냉각에 의해 해양이 수직적으로 균질하게 되어 있다가, 겨울이 지나고 여름이 되면서 표층이 가열되어 수직적으로 온도차가 생겨 성층화(成層化)된다.

그러나 연안에서는 조석(潮汐)에 의해 성층화가 깨어지고, 성층화 되어있는 외양의 경계에서 심한 온도차가 생겨 조석전선이 형성된다. 이 조석전선은 Fig. 15에서 보듯이 해표면수온의 위성사진에서 쉽게 확인할 수 있다. 조석전선 부근에서의 공간적인 온도의 변화는 대기온도의 변화보다 크게 나타나 이 조석전선을 가로 지르는 방향으로 기단이 움직인다면 다른 지역에서 보다 쉽게 공기가 포화, 응결되어 해무가 생성될 수 있을 것으로 사료된다. 실제로 서해상에서 발생하는 대부분의 해무는 조석전선 부근의 온도경도가 큰 연안지역에서 발생하며, 해무농도에 있어서도 농도가 짙게 나타남을 많은 위성영상에서 확인할 수 있었다.

Fig. 16은 그중 일부이다.

경기만 에서의 조석전선은 내만쪽과 외해쪽에 나타난다. 내만측의 전선은 조석 혼합보다는 담수유입에 의한듯하고 외해전선(外海前線)은 조석혼합(朝夕混合)에 의함이 입증되었다(최중기, 1990).

인공위성 자료에 의하면 조석혼합이 가장 왕성한 곳은 태안반도 앞으로 입증되었으며 이러한 혼합역은 조류에 따라 이동되는 것으로 보인다. 하계 태양복사에너지로 인한 조석전선은 5월부터 형성되어 10-11월에 소멸되는 것으로 보인다.

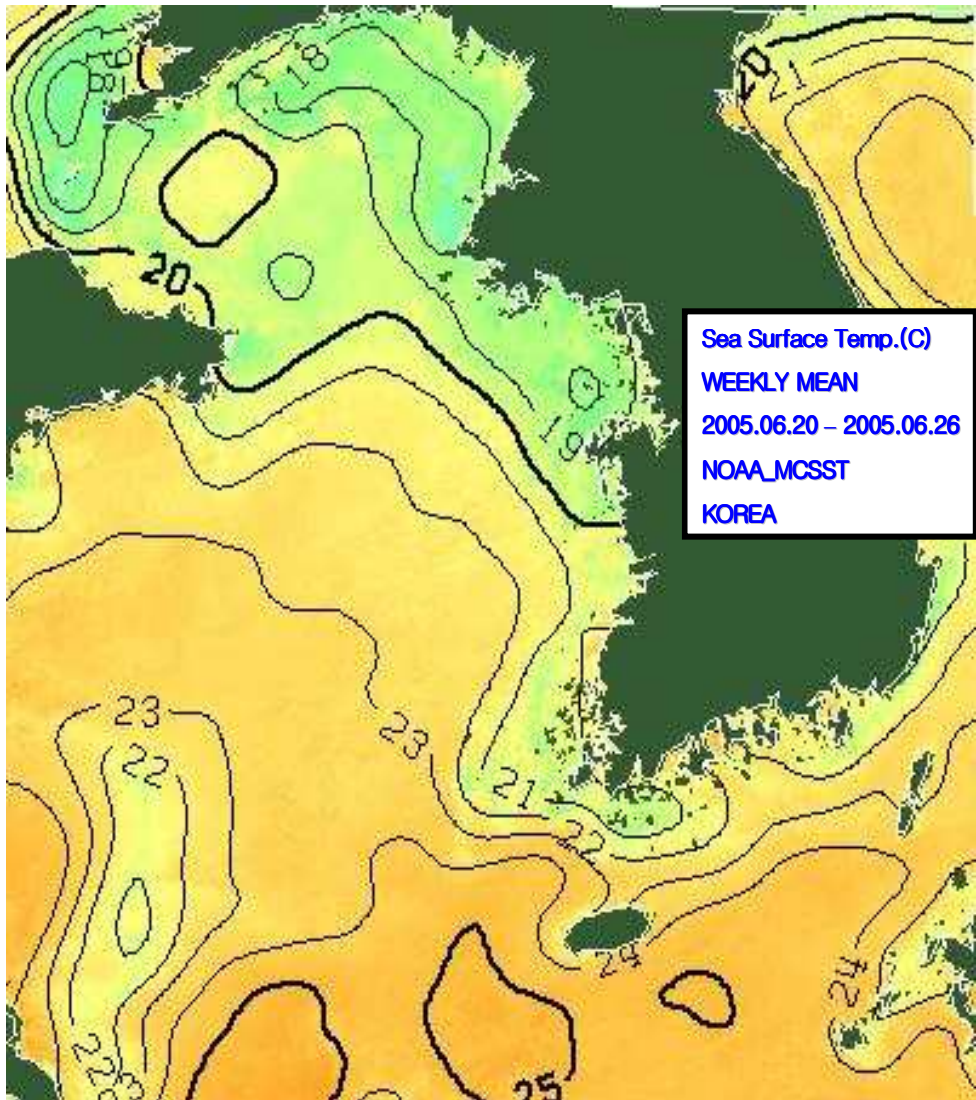
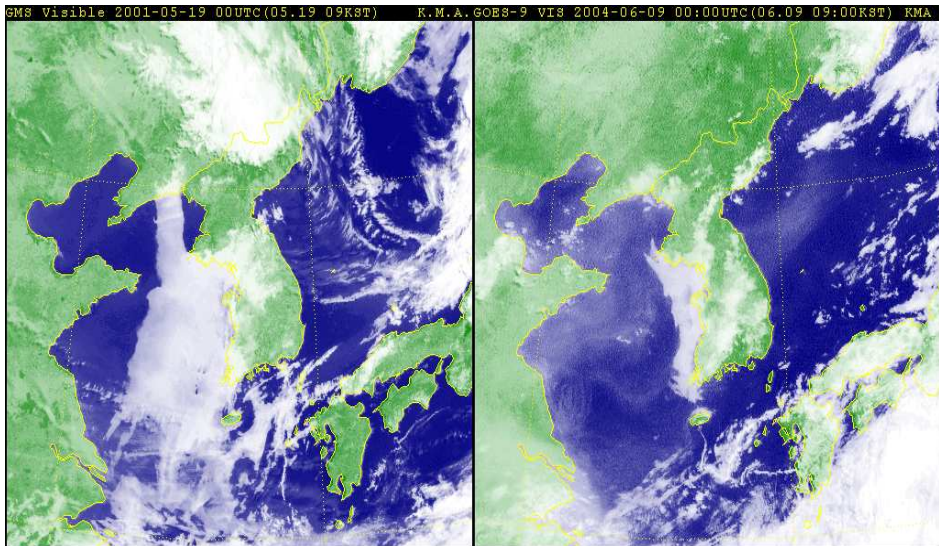


Fig. 15 The example of tidal front observed by an meteorological satellite on June 20~26th, 2005.

00UTC May 19th, 2001(GMS. Vis) 00UTC June 09th, 2004(GOES. Vis)



0538UTC June 24th, 2005(NOAA) 0305UTC June 24th, 2005(NOAA)

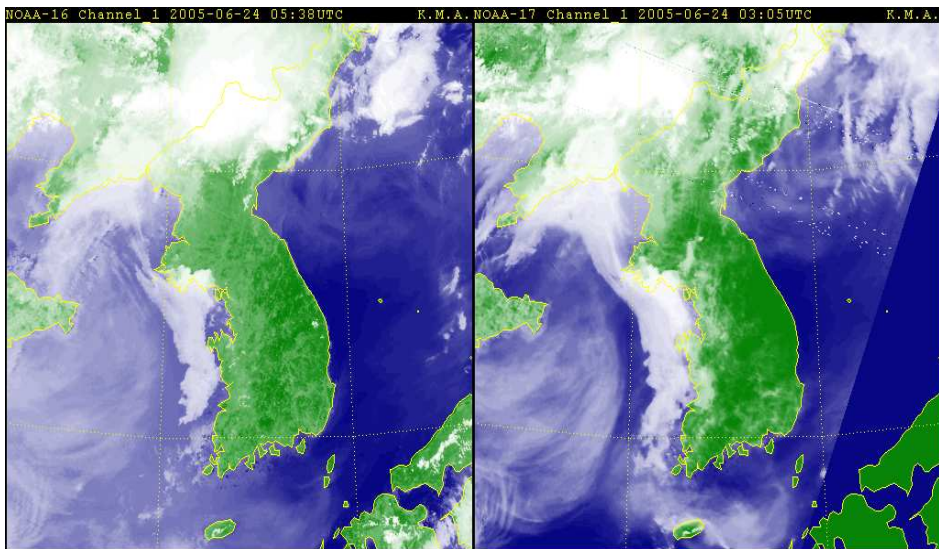


Fig. 16 The Sea fog image of tidal front area.

D. 해수온도와 상층관측자료와의 관계

Fig. 17은 4, 5, 6, 7월 격렬비열도의 수온과 오산 1,000hPa, 850hPa의 온도차를 나타낸 것이다.

수온은 1,000hPa의 기온에 비해 약 2~3°C 낮게 나타났으나, 850hPa 기온에 비해서는 2~3°C 정도 높게 나타났다. 기존의 연구에서 열수지를 구할 때 기온자료를 850hPa 자료로 사용하는 경우가 있었는데, 이 고도에서는 수온보다 기온이 낮게 되어 실제 해양·대기 열교환량 추정에 오차가 생길 수 있음을 알 수 있다.

1,000hPa의 기온은 수온보다 높으나, 850hPa의 기온은 수온보다 낮아 실제 해무가 1,000hPa까지는 열수지에 의해 해무가 생성되어 층운형태로 나타날 수 있지만, 850hPa고도에서는 생기기 힘든 것을 알 수 있다. 일반적으로 850hPa은 약 5,000ft로 이 고도까지 해무에 의한 층운이 영향을 주기 힘든 것으로 판단된다.

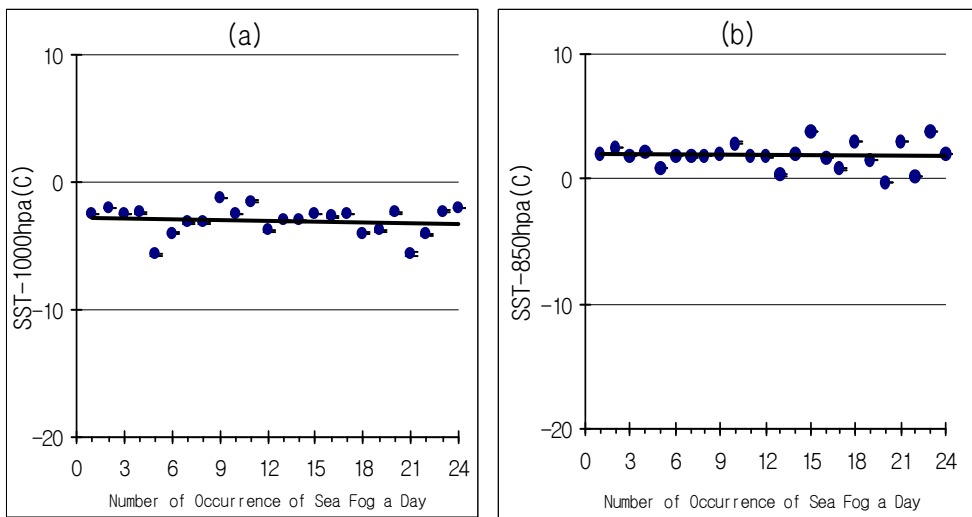


Fig. 17 The frequencies of sea fog a daily for SST-1000hPa temperature(a) and SST-850hPa temperature(b).

실제 예보현장에서 해수온도와 상층의 온도와 풍향을 참고하여 해무의 발생가

능성을 예보할 수 있는 표를 만들었다.

Table. 5는 하루 3시간 이상 해무 발생일 해양과 대기 온도차 및 풍향에 따른 안개 출현 일수를 나타낸 것이다.

풍향이 남서풍이고, 수온이 1,000hPa 기온보다 낮고 850hpa 기온보다 높을 때 해무가 가장 많이 발생하였다.

Table 5. The thermal gradient between the sea and the air(850, 1000hpa), and the frequencies of fog depending on the upper air wind, when sea fog persists for more than 3hours a day(April through July between 1997~2005).

Temperature Wind direction		sea surface temperature - 1,000hPa temperature																				
		-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,000 hPa wind direction	NE	0	0	2	0	2	0	3	10	10	12	15	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0
	SE	0	0	2	2	2	4	5	11	9	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	SW	1	0	1	1	2	3	12	10	10	9	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	NW	0	0	0	0	1	1	2	8	11	9	13	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Temperature Wind direction		sea surface temperature - 850hPa temperature																				
		-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
850 hPa wind direction	NE	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	4	5	7	5	5	3	4	0	0	0	0
	SE	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	2	3	2	6	3	2	0	0	1
	SW	1	0	1	1	0	1	4	2	2	9	20	17	17	14	20	11	5	4	2	0	0
	NW	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	20	9	11	13	16	15	11	1	0	0	0

V. 발생한 해무의 내륙유입

A. 시간별 해무의 내륙유입 분포

Fig. 18은 해상에서 발생한 해무의 시간별 내륙유입(內陸流入) 분포를 나타낸 그래프이다.

해안선에 인접한 군산과 서산지역은 06시~ 09시에 최대유입빈도를 보이고, 15시에 최소유입빈도를 보였으며, 내륙인 수원의 경우 10시 이후 17시까지의 낮 시간에는 해무유입이 없었다. 세 지역 모두 육풍이 부는 저녁이나 새벽시간에 해무가 내륙으로 유입 되었으며, 해풍이 부는 낮 시간에 해무의 내륙유입 빈도가 낮은 것이 특이하였다. 이는 해무의 내륙유입에 있어 해풍의 역할이 미미함을 의미하며, 낮 동안의 복사가열에 의한 지표온도상승으로 역전층이 해소되고 난류(Thermal blocking)가 형성되어 해풍에 의한 해무의 내륙유입을 저지하기 때문으로 판단된다.

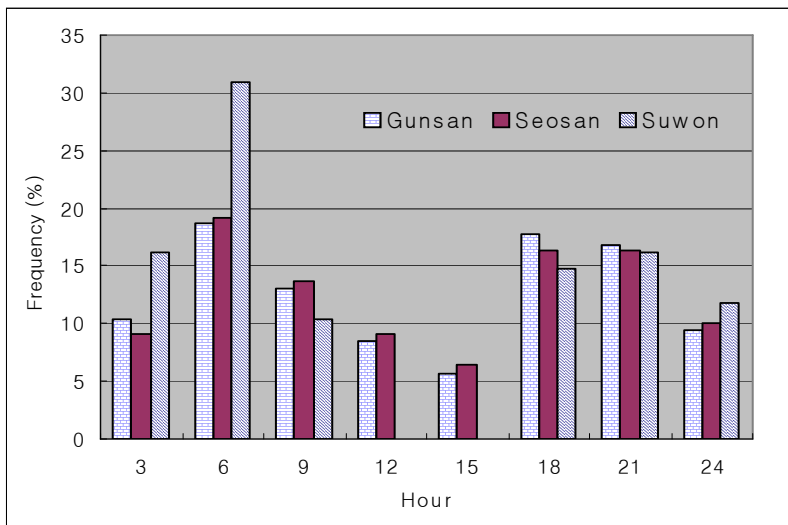


Fig. 18 Inland inflow of the sea fog the hourly

B. 해무유입과 만조(滿潮)시간과의 관계

Fig. 19에서는 만조시간과 해무의 내륙유입과의 관계를 살펴보았다.

만조는 해안과 접한 내륙에 많은 습기량의 공급과 여름철에는 기온을 강하시키고, 겨울철에는 기온을 상승시키는데 영향을 미치므로 해무가 내륙으로 유입되기 좋은 환경을 만든다. 해무의 내륙유입이 만조시간 2시간 전 후에 빈번한 것만 보아도 만조시간과 해무의 내륙유입과의 상관관계는 높은 것으로 추정된다.

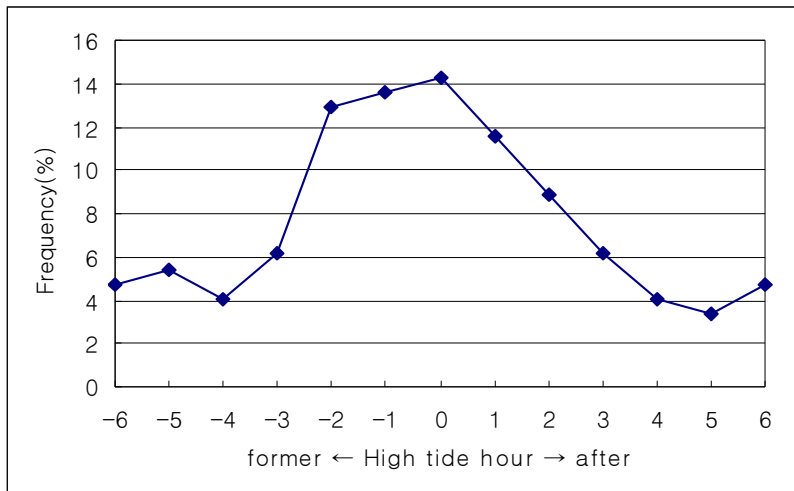


Fig. 19 The ratio(%) of High tide time and sea fog inflow .

실제로 Fig. 20은 2003년 2월 9일 만조시간이 0940KST인 날의 충남 서산과 서산앞바다의 07KST와 10KST의 연직 구름물과 상대습도의 수치자료이다. 07KST에 해상에 머물러 있던 습수가 조수와 함께 이동하여 10KST 수치자료에서 보는바와 같이 내륙에 0.05이상의 구름물과 97%이상의 높은 상대습도를 나타내는 해무를 발생시켰다. 구름물과 상대습도는 만조시간 2시간 전부터 점차 증가하기 시작하여 해무의 내륙유입이 관측된 0930KST에 최고값을 보였으며, 이후 지속되다가 내륙기온 상승에 따른 해무의 소산으로 점차 감소하였다.

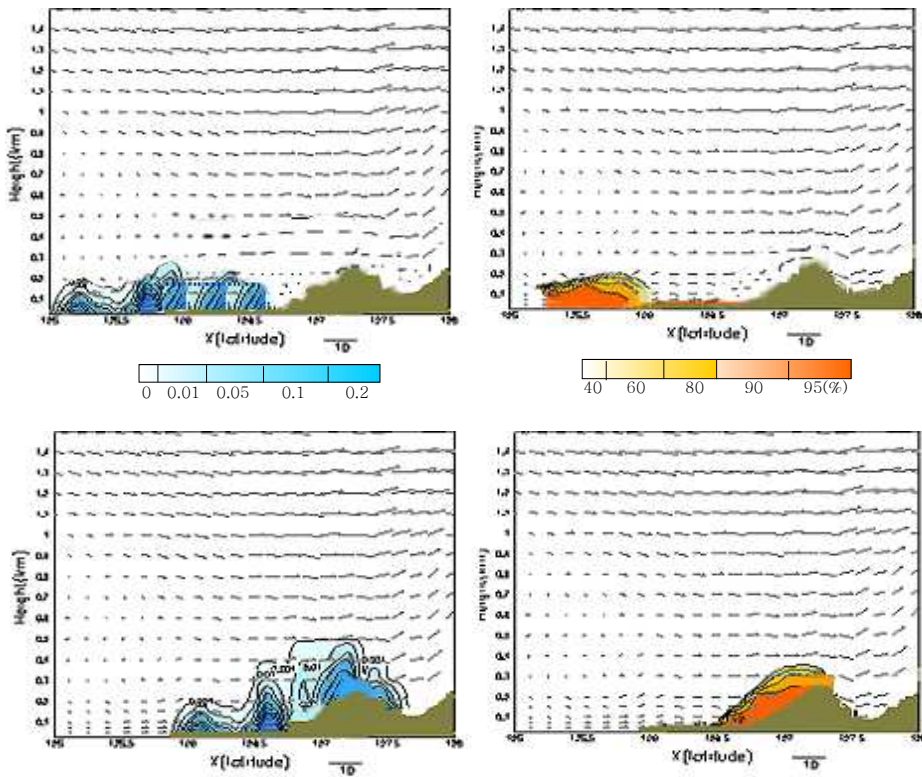


Fig. 20 The Movement of cloud liquid water and relative humidity which it follow at high tide hour for 07KST(up), 10KST(lower) February 09th, 2003.

C. 해무의 내륙유입과 난류

해무는 해상에서 생성되어 육지로 유입되곤 하는데 그 유입경계를 형성하는데 있어 난류가 중요한 역할을 한다. 난류가 해무의 소산을 일으켜 더 이상의 유입을 막고 경계를 만드는 것이다. 난류의 존재 유무는 통상적으로 리차드슨수로서 그 존재를 파악하곤 한다. 하지만 실제 해무의 유입 경계에서 발생하는 난류의 존재 유무를 파악하기 위해서는 통상적으로 건조대기에서 그 식이 성립하는 보통의 리차

드습수가 아닌 습윤과정에서 성립하는 리차드슨수로서 난류를 살펴보아야 할 것이다. 이용희, 원덕진 등(2000)은 해무발생시 난류의 특성을 습윤공기를 고려한 리차드슨수(Ri_m)와 건조공기에 의한 리차드슨수(Ri_d)의 분석을 통하여 알아본 결과, Ri_m 은 해무 이동 전면에서 陰의 값을 가지는 강한 난류의 특성이 나타남을 밝혀냈다. 실제로 수치모델에서 해무발생지역의 Ri_m 은 1~4 범위내의 값으로 나타나 안정한 대기의 특성을 보였으나 해무이동 전면부에서 강한 대기난류를 나타내는 陰의 값을 보였으며, 안정한 대기 중에서 발생한 해무는 강한 난류지역을 넘어 확장하지는 못하였다. 이런 관계에서 내륙기온과 해수온도의 불연속면대에서 발생하는 난류(온도차이)의 크기로 해무의 내륙유입여부를 설명하는 개념모형을 Fig. 21과 같이 제안하였다.

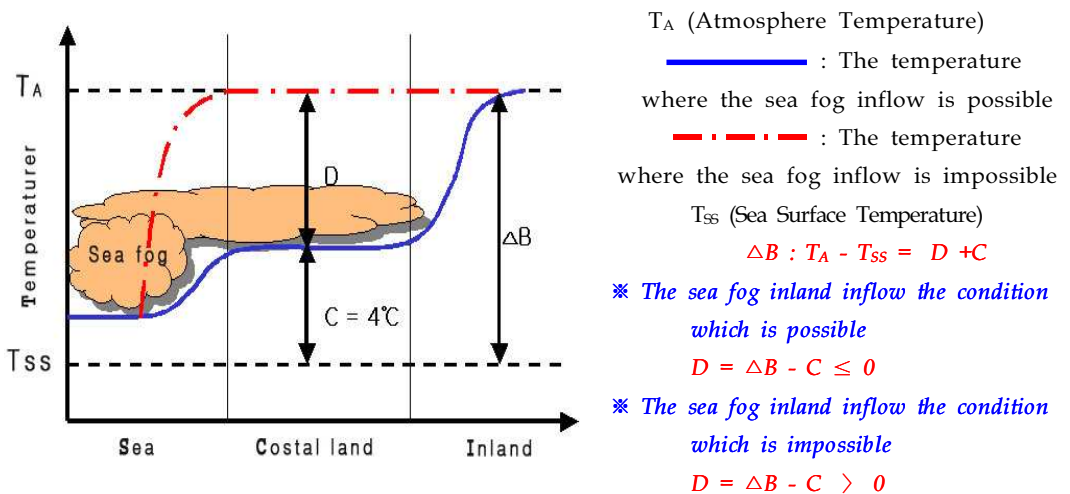


Fig. 21 Thermal Potential Model proposition.

이 모형으로 해상에서 발생한 해무의 내륙유입여부를 해수온도와 내륙기온의 차에 의해 판단할 수 있다. 즉, 역학에서 운동하는 물체(즉, 해무를 뜻함)가 포텐셜 언덕(즉, 해수온도와 기온의 차)에 이를 때 그 물체의 포텐셜이 언덕보다 크지 못

하면 언덕을 뛰어 넘을 수 없다. 해무는 이동 전면의 높은 온도 포텐셜 언덕을 만나면 더 이상 내륙으로 유입되지 못하고 만다. 그러나 연안 육지의 기온이 낮아 포텐셜 언덕이 낮아지면 해무는 유입하여 유지될 수 있게 된다. 그림에서 점선은 기온선과 해수온도선이다. 내륙기온과 해수온도의 차이 ΔB 가 클 때는 해무가 해상에 머물러 있다가 C만큼 기온이 떨어지면 연안육지로 유입된다. 모든 관측 통계자료 분석에서 C값은 섭씨 4°C 이하였다.

이를 이해하기 쉽게 단순화 시키면 Fig. 22의 $T_A - T_{ss} \leq 4^{\circ}\text{C}$ 요건일 때 해무가 내륙으로 유입된다. 즉, 내륙기온이 해수온도에 근접하여 온도장벽(thermal blocking)이 없을 때 해상의 해무는 내륙으로 유입하여 유지될 수 있는 좋은 환경을 가지게 된다. 그러나 내륙기온이 해수온도보다 4°C 이상 높을 경우 해무유입의 가능성은 적어진다. 실제로 해무발생이 가장 빈번한 7월과 8월의 해무가 내륙으로 들어오지 못하고 해상에 머무는 것은 내륙기온 상승에 따른 난류(thermal blocking) 때문이다. 그러므로 기온은 해무의 내륙유입여부를 판단하고 해무유입 시 해무를 유지시키는 환경을 결정하는 중요한 요소이다.

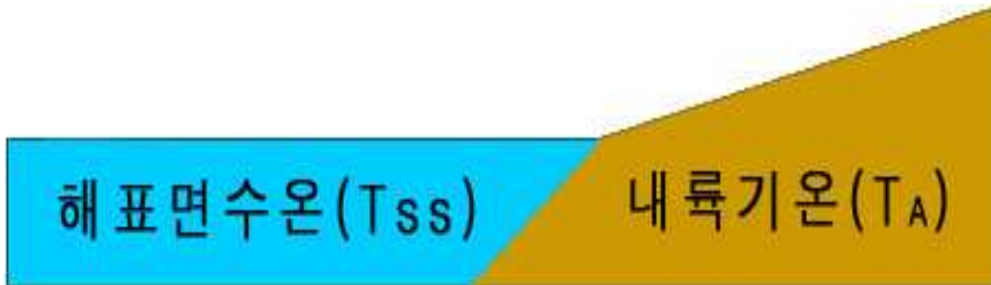


Fig. 22 The cross view of Sea and Land.

D. 數值 *model*을 이용한 사례분석

사례분석 연구에 사용된 수치모델은 항공기상대의 '항공기상 단시간 예측시스템'이다. 항공용 단시간예측시스템은 PC 클러스터를 기반으로 cpu가 1.33GHz, Memory가 2G의 성능을 가진 1개의 Master Node와 11개의 Slave Node로 구성되어 있다. 이 클러스터에 미국 NOAA(National Oceanic and Amospheric Administration/FSL(Forecast Systems Laboratory)의 국지분석시스템(Albers *et al.*, 1945)을 기반으로 기상연구소 예보연구실에서 개발한 KLAPS(Korea Local Analysis and Prediction System)와 미국 NCAR(National Canter for Atmospheric Research)에서 개발한 MM5(Meso-scale Model)를 설치하고, 이를 이용하여 수치 예측자료를 생산하고 있다.

모델의 초기자료는 전 시간대의 MM5 수치 모의결과(first guess)와 여러 관측 자료를 KLAPS의 자료동화 및 분석 과정을 거쳐 생산하고, 기상청의 전지구모델인 GDAPS(Globe Data Assimilation and Prediction system) 수치 예측자료가 모델의 측면 경계자료로 사용되며, SST 자료는 해상도가 0.1° 인 MTSAT(Multi-functional Transport satellite) 위성의 SST 자료를 사용하여 하루에 4회(0000 0600, 1800, 1200UTC)를 운영한다. 그리고 수치 적분 초기에 발생하는 강수의 스펀업 문제를 완화하기 위하여 4차원 자료동화(FDDA, Four-Dimensional Data Assimilation) 방법을 적용하였다(Satuffer and Seaman, 1990). 참고로 항공용 단시간예측시스템의 격자 정보 및 미세물리과정에 대한 설정을 Table. 6에 정리하였다.

Table 6. The specification of Numerical weather forecast Model for this experiment simulation

<i>Items</i>	<i>Description</i>	
Dynamic	Nonhydrostatic	
DX	18 km	6 km
Dimension	148 x 148	115 x 115
Time steps	48	18
Vertical layers	35/50 hPa	35/50 hPa
Forecast Time	30 hrs	30 hrs
Initialization	Assimilated by KLAPS	Mother domain (1-way interaction)
Lateral BC	GDAPS	
Micro physics	Reisner 2	
PBL	MRF	
SST	MTSAT SST (resolution 0.1°)	
Ground Temp	5-layer soil model	

본 연구에서는 해무의 확산경계에서 습윤리차드슨수(R_{im})와 지표온도 상승에 따른 난류의 생성을 알아보기 위해 2006년 6월 9일 '항공기상 단시간 예측시스템'의 시정예상도가 해무를 모의하고, 실제로 해무가 발생한 태안반도 지역을 동서로 잘라 습윤리차드슨수(R_{im})와 구름물, 바람벡터의 연직단면도를 알아보았다.

Fig. 23은 2006년 6월 9일 02~05KST의 MTSAT 해무영상으로 초록색과 파랑색은 얇은 해무를 나타내며, 주황색과 노랑색은 짙은 해무를 나타낸다. 위성영상을 통해 알 수 있듯이 서해안을 따라 해안 및 해상에 해무가 넓게 분포되어 있으며, 0500KST에는 태안반도 부근에 주황색과 노랑색의 짙은 안개가 발생한 것으로 보인다.

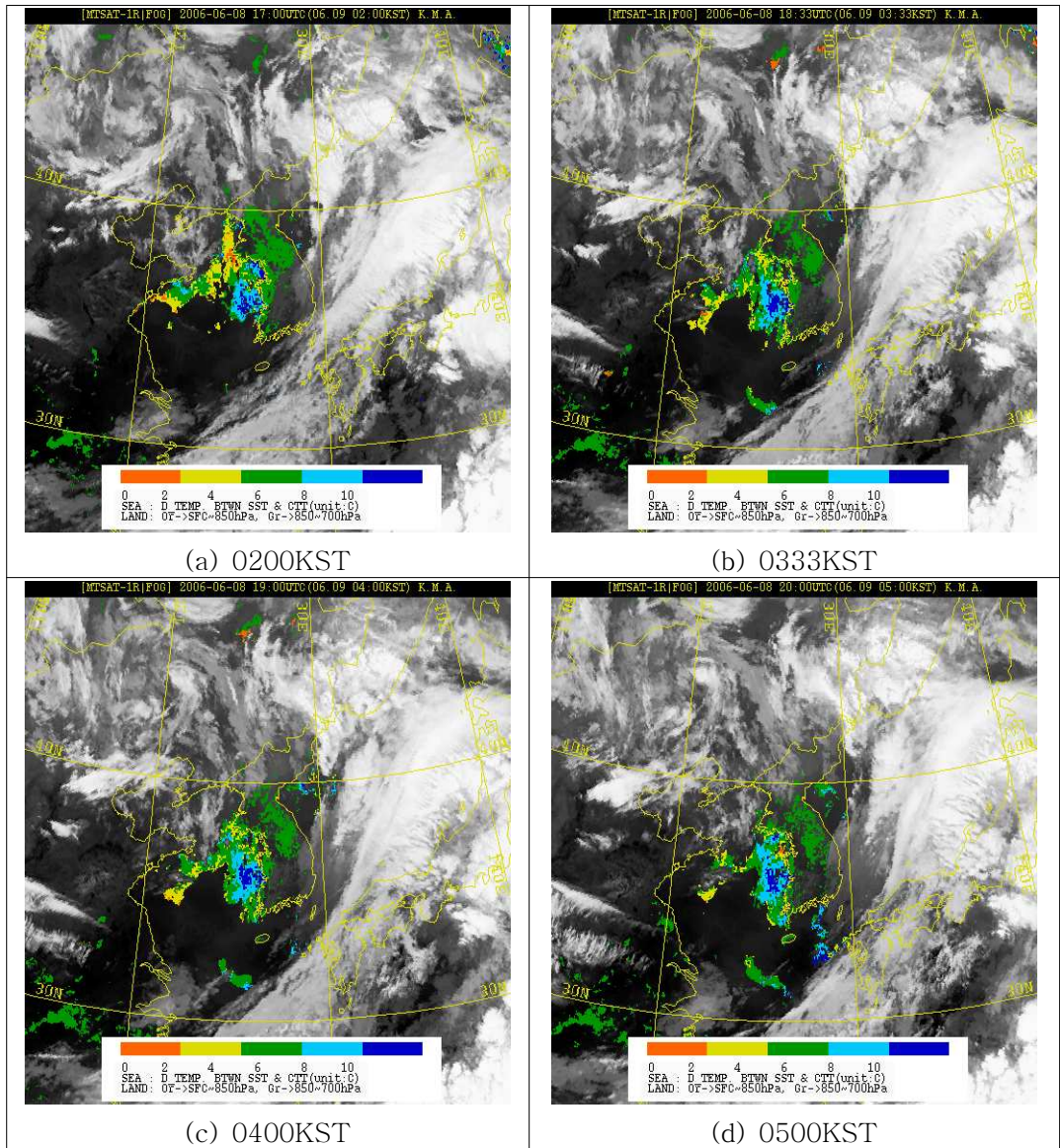


Fig. 23 MTSAT Sea fog image for 0200 ~ 0500KST June 09th, 2006

Fig. 23과 같은 시간(02~05KST)의 해무 예상도를 ‘항공기상 단시간 예측시스템’으로 서해상의 해무를 모의하여 Fig. 24에 나타내었다. 이 그림에서 보는바와 같이 ‘항공기상 단시간 예측시스템’의 해무 예상도가 위성영상에서 나타난 태안반도부근의 해무와 거의

유사하게 예측하고 있다. 따라서 수치모델의 수치예측자료를 이용한 분석이 가능하며, 분석된 자료에 신뢰성을 가져도 되리라 판단된다.

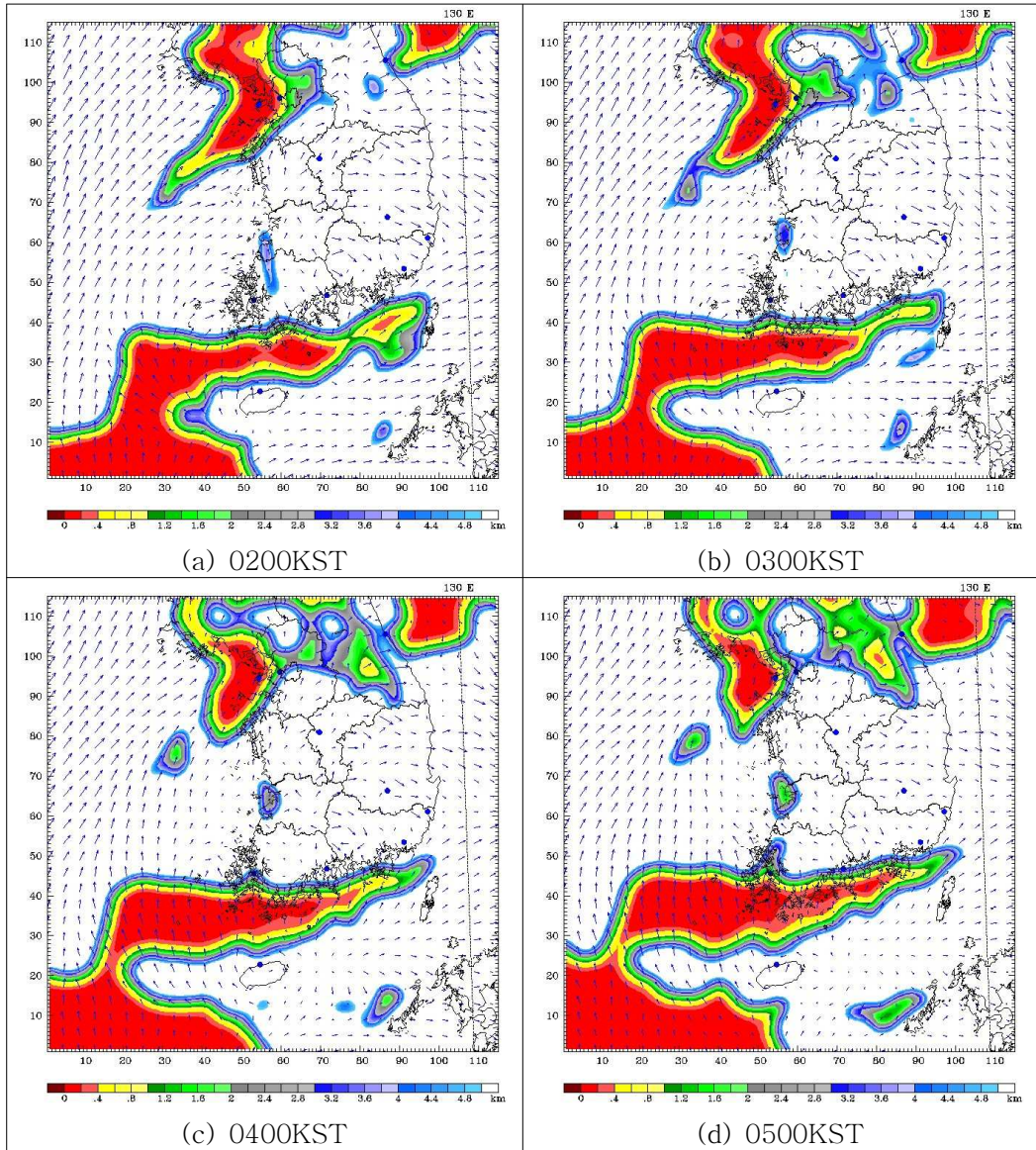


Fig. 24 The visibility forecast of Numerical model for 0200-0500KST June 09th, 2006

Fig. 25는 2006년 6월 9일 07~10KST의 '항공기상 단시간 예측시스템'의 해무 예상도로서 그림에서 보는바와 같이 서해상의 해무가 태안반도 내륙까지 유입되지 못하고 해상과 해안에만 분포하는 것으로 모의하고 있다. 이 때 해무 경계에서의 난류와 지표온도 상승에 따른 난류강도변화를 알아보기 위해 A-B 연직단면도에서의 습윤리차드스수(Ri_m)와 구름물, 바람벡터를 알아보았다.

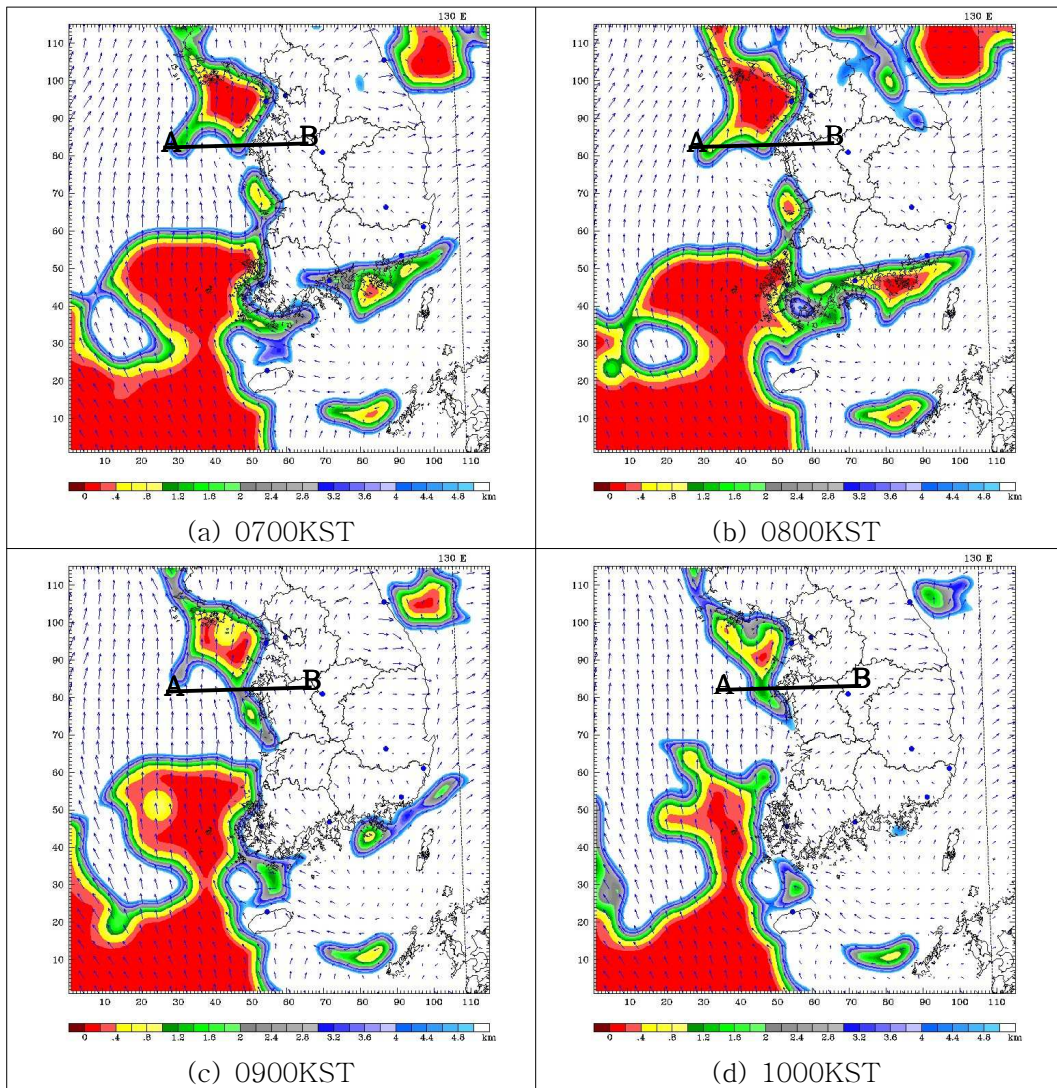


Fig. 25 The visibility forecast of Numerical model for 0700~1000KST June 9th, 2006

그 결과 Fig. 26에서와 같은 습윤리차드스수(실선 +, 점선 -), 구름물(0.05~0.2), 바람 벡터를 나타내었다. 수치자료에서 알 수 있듯이 해무발생지역의 습윤리차드스수(Ri_m)는 대체로 안정한 대기의 특성을 보였으나, 해무이동 전면부(타원 실선으로 표시된 지역)의 해안과 인접한 육지에서 강한 대기난류를 나타내는 음의 값을 보였다. 이는 안정한 대기중에서 발생한 해무는 강한 난류지역을 넘어 확장하지 못함을 의미한다.

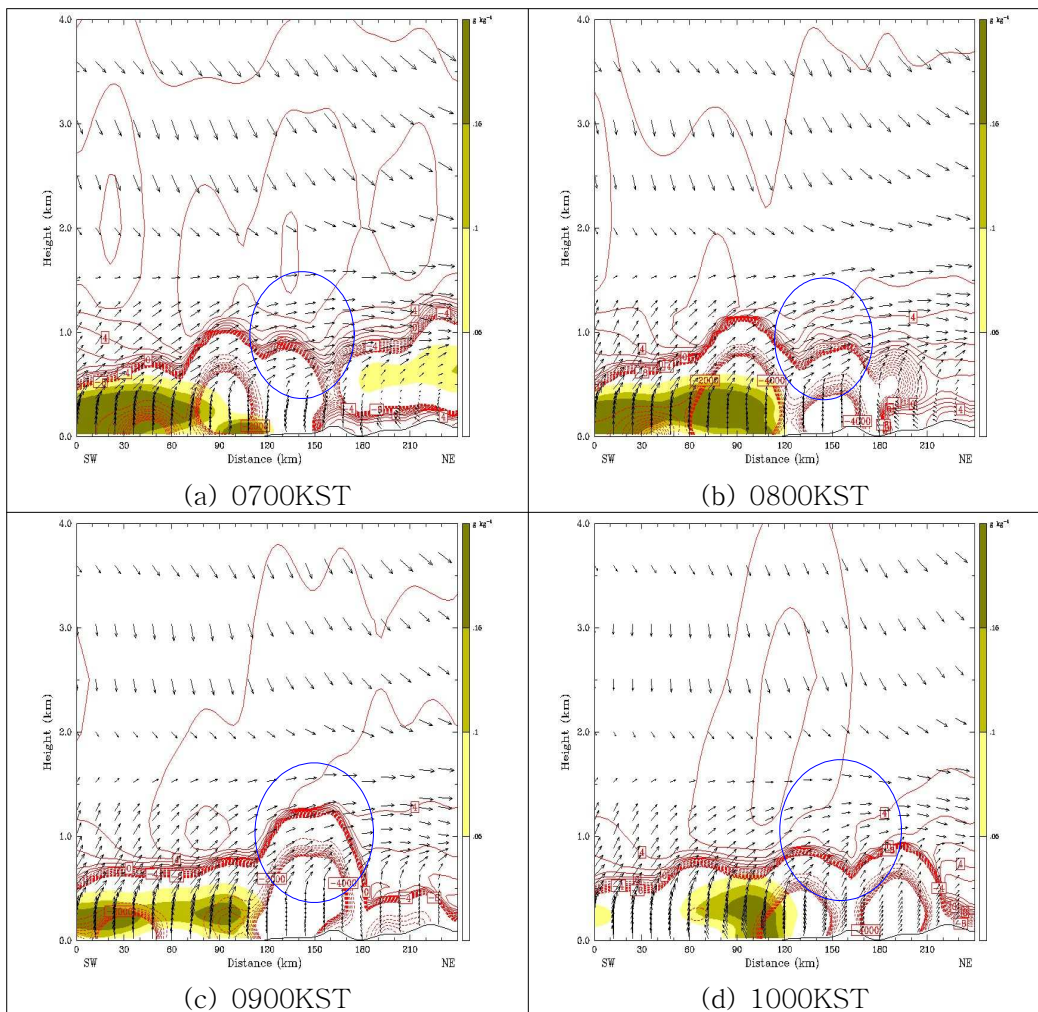


Fig. 26. A-B vertical profile of turbulence, cloud liquid water and wind vector simulated by Numerical model

Fig. 27은 시간에 따른 지표온도 상승과 난류강도 변화를 잘 보여주는 그림으로 해안과 인접한 육지의 기온이 시간이 지남에 따라 상승하면서 상승기류도 강해져 대류(음의 습윤리차드슨수)도 더욱 강하게 나타났다. 이는 해상과 육지의 온도차가 커지면 연안육지의 온도 불연속면대에서 陰의 습윤리차드슨수가 커짐을 의미하며, 강한 난류(Thermal blocking)로 인하여 서해상의 해무가 내륙으로 유입되지 못함을 의미한다.

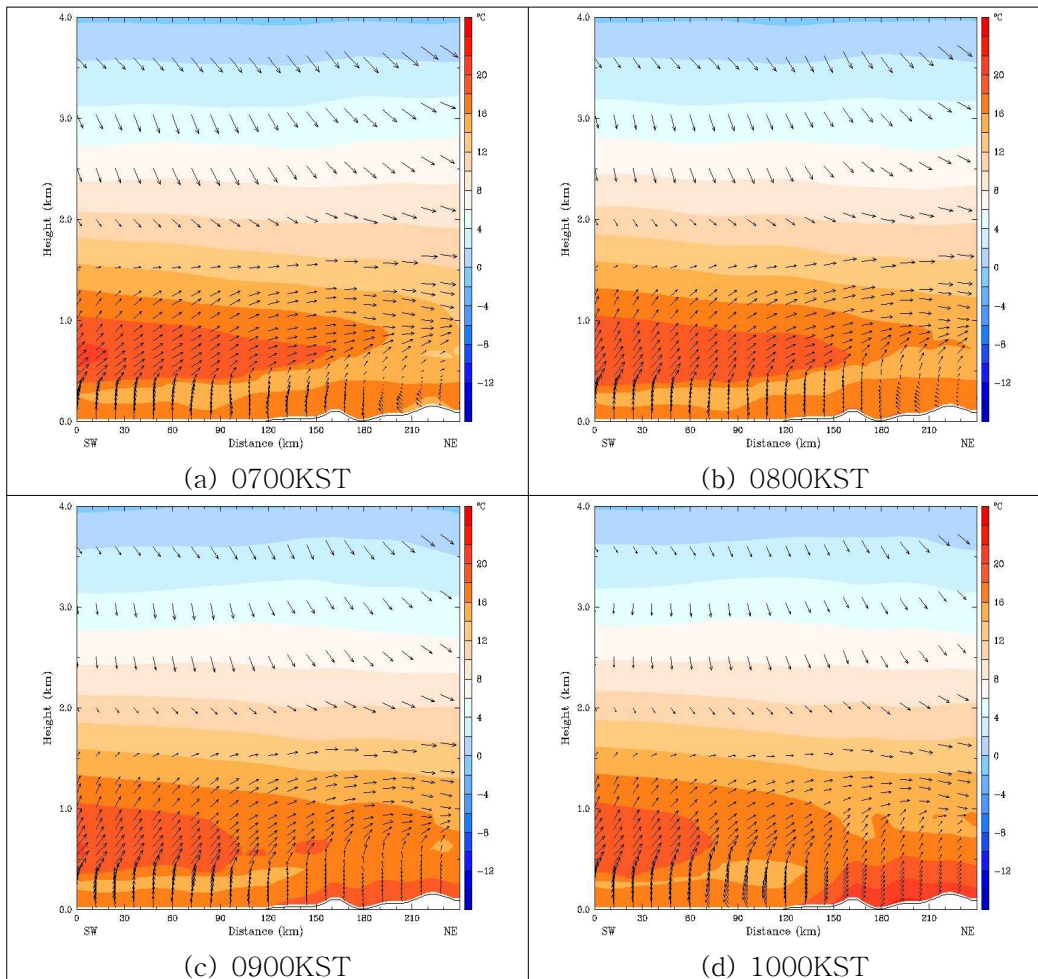


Fig. 27 The change of turbulence depending on time simulated by Numerical model

E. 위성영상과 실황을 통한 검증

Fig. 28~32, Table. 7~11은 해무의 내륙유입이 있었던 날의 위성영상과 실황이다. 기압골에 의해 해무가 발생한 경우를 제외하고, 해상 저층의 안개 분석이 가능한 위성영상을 이용하여 실제 관측실황과 비교분석하였으며, 지면관계상 일기도자료를 포함한 다수의 자료는 부록에 첨부하였다.

Fig. 28은 2000년 7월 25일 04시 NOAA위성의 안개 영상이다. 지상일기도에서 우리나라 남서해상에 고기압이 위치하고 북만주와 화북지방에 저기압이 위치한 남고북저형의 기압패턴에서 발생한 해무로서 Table. 7의 실황 관측값과 비교분석해보았을 때 해무의 내륙유입과 만조시간과의 상관관계, 해기차($T_A - T_{SS} \leq 4^\circ\text{C}$)의 관계, 조석전선에 의한 연안 해무발생, 지역별 풍향·속과 가시거리에 따른 습도의 차이 등에 대하여 위성영상과 실황이 잘 설명해 주고 있다.

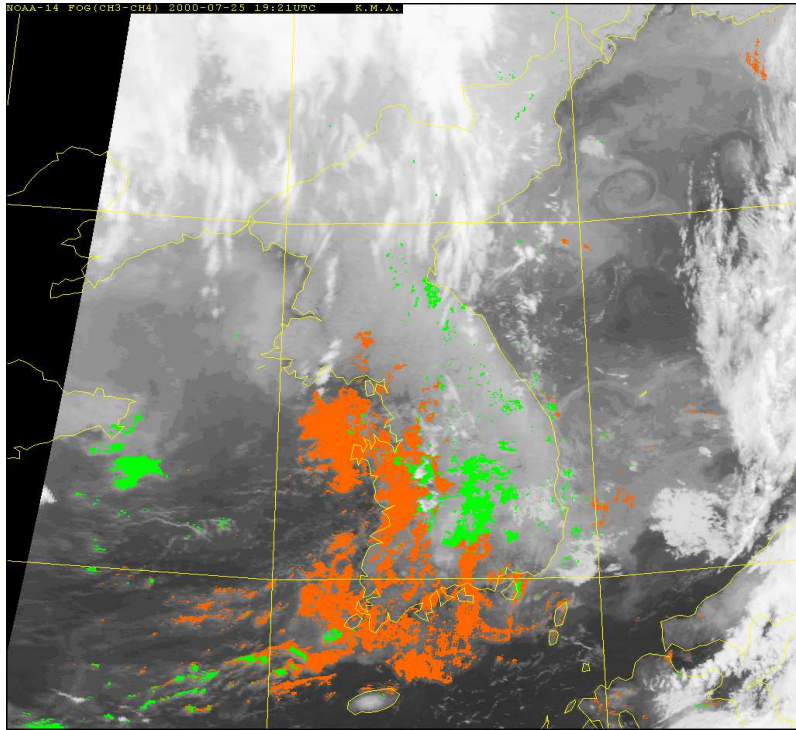


Fig. 28 NOAA-14 FOG image for 04KST July 25th, 2000

Table 7. The observation data for 04KST July 25th, 2000

station	visibility (m)	temperature (°C)	wind direction	wind speed (KTS)	humidity (%)	high tide hour (Incheon)	fog inflow hour	sea surface temperature (Incheon)
Baengnyeongdo	1600	21	24	1	94	10:43 23:31	00:40	22°C
Suwon	400	22	32	1	84		01:30	
Mangilsan	0	21	21	6	96		01:00	
Seosan	2400	23	24	4	86			
Gunsan	4000	24	27	4	83			
Baegado	400	23	24	2	97		00:10	
Byeollipsan	8000	22	6	5	77			
Yeonpyeongdo	3200	22	11	8	96			

Fig. 29는 2001년 5월 3일 17시 GMS위성의 可視(visible)영상이다.

지상일기도에서 우리나라 남동해상에 세력이 약화된 고기압이 위치하고 발해만과 화북지방에 저기압이 위치한 동고서저형의 기압패턴에서 발생한 해무로서 Table. 8의 실험 관측값과 비교분석해 보았을 때 해무의 내륙유입시간(11~12KST)과 만조시간(1356KST)과의 관계에서는 지역별 만조시간의 차이를 고려할 때 만조1~2시간 전에 해무가 발생하여 그 상관관계는 높아 보인다. 해무가 유입되기 쉬운 해기차($T_A - T_{SS} \leq 4^\circ\text{C}$)의 관계에서도 해수온도와 해무 발생지역은 11°C , 발생하지 않는 지역은 13°C 이상으로 나타나 해무의 내륙유입 관계식을 입증해 주고 있다. 또, 해무발생시 다소강한 풍속(4~11KTS)을 동반하고, 남서계열의 지역별 풍향과 가지거리에 따른 습도의 차이 등에 대하여 앞장에서 기술한 내용과 일치함을 실제 관측 실험이 잘 검증해 주고 있다.

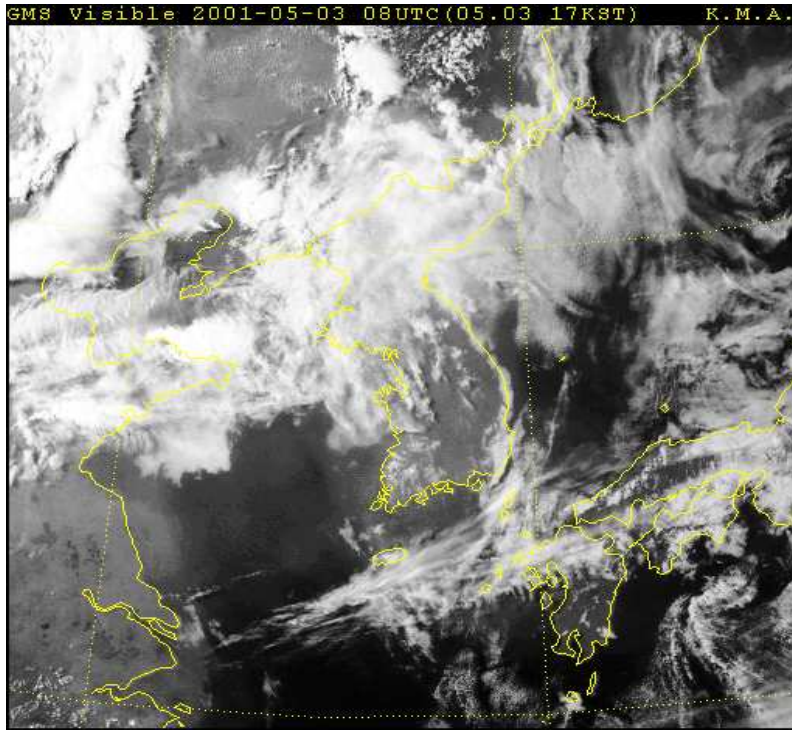


Fig. 29 GMS Visible image for 17KST May 03th, 2001

Table 8. The observation data for 17KST May 03th, 2001

station	visibility (m)	temperature (°C)	wind direction	wind speed (KTS)	humidity (%)	high tide hour (Incheon)	fog inflow hour	sea surface temperature (Incheon)
Baengnyeongdo	400	11	25	4	89	01:10 13:56	11:10	11°C
Suwon	9900	21	26	4	39			
Mangilsan	4800	13	23	10	70			
Seosan	6000	17	22	8	74			
Gunsan	6000	16	28	11	77			
Baegado	200	11	28	8	93		12:00	
Byeollipsan	8000	15	24	11	59			
Yeonpyeongdo	1200	11	28	7	87		11:00	

Fig. 30은 2002년 5월 30일 15시 GMS 위성의 가시영상이다. 지상일기도에서 서해상에 고기압이 위치하고 동해 먼바다에서 동지나해상으로 저기압이 위치하여 우리나라가 변질된 이동성고기압의 영향을 받고 있을 때 발생한 해무로서 모든 지역이 새벽4~7시 사이에 가시거리가 채 200m가 안되는 해무가 발생하였으나 일사량 증가에 따른 지표기온 상승으로 서산, 군산, 망일산은 오후에 안개가 다소 소산된 상태이다. 특히, 서해안 지방은 새벽시간에 유입된 해무의 영향을 받아 오전까지 악시정현상이 지속되다가 오후에 내륙기온이 상승하면서 서서히 회복되었다. Table. 9의 실태 관측값과 비교분석해 보면, 만조시간(0744KST) 2~3시간 전에 해무가 발생하여 내륙에 유입 되었으며, 이 때 해수온도는 13℃ 지역별 기온은 12~15℃로 해무가 유입되기 좋은 해기차($T_A - T_{SS} \leq 4^\circ\text{C}$)의 관계였다. 또, 위성영상을 통해 조석전선에 의한 연안 해무발생을 추측할 수 있으며, 지역별 풍향·속과 가시거리에 따른 습도의 차이 등에 대해서도 관측실태가 잘 설명해 주고 있다.

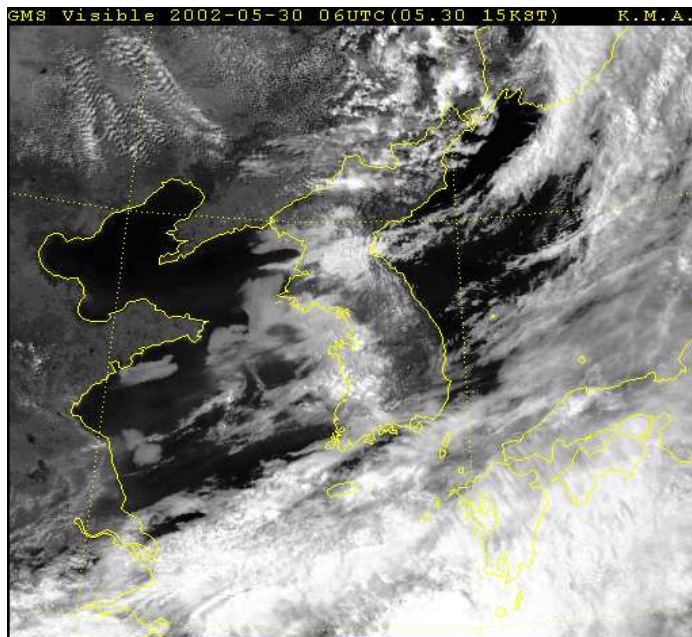


Fig. 30 GMS Visible image for 15KST May 05th, 2002.

Table 9. The observation data for 15KST May 05th, 2002

station	visibility (m)	temperature (°C)	wind direction	wind speed (KTS)	humidity (%)	high tide hour (Incheon)	fog inflow hour	sea surface temperature (Incheon)
Baengnyeongdo	400	20	23	1	93	07:44 19:34	04:00	13°C
Suwon	1600	21	25	6	83		05:40	
Mangilsan	4800	20	20	12	86			
Seosan	3200	18	21	13	82			
Gunsan	3200	18	21	13	86			
Baegado	400	18	26	12	95		05:00	
Byeollipsan	200	17	19	13	94		07:00	
Yeonpyeongdo	200	16	19	5	95		04:00	

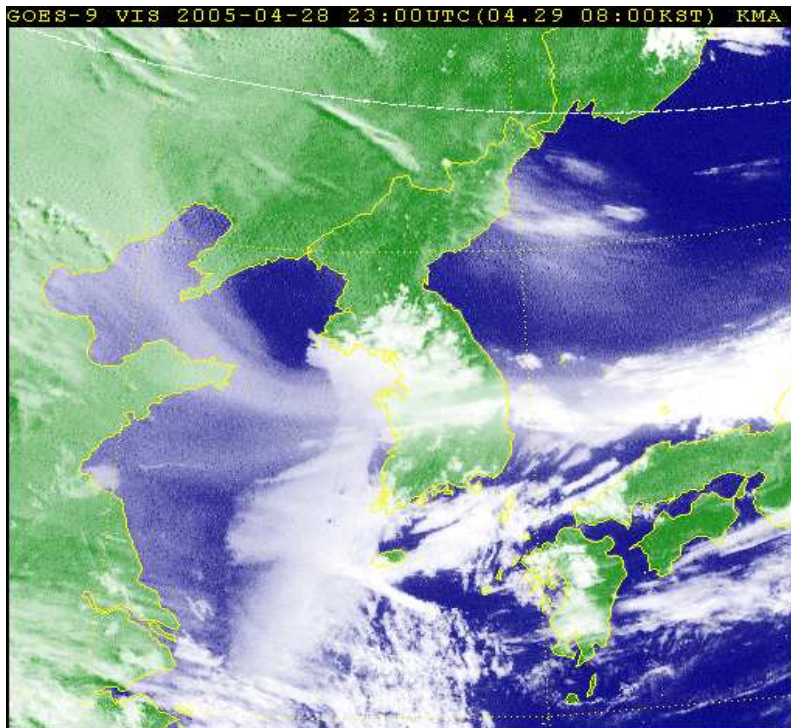


Fig. 31 GOES-9 Visible image for 08KST April 29th, 2005.

Fig. 31은 2005년 4월 29일 08시 GOES-9 위성의 가시영상이다. 지상일기도에서 우리나라가 이동성고기압의 영향을 받을 때 발생한 해무로서 Table. 10의 실태 관측값과 비교분석해 보았을 때 해무발생과 발생한 해무의 내륙유입은 만조시간 1~2 시간 전에 일어났으며, 해양과 대기의 온도차가 4℃ 이내로 해무가 유입될 수 있는 $T_A - T_{SS} \leq 4^\circ\text{C}$ 의 조건이었다. 또, 위성영상에 나타난 해무의 형태로 보아 조석전선에 의한 연안 해무의 발생임을 알 수 있으며, 해무는 복사무와는 다르게 해무발생시 다소 강한 풍속(5~10Knot)이 존재함을 관측실태가 잘 검증해 주고 있다.

Table 10. The observation data for 08KST April 29th, 2005

station	visibility (m)	temperature (℃)	wind direction	wind speed (KTS)	humidity (%)	high tide hour (Incheon)	fog inflow hour	sea surface temperature (Incheon)
Baengnyeongdo	1600	13	6	6	84	07:59 20:09	06:00	10℃
Suwon	2400	15	22	2	86			
Mangilsan	0	12	15	10	97		07:00	
Seosan	3200	13	19	8	96			
Gunsan	1600	15	36	3	91		06:00	
Baegado	400	11	11	5	94		05:00	
Byeollipsan	0	11	24	6	98		07:40	
Yeonpyeongdo	0	10	10	9	92		06:00	

Fig. 32는 2005년 6월 24일 10시 GOES-9 위성의 가시영상이다. 지상일기도에서 우리나라 남서해상에 고기압이 위치하고 동해 먼바다에서 동지나해상으로 저기압이 위치한 기압배치에서 발생한 해무로서 가시거리가 200m가 안되는 해무가 전체 관측지역에서 발생하였으나 10시 현재 일사량 증가에 따른 내륙기온 상승으로 수원, 서산, 군산은 안개가 다소 소산된 상태이다. Table. 11의 실태 관측값과 비교분석해 보았을 때 이날 역시 해무의 내륙유입시간(05~06KST)과 만조시간(0623KST)과의 상관관계가 높게 나타나고, 해무의 내륙유입이 가능한 해수온도(19℃)와 기온(19~21℃)의 해기차($T_A - T_{SS} \leq 4^\circ\text{C}$)가 나타났으며, 위성영상에서 보는바와 같이 조석

전선 지역에서의 해무농도가 짙게 나타났다. 또, 지역별 풍향·속과 가시거리에 따른 습도의 차이 등에 대하여 관측실황이 잘 검증해 주고 있다.

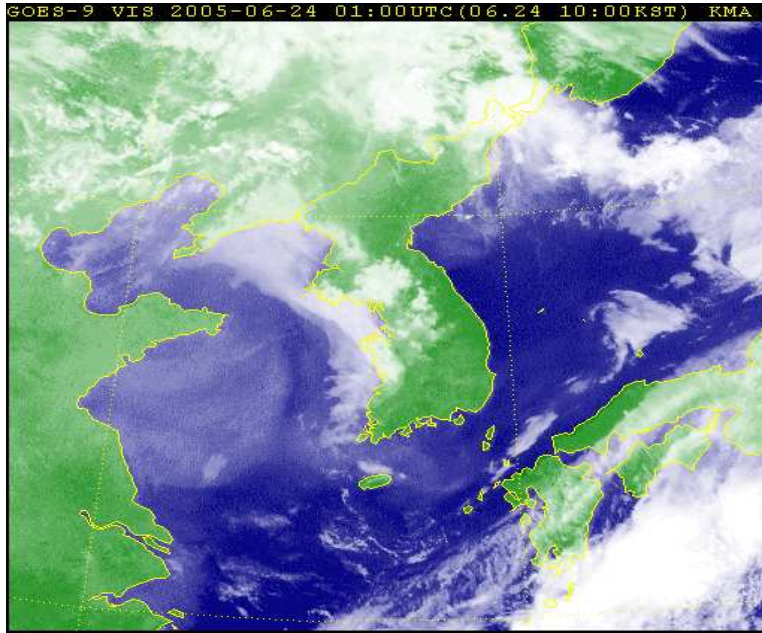


Fig. 32 GOES-9 Visible image for 10KST June 24th, 2005

Table 11. The observation data for 10KST June 24th, 2005

station	visibility (m)	temperature (℃)	wind direction	wind speed (KTS)	humidity (%)	high tide hour (Incheon)	fog inflow hour	sea surface temperature (Incheon)
Baengnyeongdo	0	19	10	10	98	06:23 18:38	05:00	19℃
Suwon	4000	26	20	3	68			
Mangilsan	0	21	15	9	97		06:00	
Seosan	3200	22	18	4	88			
Gunsan	4000	24	21	3	83			
Baegado	400	20	3	4	95		05:00	
Byeollipsan	1600	20	21	4	91		06:00	
Yeonpyeongdo	0	20	17	2	98		05:00	

VI. 결 론

서해 중부연안에 나타나는 해무의 특성을 분석하기 위해 15년 내외의 비교적 오랜 기간의 관측 자료를 사용 하였으며, 해양·대기 상호작용측면에서 해무의 발생특성과 발생한 해무의 내륙유입에 대해 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 해무는 봄인 4월부터 발생빈도가 점차 증가하여 7월에 최대를 갖고, 8월에는 급격히 감소한다. 이는 이시기 비열이 큰 해양보다 대기가 먼저 가열되어 고온다습한 기단이 상대적으로 차가운 해면상을 지나면서 포화, 응결되어 안개가 발생하기 때문이다.

2. 해무는 7시를 전후로 최대, 15시를 전후로 최소의 발생빈도를 보인다. 육상의 복사안개도 7시에 최대로 발생하지만 급격히 감소하여 일중 낮은 빈도를 보인다. 이는 낮 동안 복사가열에 의한 온도상승이 안개발생을 어렵게 하고 안개를 소산시키기 때문으로 사료된다.

3. 해무가 잘 발생하는 기압계 유형들이 존재하며 이것은 월별로도 시기적인 특성을 가진다. 해무는 주로 南高北低 및 東高西低型의 기압배치에서 빈번히 발생하였다.

4. 해무발생 시의 풍향은 백령도는 서풍, 연평도 및 백아도는 남동풍 또는 남풍, 수원, 서산, 별립, 망일산은 남서풍으로 남서~남동계열의 바람이 주가 되었다. 군산의 경우는 특이하게 북서(270~330)풍의 경우에도 발생빈도가 높았다. 그러나 모든 지역에서 북서~북동(330~030)풍에서는 해무발생 빈도가 낮았다. 이는 氣壓系에 의해 결정되는 풍향의 특성상, 해무를 일으키는 南高北低, 東高西低의 기압배치 하에 서는 북서, 북동(330~060)풍이 불기가 어렵기 때문으로 판단된다.

5. 안개발생 시 풍속은 내륙인 수원을 제외한 모든 지역(서산, 수원, 백령도, 연평도, 백아도, 망일산, 별립산)에서 3~6 m/sec로 비교적 풍속이 강할 때 안개가 발생하였다. 이는 도서지방과 연안안개가 대부분 해무라는 관점에서 해무는 복사무와는 다르게 안개발생시 다소 강한 풍속이 존재함을 알 수 있었다.

6. 서해연안 해표면수온의 공간적인 변화폭이 크게 나타났으며, 수온이 높은 곳에서 낮은 곳으로 바람이 불 때 수온이 낮은 해역에서 해무가 쉽게 생기는 것으로 판단된다. 이는 해기차가 클수록 현열과 잠열에 의해 대기로부터 해양이 열을 더 많이 얻고 이 과정에서 안개가 생성되기 때문으로 판단된다.

7. 경기만 근해에서 여름철 해수온도가 대기온도보다 낮아 현열과 잠열에 의해 해양으로 열이 전달되며, 잠열보다는 현열을 통해 더 많은 열을 해양이 얻는다.

8. 해무발생 시 현열에 의해 대기에서 해양으로 전달되는 열량은 해무가 발생하지 않을 때와 크기가 비슷하나, 잠열은 더 크게 나타난다. 따라서 해무발생 시 氣團의 냉각에 의한 잠열이 중요한 작용임을 알 수 있으며, 이것은 유입되는 氣團의 습윤 정도가 해무생성에 중요한 요소임을 나타낸다.

9. 서해수온의 공간적인 분포로 볼 때 경기만과 태안반도 부근에 위치한 조석전선이 해무의 생성시작에 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다. 즉, 조석전선을 가로지르는 방향으로 기단이 움직인다면 공기가 포화, 응결되어 쉽게 해무가 생성될 수 있을 것으로 판단된다.

10. 수온이 기온보다 2~3도 낮을 경우 해무가 주로 발생하였다.

11. 해수온도가 1,000hPa 기온보다 낮고 850hpa 기온보다 높으며, 1000hpa과

850hpa의 풍향이 남서풍 일 때 해무발생이 가장 빈번하였다.

12. 시간별 해무의 내륙유입에서 해풍이 강한 낮 시간에 해무의 내륙유입 빈도가 낮은 것은 해무의 내륙유입에 있어 해풍의 역할이 미미함을 의미하며, 이는 낮 동안 지면복사가열에 의한 기온상승으로 내륙에 난류(thermal blocking)가 형성되어 해풍에 의한 해무의 내륙유입을 저지하기 때문으로 판단된다.

13. 滿潮時間 2시간 전 후에 해무의 내륙유입이 빈번하게 발생하였다. 이는 만조가 내륙에 많은 습기량을 공급하고 해무가 내륙으로 유입되기 좋은 기온 환경을 만들기 때문으로 판단된다.

14. 내륙기온이 해수면온도보다 4°C 이상 높을 경우 내륙에 난류가 형성되어 해무의 내륙유입 가능성은 적어진다. 즉, $T_A - T_{SS} > 4^{\circ}\text{C}$ 요건일 때 해무는 내륙으로 유입되지 못하였다.

15. 수치모델을 이용한 사례분석에서 해무발생지역의 습윤리차드슨수(Ri_m)는 대체로 안정한 대기의 특성을 보였으나, 해무이동 전면부에서 강한 대기난류를 나타내는 陰의 값을 보였으며, 안정한 대기중에서 발생한 해무는 강한 난류지역을 넘어 확장하지는 못하였다.

16. 해상 저층의 해무분석이 가능한 위성영상을 이용하여 실제 관측실황과 비교 분석한 결과 해무발생시 지역별 풍향 속, 조석전선과 연안 해무발생, 가시거리에 따른 습도의 차이, 발생한 해무의 내륙유입에 있어 만조시간과의 상관관계, 해무가 유입되기 어려운 해기차($T_A - T_{SS} > 4^{\circ}\text{C}$)의 성립여부 등에 대하여 본 연구의 의미 있는 결과를 얻을 수 있었다.

이상의 결과에서, 서해 연안 해무의 발생과 발생한 해무의 내륙유입 여부를 판단하는데 있어 고려해야 할 많은 요소(우리나라 주변의 기압배치, 풍향·풍속, 해수 온도와 기온의 차, 현열과 잠열의 양상, 조석전선, 해수온도와 상층(1000hpa, 850hpa)기온과의 차, 만조시간, 해기차에 의해 발생하는 난류 등)가 있으며, 이들 요소를 지배하는 가장 궁극적인 결정인자는 해양과 대기의 온도차임을 알 수 있었다.

이 연구가 현업에 종사하는 예보자들에게 해무예보판단의 신뢰성 있는 자료가 되기를 바라며 앞으로도 여기에 대한 심층적인 연구가 계속 되기를 기대한다.

참고문헌

- 공군 제73기상전대, 1994; 기상총감, 공군 제73기상전대, 629pp.
- 기상연구소, 2000; 영종도 주변해역의 해무예측 연구 I.
- 기상연구소, 2001; 영종도 주변 해역의 해무예측 연구 II.
- 기상연구소, 2002; 영종도 주변 해역의 해무예측 연구 III.
- 기상연구소, 1986; 한국 서해 중부연안의 해무특성조사, 기상연구소, 83pp.
- 박원선, 1994; 동해에서의 열수지의 시공간적인 변화, 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 96pp.
- 변희룡, 이동규, 이화운, 1997; 동해 및 그 주변에서 발생하는 해무의 특성과 예측 가능성 조사, 한국기상학회지, 33-1, 41-61.
- 성학중, 이종범, 박정규, 윤용훈, 1987; 서해중부 연안의 해무발생에 관한 연구, 기상연구소 예보연구실.
- 조혜경, 1996; 영종도를 중심으로 한 황해 연안지역의 안개 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 72pp.
- 최중기, 1990, 경기만의 조석전선 형성과 생물학적 중요성에 관한 연구, 인하대학교. 450pp.
- 안중배, 남재철, 서장원, 이해진, 2002; 해무 예측 모듈 개발과 울릉도 해무 사례 적용 연구, 한국기상학회지, 38-2, 155-164.
- 오귀영, 1995; 황해 중부 연안 안개의 발생특성 분석과 예측가능성 조사, 부산수산대학교 대학원.
- 원덕진, 김상윤, 김경익, 민경덕, 2000; 황해상 해무 발생시의 기상 및 해양 요소의 특성 분석, 한국 기상학회지, 36-6, 631-642.
- 유관규, 윤용훈, 박정규, 이충구, 1989; 김포공항의 안개예보에 관한 연구, 기상연구소 예보연구실.
- 이용희, 원덕진, 김경익, 민경덕, 2000; 황해 해무의 모의실험에서 나타난 난류의 역

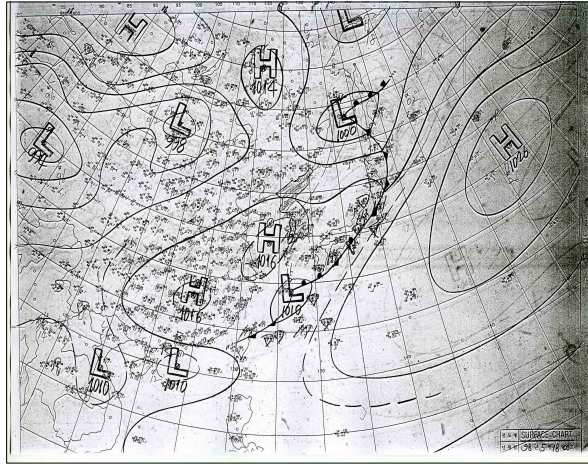
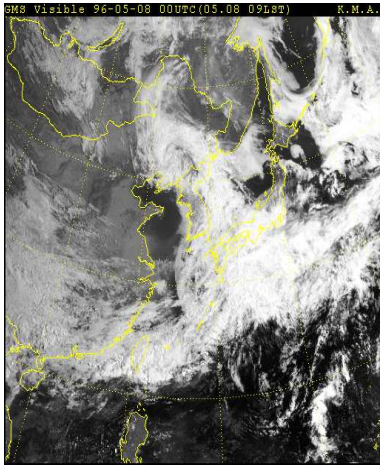
- 할, 한국기상학회지, 36-6 643-654.
- 이충태, 2006; 인천공항의 안개 유형별 분석 및 예측연구, 조선대학교 대학원 박사 학위논문. 104pp.
- 해양조사원, 1999~2005: 조석표
- Blanc, T.V., 1987; Accuracy of bulk-method-determined flux, stability, and sea surface roughness. *J. Geophys. Res.*, 92, 3868-3876.
- Choi, H, J. W. Kim and S. Takahashi, 1998; Three dimensional numerical prediction of fog formation over coastal comple terrain. *J. of korean Meteor. Soc.*, 34, 319-335.
- Hasse, L., 1970; On the dtermination of vertical transports of momentum and heat in the atmospheric boundary layer at sea. Tech. Rep. 188., Oregon State University, p.55.
- Holtslag, A. A. M., and C-H. Moeng, 1990; A high resolution air mass transformation model for short range weather forecasting. *Mon. Sea. Rev.*, 118, 1561-1575.
- Hong, S. Y., and H. L. Pan, 1996; Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322-23239.
- Koziara C Michael, Robert J. Renard, and William J. Thompson, 1983; Estimating Marine Fog probability Using a Model Output Statistics scheme. *Mon. Wea. Rev.* 2333-2340.
- Large, W. G. and S. Pond, 1982; Sensible and latent heat flux mesurment over the ocean . *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 464-482.
- Leipper, Dale F., 1994; Fog on the U.S. West Coast: A Review. *Bull. Amer. Meteor. Soc* 75, 229-240.
- Monin, A. S. and A. M. Obukhov, 1954. Basic regularity in turbulent mixing in the surface layer of atmosphere. *Akad. Nauk. SSSR Trud. Geofiz. Inst*, 24:

151.

- Oliver, D. A., 1978; The interaction between turbulent and radiative transport in the development of fog and low-level stratus. *J. Atmos. Sci.* **35**, 301-316
- Roach, W. T., R. Brown, S. T. Caughey, J. A. Garland and C. J. Readings, 1976a; The physics of radiation fog. Part I ; A field study. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **102**, 313-333.(Roach *et al.*,1976a,b)
- Stauffer, D. R., and N. L. Seaman, 1990; Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I; Experiments with synoptic-scale data. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1250-1277.
- Taylor, G. I., 1917; The formation of fog and mist. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **43**, 241-268.
- Telford, J. W., and S. K. Chai. 1984; Inversions, and fog, stratus and cumulus formation in warm air over cooler water, *Boundary-Layer Meteor.*, **29**, 109-137.
- Tremant, M., 1989; The forecasting of sea fog. *Met. Mag.*, **118**, 69-75.

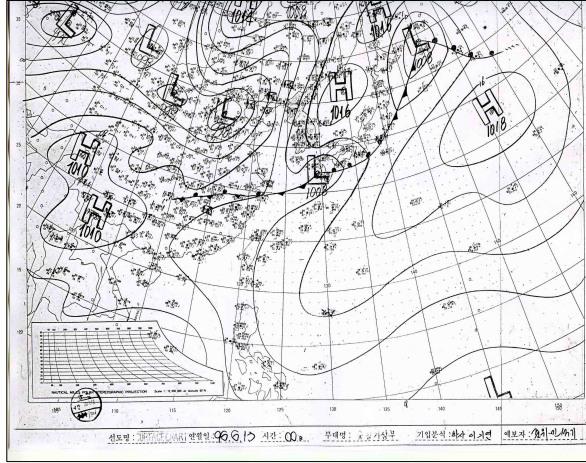
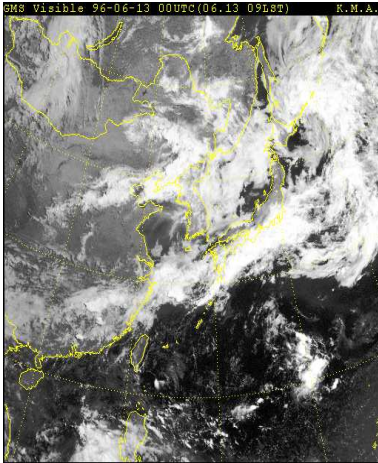
附 錄

Appendix 1. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on May 8th 09KST, 1996.



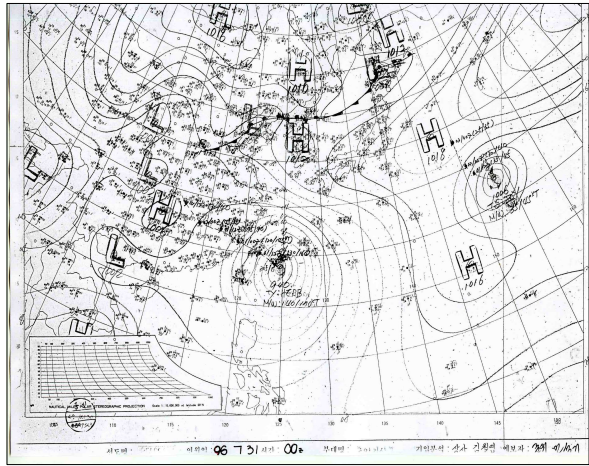
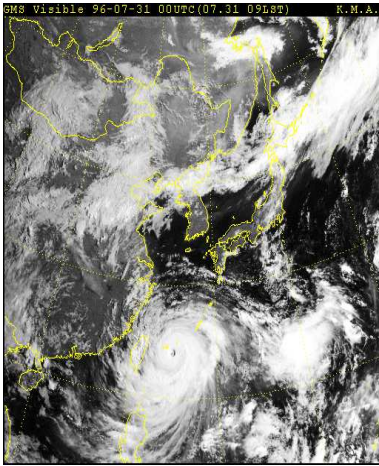
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	13	1	1600	3FG/	5ST008		5	10	9	800	96
Suwon	27	5	6000	5ST015	7SC030		7	13	10	1500	77
Mangilsan	27	17	0	9FG000			8	10	10	0	97
Gunsan	25	10	1200	3FG/	8ST005		8	13	13	500	98
Deokjeokdo	0	0	100	9FG002			8	10	10	200	97
Byeollipsan	20	6	3200	2FG/	5ST012	7SC030	7	10	8	1200	90
Yeonpyeongdo	0	0	0	9FG000			8	9	9	0	98

**Appendix 2. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on June 13th 09KST, 1996.**



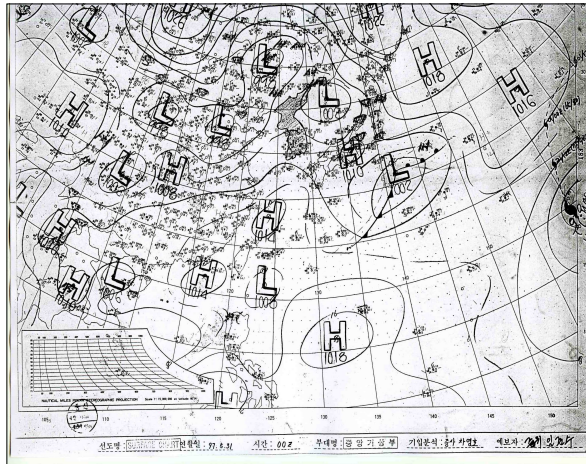
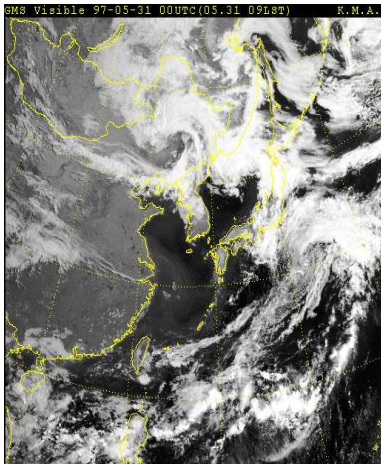
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	17	10	0	9FG000		8	18	18	0	99
Suwon	19	5	2400	2FG/	4SC030	6	23	19	3000	78
Mangilsan	18	10	4800	1FG/	3ST012	3	22	19		82
Gunsan	10	5	2400	1SC050	6AS150	6	22	19	15000	83
Deokjeokdo	19	9	0	9FG000		8	19	19	0	99
Byeollipsan	13	6	1600	3FG/	8ST012	8	19	18	1200	91
Yeonpyeongdo	20	12	0	9FG000		8	18	17	0	97

**Appendix 3. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on July 31th 09KST, 1996.**



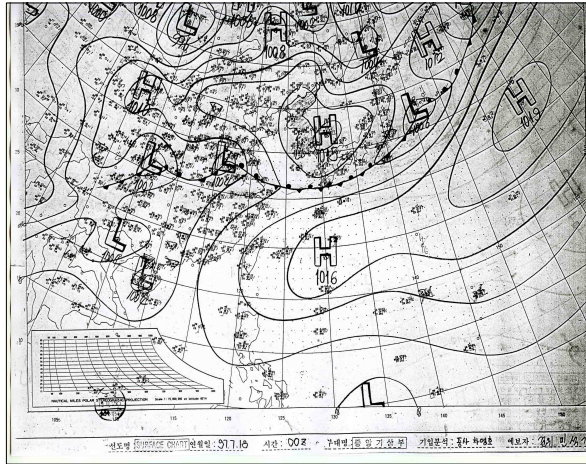
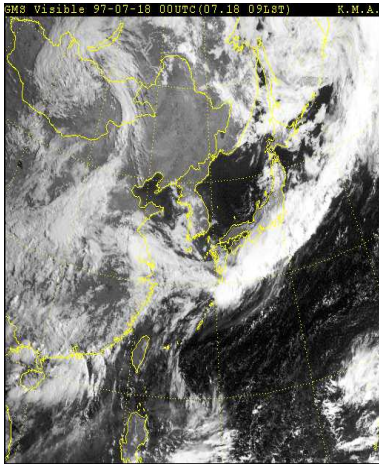
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	14	4	0	9FG000			8	22	22	0	99
Suwon	14	4	8000	1SC030	2CS200		2	29	24		72
Mangilsan	10	8	4800	1FG/	2ST015	4CS200	4	26	24		89
Gunsan	6	5	8000	2CI250			2	27	23		78
Deokjeokdo	0	0	400	9FG004			8	24	24	400	98
Byeollipsan	13	6	8000	3ST012	5CS200		5	25	23	20000	89
Yeonpyeongdo	0	0	0	9FG000			8	23	23	0	98

Appendix 4. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on May 31th 09KST, 1997.



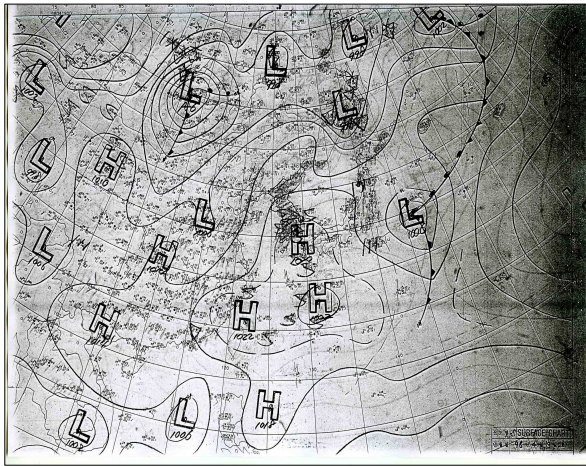
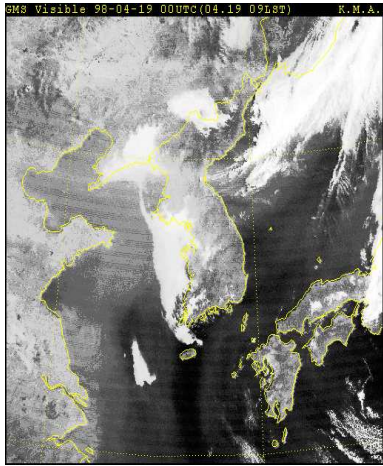
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	13	10	0	9FG000			8	13	13	0	98
Suwon	21	4	4800	3SC015	8SC020		8	17	14	2000	83
Mangilsan	17	8	3200	2FG/	3ST010	4SC030	4	17	14		83
Seosan	17	7	4800	2ST015	5SC025		5	17	12	2500	70
Gunsan	14	8	4800	2SC020			2	19	16		83
Deokjeokdo	19	14	1200	3FG/	8ST010		8	15	14	1000	92
Byeollipsan	21	9	0	9FG000			8	13	12	0	97
Yeonpyeongdo	18	7	2000	3FG	8ST007		8	14	13	700	94

**Appendix 5. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on July 18th 09KST, 1997.**



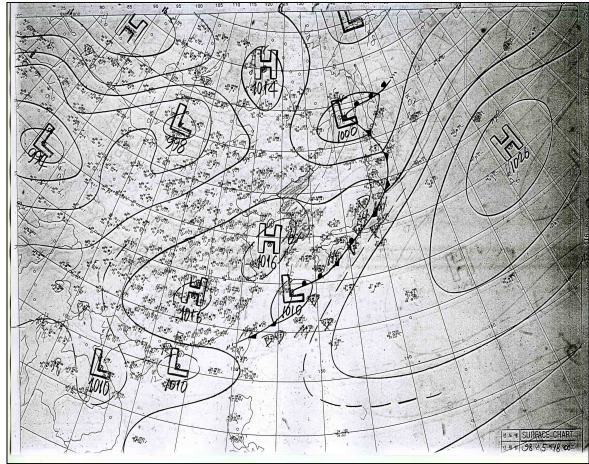
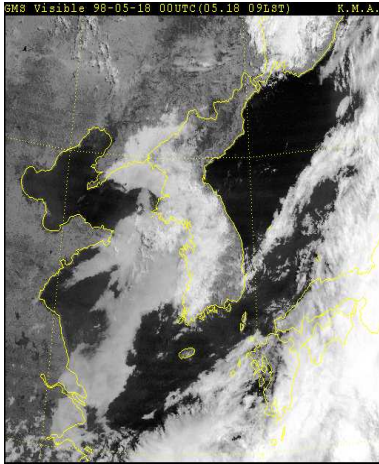
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	12	5	0	9FG000			8	22	22	0	98
Suwon	20	2	4800	3SC020	7SC030		7	26	20	3000	68
Mangilsan	18	3	3200	1FG/	6ST015	8SC030	8	23	22	1500	94
Seosan	17	3	4800	2ST015	7SC030		7	25	23	3000	87
Gunsan	11	5	4800	2SC035	8SC040		8	24	22	4000	88
Deokjeokdo	18	10	1200	2FG/	2ST010	5SC030	5	23	22	3000	92
Byeollipsan	22	8	0	3ST015	8ST010		6	24	21	3000	83
Yeonpyeongdo	13	6	2000	9FG002	6SC030		8	22	22	200	97

Appendix 6. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on April 19th 09KST, 1998.



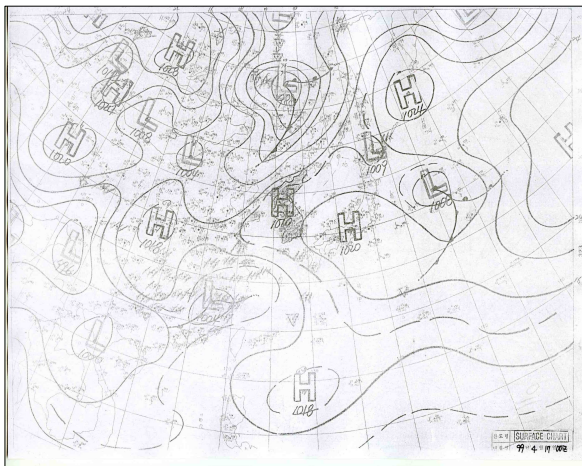
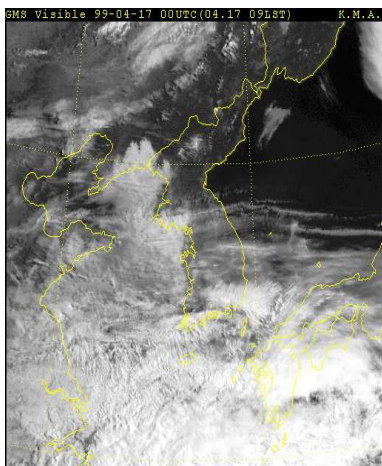
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	15	9	0	9FG000		8	8	8	0	98
Suwon	13	5	1600	3FG/		3	11	8		82
Mangilsan	22	9	0	9FG000		8	10	10	0	97
Seosan	21	4	3200	2FG/	5ST010	5	11	10	1000	97
Gunsan	13	7	1200	5ST005		5	12	10	500	87
Deokjeokdo	20	10	400	9FG003		8	12	11	300	92
Byeollipsan	19	3	3200	1FG/	5ST012	5	11	9	1200	88
Yeonpyeongdo	15	7	100	9FG001		8	8	8	100	98

**Appendix 7. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on May 18th 09KST, 1998.**



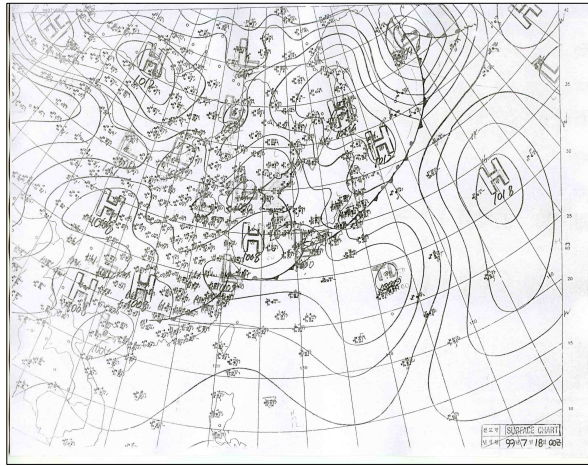
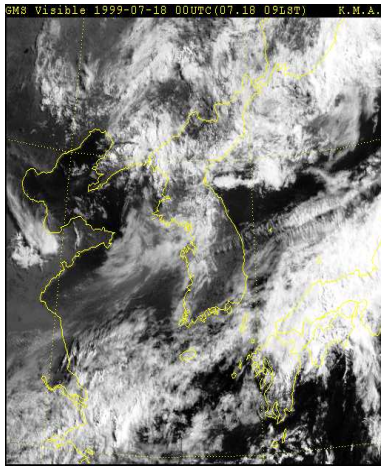
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	10	6	0	9FG000			8	12	12	0	98
Suwon	20	3	2400	1FG/	3ST008	5ST012	8	18	13	1200	75
Mangilsan	22	3	0	9FG000			8	14	14	0	98
Seosan	18	3	400	9FG003			8	15	15	300	98
Gunsan	24	3	200	6FG/	8ST006		8	16	12	600	77
Deokjeokdo	9	5	400	9FG003			8	16	16	300	98
Byeollipsan	21	6	0	9FG000			8	13	13	0	98
Yeonpyeongdo	14	5	0	9FG000			8	12	12	0	98

Appendix 8. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on April 17th 09KST, 1999.



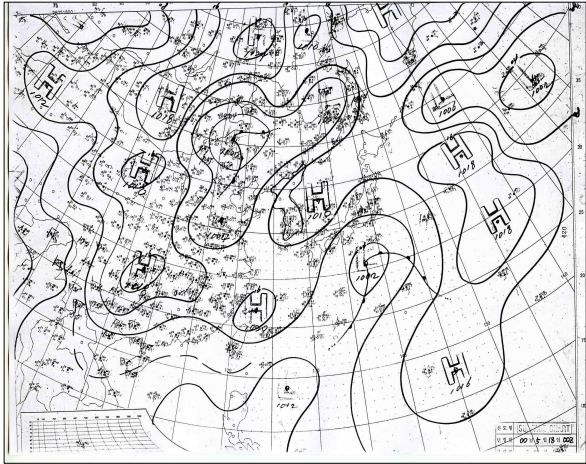
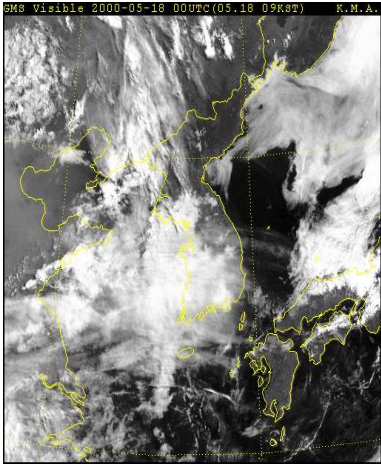
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	12	6	0	9FG000			8	7	7	0	99
Suwon	10	4	2400	2FG/	1ST012	6CS200	6	14	8	20000	68
Mangilsan	5	8	1600	3FG/	5ST006	7ST012	7	10	9	600	94
Seosan	2	3	4000	1FG/	5ST010	6CS200	6	12	10	1000	90
Gunsan	7	6	1600	2ST005	5SC020	6CI200	6	12	12	2000	0
Deokjeokdo	17	4	200	9FG002			8	8	8	200	97
Byeollipsan	25	9	0	9FG000			8	9	9	0	97
Yeonpyeongdo	13	2	800	9FG001			8	8	8	100	99

**Appendix 9. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on July 18th 09KST, 1999.**



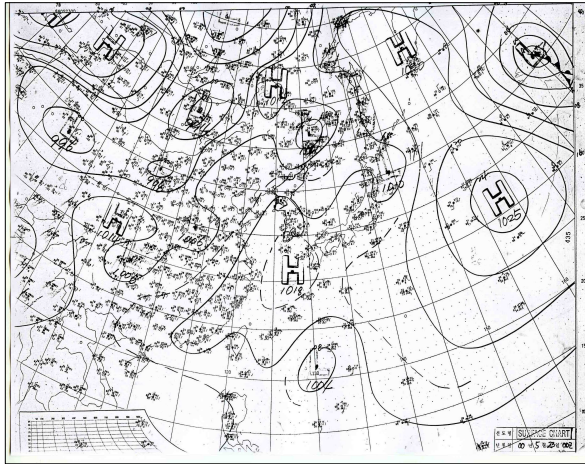
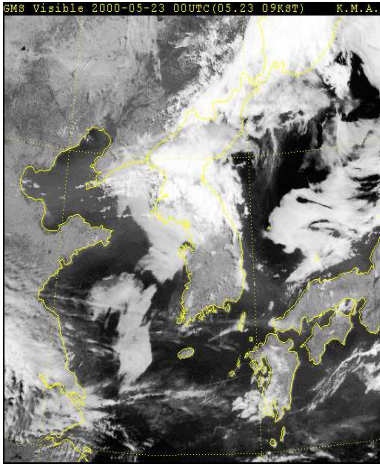
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	12	1	0	9FG000			8	23	23	0	99
Suwon	20	4	4000	8ST012			8	25	21	1200	79
Mangilsan	18	7	1600	3FG/	5ST006	7ST012	7	23	22	600	96
Seosan	18	6	4800	7ST010			7	24	21	1000	84
Gunsan	15	5	4800	3ST008	5CI200		5	24	24	9990 0	0
Deokjeokdo	18	8	400	9FG003			8	23	22	300	93
Byeollipsan	21	7	0	9FG000			8	21	21	0	97
Yeonpyeongdo	20	1	0	9FG000			8	22	22	0	98

**Appendix 10. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on May 18th 09KST, 2000.**



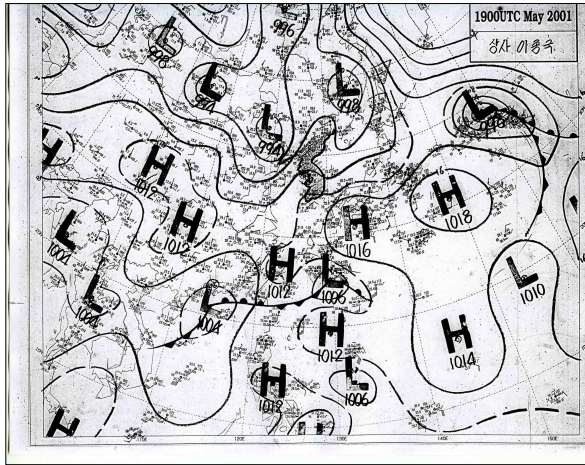
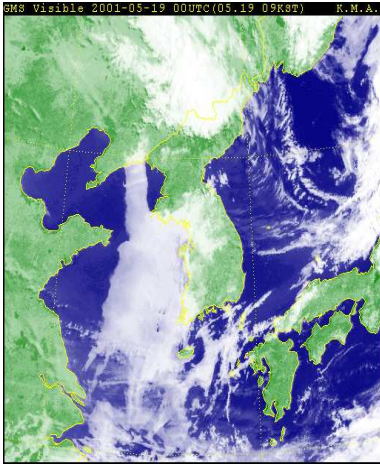
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	9	11	0	9FG000		8	10	10	0	99
Suwon	18	1	1600	4FG/	8ST010	8	12	10	1000	85
Mangilsan	10	6	0	9FG000		8	11	11	0	98
Seosan	24	3	800	4FG/	8ST008	8	12	11	800	95
Gunsan	11	4	1200	2FG/	8ST005	8	15	13	500	88
Deokjeokdo	6	1	0	9FG000		8	10	10	0	97
Byeollipsan	17	4	0	9FG000		8	11	10	0	95
Yeonpyeongdo	24	1	0	9FG000		8	10	10	0	98

**Appendix 11. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on May 23th 09KST, 2000.**



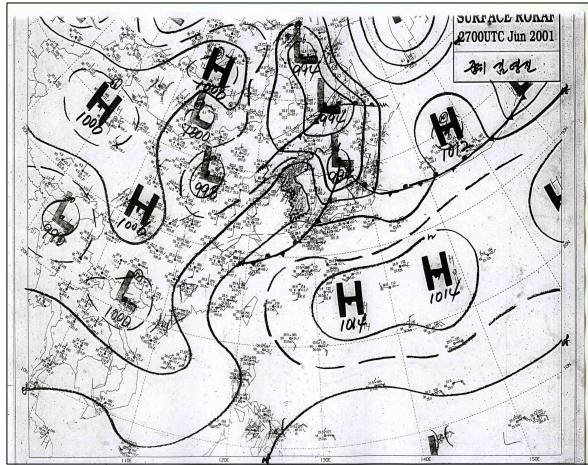
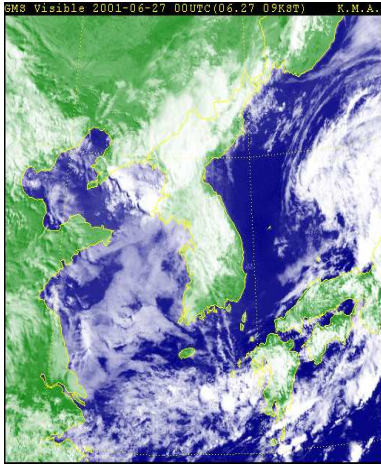
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	all cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	9	10	0	9FG000			8	12	12	0	99
Suwon	16	3	3200	2FG/	7ST015		7	18	14	1500	76
Mangilsan	16	8	6000	2ST006	6ST012		6	14	13	1200	92
Seosan	19	10	2400	2FG/	6ST010		6	19	15	1000	79
Gunsan	21	6	9900				0	21	18		83
Deokjeokdo	21	8	1600	4FG/	6ST006	7ST012	7	14	12	600	88
Byeollipsan	18	11	0	9FG000			8	14	14	0	97
Yeonpyeongdo	28	2	0	9FG000			8	13	13	0	98

Appendix 12. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on May 19th 09KST, 2001.



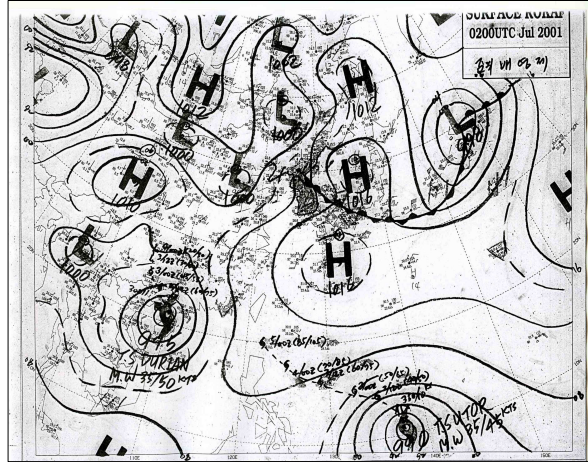
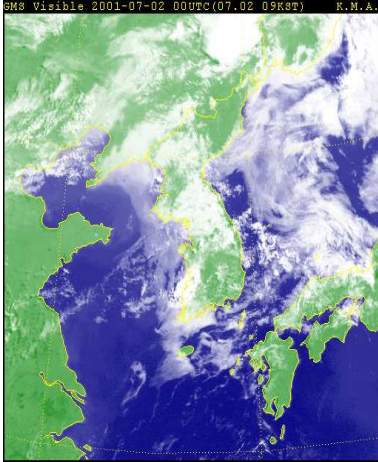
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	9	10	0	9FG000			8	12	12	0	99
Suwon	19	5	8000	6ST015	7SC025		7	20	15	1500	72
Mangilsan	19	10	6000	2ST006	6ST012		6	16	14	1200	86
Seosan	21	9	4800	8ST005			8	17	16	500	92
Gunsan	22	5	4800	6SC020	7SC030		7	19	19	2000	99
Deokjeokdo	28	9	3200	2FG/	6ST007		6	17	15	700	89
Byeollipsan	23	18	3200	2FG/	2ST006	7ST012	7	14	13	1200	93
Yeonpyeongdo	27	6	200	9FG003			8	14	14	300	96

Appendix 13. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on June 27th 09KST, 2001.



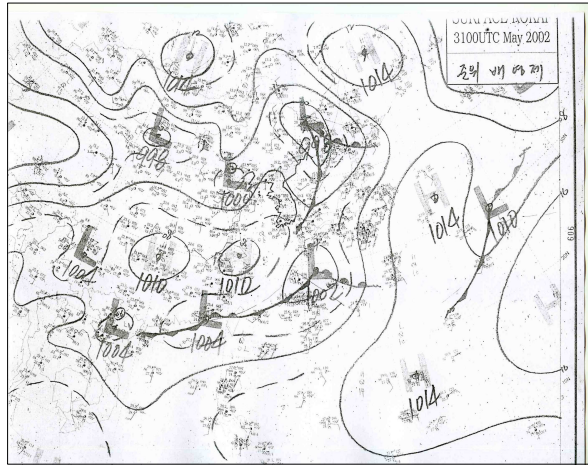
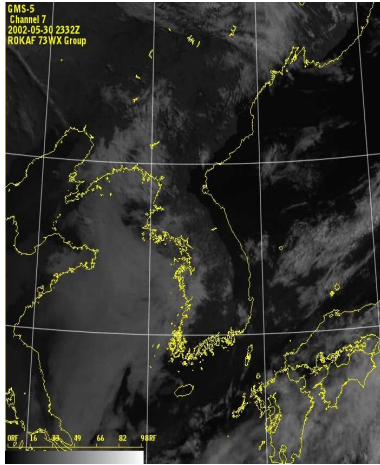
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	24	8	3200	2FG/	4ST006	8ST012	8	21	20	1200	91
Suwon	28	3	4000	6ST010	8ST015		8	23	21	1000	89
Mangilsan	24	9	1600	4FG/	6ST006	8ST012	8	19	18	600	92
Seosan	22	4	4800	4ST006	8ST010		8	22	20	1000	91
Gunsan	23	8	8000	4ST010	8CS200		8	22	22	20000	99
Deokjeokdo	30	10	400	9FG003			8	18	18	300	96
Byeollipsan	21	11	0	9FG000			8	20	19	0	98
Yeonpyeongdo	23	3	800	4FG/	8ST006		8	21	20	600	92

Appendix 14. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on July 2th 09KST, 2001.



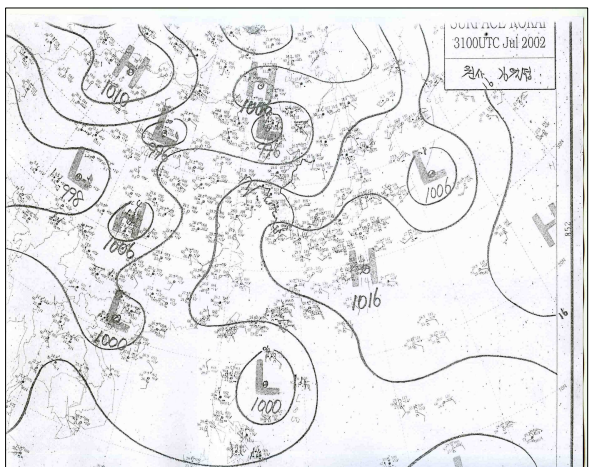
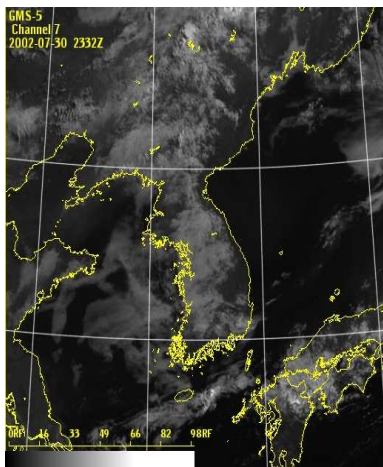
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	13	8	0	9FG000		8	21	21	0	98
Suwon	15	3	8000	4ST015	7SC020	7	28	25	2000	86
Mangilsan	17	10	8000	6ST012	7SC030	7	24	23	1200	92
Seosan	21	9	8000	6ST010	7SC030	7	26	25	1000	89
Gunsan	22	4	9000	6SC025	8SC050	8	25	25	2500	99
Deokjeokdo	30	14	200	9FG002		8	23	21	200	91
Byeollipsan	22	13	0	9FG000		8	23	23	0	98
Yeonpyeongdo	22	3	0	9FG000		8	21	21	0	97

**Appendix 15. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on May 31th 09KST, 2002.**



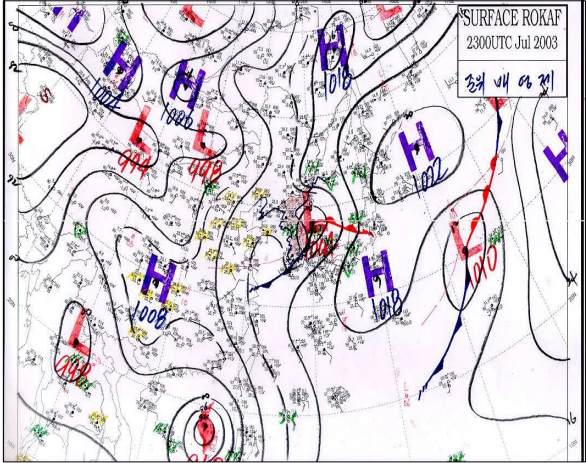
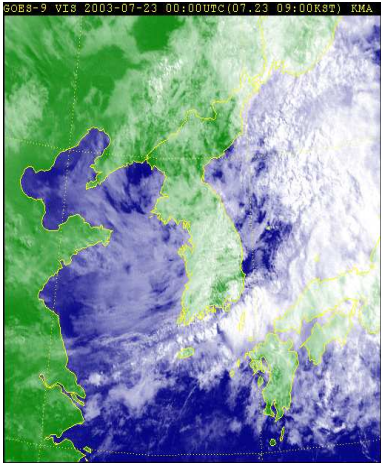
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	11	2	0	9FG000		8	15	15	0	99
Suwon	21	2	4800	4ST010	6SC030	6	20	17	3000	79
Mangilsan	22	5	0	9FG000		8	15	15	0	96
Seosan	21	4	1600	4FG/	8ST005	8	17	15	500	92
Gunsan	21	5	400	9FG000		8	17	17	0	99
Deokjeokdo	28	8	0	9FG000		8	16	16	0	97
Byeollipsan	18	2	0	9FG000		8	17	16	0	97
Yeonpyeongdo	19	1	1600	4FG/	8ST006	8	17	16	600	91

Appendix 16. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on July 31th 09KST, 2002.



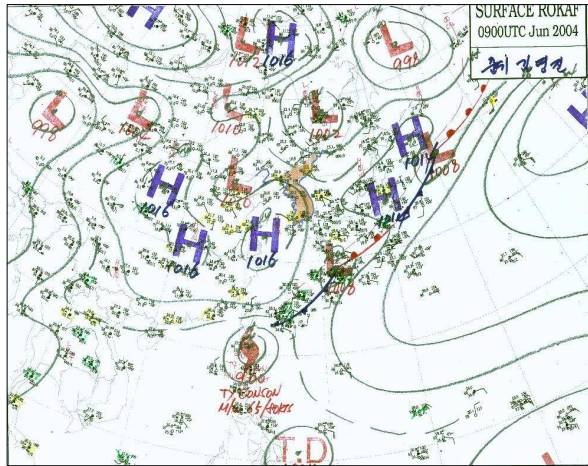
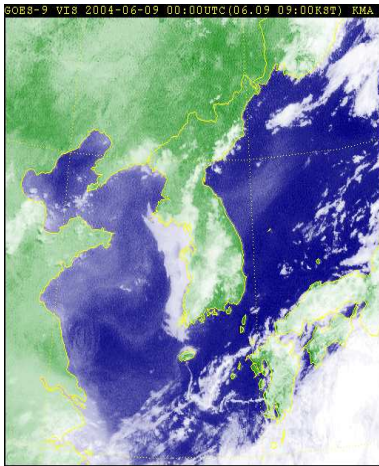
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	26	8	1600	2FG/	6ST006	7ST012	7	24	23	600	95
Suwon	15	2	6000	2ST005	8ST015		8	26	23	1500	80
Mangilsan	15	8	0	9FG000			8	23	23	0	98
Seosan	19	6	4000	2FG/	8ST005		8	24	22	500	86
Gunsan	18	4	9900	6SC020	8SC030		8	26	25	2000	94
Deokjeokdo	22	4	6000	6ST006			6	25	23	600	90
Byeollipsan	20	8	0	9FG000			8	23	23	0	98
Yeonpyeongdo	19	4	1600	4FG/	6ST006		6	25	23	600	89

Appendix 17. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on July 23th 09KST, 2003.



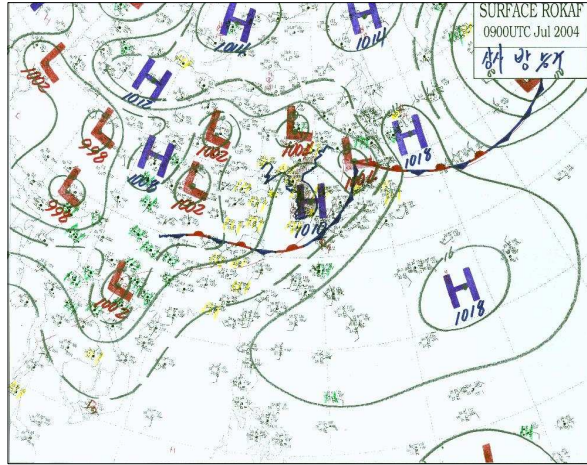
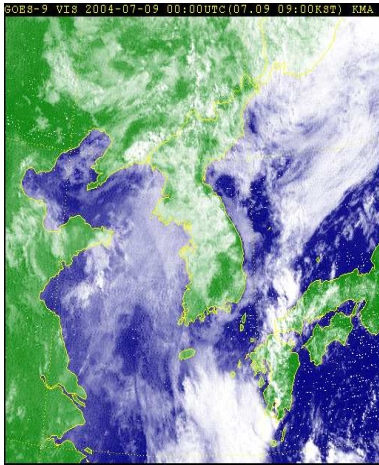
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	4	2	0	9DZ000			8	20	19	0	96
Suwon	29	6	1200	4FG/	6ST005	8ST010	8	22	21	500	97
Mangilsan	26	12	0	9FG000			8	19	19	0	98
Seosan	27	5	9000	6ST004	6ST010	8SC025	8	21	21	400	95
Gunsan	30	7	4800	4ST005	4ST010	6SC020	8	24	22	2000	88
Deokjeokdo	27	10	400	9FG003			8	21	21	300	97
Byeollipsan	33	2	4800	4ST012	8SC030		8	20	20	3000	97
Yeonpyeongdo	31	3	0	9FG000			8	21	21	0	98

Appendix 19. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on June 9th 09KST, 2004.



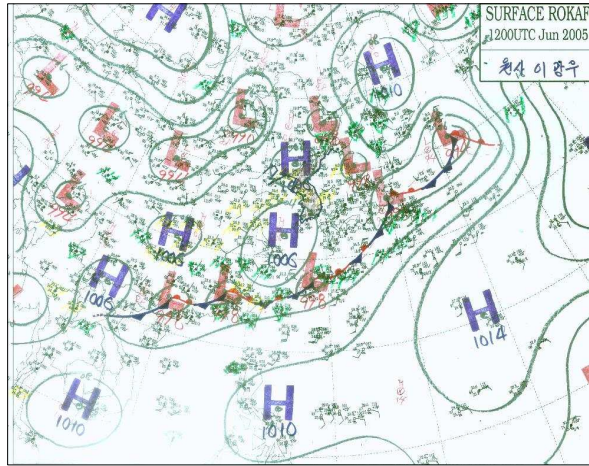
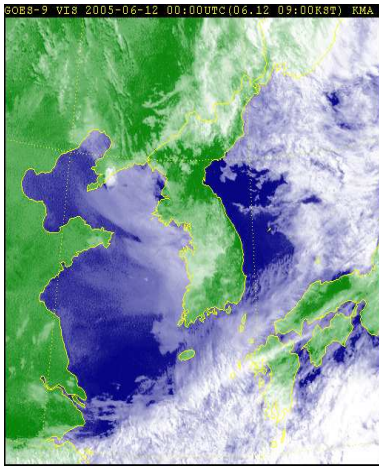
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	5	5	0	9FG000		8	23	23	0	97
Suwon	26	1	4800	3SC030		3	20	16		76
Mangilsan	24	6	3200	2FG/	7ST004	7	15	15	400	96
Seosan	21	4	3600	2FG/	7ST010	7	18	15	1000	85
Gunsan	26	6	2400	6ST005	8ST010	8	18	15	500	82
Deokjeokdo	5	4	400	9FG003		8	16	15	300	96
Byeollipsan	18	5	0	9FG000		8	14	14	0	98
Yeonpyeongdo	10	5	400	9FG003		8	16	14	300	90

Appendix 20. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart, METAR. on July 9th 09KST, 2004.



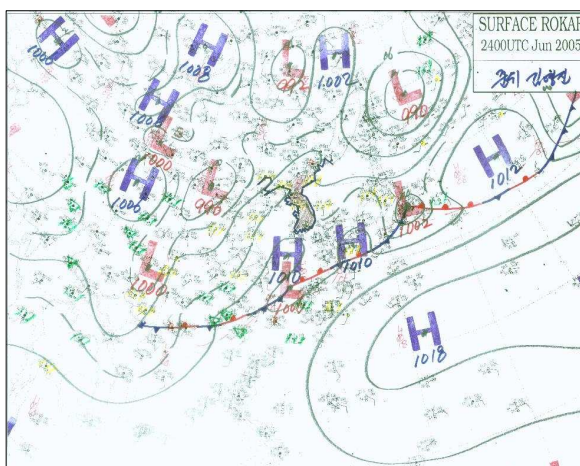
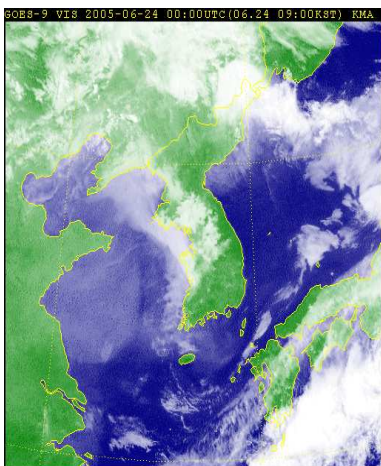
Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	cloud 3	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	0	0	0	9FG000			8	19	19	0	97
Suwon	0	0	4800	6ST014	8SC030		8	22	19	1400	85
Mangilsan	11	1	400	9FG002			8	18	18	200	99
Seosan	34	2	4000	4ST005	6ST008	8ST010	8	20	19	800	96
Gunsan	11	3	4800	4ST010	7ST015		7	23	18	1500	73
Deokjeokdo	23	2	0	9FG000			8	19	19	0	96
Byeollipsan	18	7	0	9FG000			8	18	18	0	98
Yeonpyeongdo	22	4	1600	4FG/	6ST012	8SC030	8	20	19	1200	94

**Appendix 21. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on June 12th 09KST, 2005.**



Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	0	0	0	9FG000		8	19	19	0	97
Suwon	24	4	4000	6ST015	7SC030	7	20	18	1500	89
Mangilsan	19	4	0	9FG000		8	17	17	0	99
Seosan	18	4	3200	2ST005	8ST010	8	18	18	1000	98
Gunsan	17	2	1400	2FG/	8ST005	8	17	16	500	94
Deokjeokdo	22	4	400	9FG003		8	17	16	300	92
Byeollipsan	17	3	0	9FG000		8	17	17	0	98
Yeonpyeongdo	15	4	0	9FG000		8	18	18	0	97

**Appendix 22. Sea fog satellite image, SFC synoptic chart,
METAR. on June 24th 09KST, 2005.**



Station	wind direction	wind speed (KTS)	visibility (m)	cloud 1	cloud 2	total cloud (octa)	TEMP (°C)	dew point (°C)	CIG (feet)	RH (%)
Baengnyeongdo	0	0	0	9FG000		8	19	19	0	97
Suwon	20	3	4000	5ST015		5	24	19	1500	70
Mangilsan	17	7	0	9FG000		8	20	20	0	99
Seosan	17	4	3200	8ST008		8	22	20	800	88
Gunsan	22	3	1600	6ST003	7ST010	7	23	20	300	85
Deokjeokdo	12	4	0	9FG000		8	20	20	0	98
Byeollipsan	18	13	1600	4FG/	7ST012	7	20	19	1200	91
Yeonpyeongdo	21	3	0	9FG000		8	20	20	0	98