

한반도 동남연안지역의 냉수대 영향과 해풍의 상호관련성 연구

A Study of Interrelationships between the Effect of the Upwelling Cold Water and Sea Breeze in the Southeastern Coast of the Korean Peninsula

이 화 운 · 지 효 은* · 이 순 환¹⁾

부산대학교 지구환경시스템학부, ¹⁾부산대학교 환경문제연구소
(2009년 4월 9일 접수, 2009년 9월 8일 수정, 2009년 11월 17일 채택)

Hwa-Woon Lee, Hyo-Eun Ji* and Soon-Hwan Lee¹⁾

Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Korea

¹⁾*Institute of Environment Studies, Pusan National University, Korea*

(Received 9 April 2009, revised 8 September 2009, accepted 17 November 2009)

Abstract

The characteristic of cold water by upwelling in the southeast of the Korean Peninsula and the effect of sea breeze in this region are investigated. The coastal upwelling around the southeast coast of the Korea Peninsula is analyzed by using Coastal Oceanographic Data statistical analyses for 5 years were carried out. The period of an cold water event, on the average, was observed southwesterly wind events. The analysis suggests that strong and persistent southwesterly winds in period of an cold water play an important role of bring the moisture to the surface, generating persistent cyclone as jangma.

In order to investigate the effect of cold water on sea breeze, we considered two case. First, Exp. 1 is not occurred coastal upwelling on sea breeze. Second, Exp. 2 is occurred cold water on sea breeze. Two experiments were completed separately to the effects of cold water by upwelling. The results show the sea breeze is stronger in Exp. 2, when the cold water occurs, and weaker in Exp. 1, when there is no cold water. In order to verify the effect of the sea breeze on the cold water by upwelling, on the intensification and change of direction of the prevailing wind, the sea breeze effectively intensify cold water condition.

Key words : Cold water, Upwelling, Sea breeze, SST

1. 서 론

대기와 해양간에는 해수면을 통한 열교환을 함으로써 대류활동이 활발히 나타나며, 이러한 상호작용

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)10-4046-8346, E-mail : hyoeun@pusan.ac.kr

은 열, 에너지, 수증기 등을 해양으로 전달하여 대기와 해양간의 열평형을 유지한다. 그러나 수온이 기온보다 높을 때는 해수로부터 열이 대기로 전도되고, 수온이 더 낮을 때는 대기로부터 해수로 열이 전도되는 현열이 발생한다. 이처럼 대기와 해양사이의 에너지 교환은 중규모의 기상 현상뿐만 아니라 중규모의 기상현상을 설명하는 요인으로 매우 중요하여 연구가 이루어져 오고 있다 (Kawai and Wada, 2007; Lee and Park, 2006). 반면 해양은 대기의 하부경계로 작용하면서 대기에 각종 물리적인 변화를 일으키는 요인으로 작용하는데, 특히 해수면 온도는 해수면 위를 지나가는 기류의 하부에 열적인 변질을 일으키는 주요한 요인으로 알려져 있다. 한반도 서쪽 해안의 대설은 차가운 시베리아 기단이 서해에서 수증기를 흡수하여 변질된 중규모의 눈구름이 한반도 서해상에서 상승하여 불안정하게 나타나는 것으로 이러한 서해 연안의 대설은 서해의 해수면 온도와 밀접하게 관련이 있다 (Lee and Ryu, 2009).

이처럼 해양의 해수면 온도는 대기현상을 정확히 파악하는 데 주요한 요소인데, 일반적으로 중규모 기상현상은 시간 규모가 수일 미만이므로 해수면의 온도경도가 매우 중요해진다 (Dourado and Oliveira, 2008; Grossman *et al.*, 1990). Skillingstad *et al.* (2007)은 중규모 해수면 온도의 차이가 해양 경계층 발달에 미치는 영향을 해양 수치모형을 통하여 살펴보았으며, Doyle and Warner (1993)는 Gulf만을 대상으로 한 GALE (the Genesis of Atlantic Low Experiments) 실험을 통하여 해양상의 대기경계층 변화가 Gulf만의 해수면 온도 분포에 직접적으로 영향을 받고 있다고 보고하였다. 그리고 Dourado and Oliveira (2008)는 브라질 동부해안을 대상으로 대기해양 결합 수치모형을 이용하여 해수면 온도의 변화를 모의하고 이를 이용하여 대기해양의 역학적 관계를 설명하였다.

이러한 대기-해양의 관계에 관한 연구는 반드시 정확한 해수면 온도자료를 요구한다. 그러나 해수면 온도의 직접관측은 선박 이용 및 기상조건 등에 따른 해양의 특성으로 인해 매우 제한적으로 이루어진다. 이를 보완하기 위하여 현재 위성자료를 통한 해수면 온도 측정이 보편화되었다.

위성자료를 이용한 정확한 해수면 온도 산출에 관한 연구로써 해수면 온도에 관한 연구로는 Corlett *et al.* (2006)가 해상관측과 위성자료를 통한 전구 해수

면 온도자료를 이용하여 위성 추출 해수면 온도 향상에 대하여 제시하였다. 그리고 Guan *et al.* (2005)은 일본 기상위성과 관측자료를 바탕으로 고해상도 해수면 온도 추출 알고리즘을 제시하고 이들을 부이 자료와 비교하여 위성자료의 정확도가 0.95 K로 관측자료의 허용 오차범위 내에 있음을 보였다. 그리고 Park *et al.* (2008)은 NOAA/AVHRR 인공위성자료와 해양 현장수온 관측자료 사이에서 해양 피층-표층 해수면 온도 차이의 특성을 분석하여 위성 SST가 어떤 경우에는 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 오차를 만들 수 있어 주의 깊게 사용되어야 함을 언급하였다.

연안지역에서 형성되는 중규모 순환의 일종인 해륙풍은 육지와 바다의 비열차이에 의한 지표면 열적 불연속성에 의해서 발생한다. Porson *et al.* (2007)은 중규모의 강도와 해륙풍의 강도를 설명하면서 해수면 온도경도가 해륙풍 강도를 결정하는 주요한 요소를 보였으며, Lee *et al.* (2002)은 연안지역의 도시화에 따른 온도상승이 해풍의 강도를 강화시키는 역할을 하고, 이들에 의해 연안에서 생성되는 대기 오염물질이 내륙 깊숙이 이루어지는 것을 수치실험을 통하여 증명하였다.

그러므로 연안지역의 국지순환을 평가하기 위해서는 해수면 온도에 관한 정보가 매우 중요하다. 대도시가 밀집한 한반도 동남지역은 태백산맥 골짜락에 있기 때문에 매우 복잡한 지형 구조를 하고 있다. 그러므로 지형강제력에 의한 국지순환과 육지와 바다의 온도경도에 따른 순환이 혼재하여 매우 복잡하게 나타난다. 특히 동해 남부에서는 매년 세력의 차이는 있으나 거의 6~8월 중에 수온이 낮은 냉수역이 빈번하게 나타나 육지와 바다 사이의 온도경도를 변화시킨다. 그리고 이들 대부분은 3~4 m/s의 남풍 또는 남서풍이 지속적으로 나타날 때 발현되는 특징이 있다. 그러나 대기오염의 측면에서 지상 바람이 약한 날에 동해안지역의 용승 역시 나타나는데 이는 해양학적인 요인에 의한 경우로 판단된다.

이렇게 도시가 밀집해 있는 한반도 동남지역에서 고기압이 강하고, 지상바람이 약한 날 해륙풍은 대기오염을 강화시키는 요인일 수 있다. 그리고 이들은 연안지역의 한랭 용승에 의해 국지 순환의 강도가 변화하는데 이 둘의 관계, 즉 국지적으로 발현하는 차가운 해수면 온도가 해륙풍 등, 국지순환에 미치는 효과 연구는 거의 전무한 편이다.

그러므로 본 연구에서는 5년간의 기상 및 해수면 온도 관측자료를 바탕으로 한반도 동남지역에서 발생하는 한랭 용승류가 연안 기상장에 미치는 영향을 정량적으로 살펴보았다. 그리고 이들의 관계를 정확히 이해한다면 연안지역의 해수면 온도 변화가 연안 대도시지역의 대기오염에 미치는 영향에 관한 기본 자료로 이용될 수 있을 것이다.

2. 실험 방법

해수면 온도자료는 연안정지관측자료, NGSST (New Generation Sea Surface Temperature) 자료를 분석하였다. 연안정지관측자료는 국립수산과학원에서 제공하는 연안정지관측점에서 매일 오전 10시에 관측하는 표면 수온자료로서 2002년부터 2006년까지 5년 동안 여름철(6, 7, 8월) 자료가 이용되었으며, 여러 관측지점 중 냉수대의 출현빈도가 높은 대표적인 3개 정점인 울기, 감포, 기장 연안(그림 1)에서 관측한 SST (Sea Surface Temperature) 자료를 이용하였다. 이 자료는 국립수산과학원에서 냉수대 발생에 대해 주의보 및 경보를 내린 날이며, 주변해역과 비교하여 수온이 5°C 내외로 차이가 나는 날을 선택하였다.

그리고 해륙풍 분석을 위해 같은 기간동안 울기, 감포, 기장의 AWS (Auto Weather System) 자료를 이용하여 기상분석을 하였다. 이와 같이 SST 관측자료와 기상자료를 이용하여 냉수대와 해륙풍의 관계를 조사하기 위해 해륙풍의 영향은 있지만 냉수대 영향을 받지 않은 2004년 8월 1일부터 10일까지 (Exp. 1), 그리고 해륙풍이 발생하였고, 냉수대가 강하게 발달한 2006년 8월 1일부터 10일까지 (Exp. 2) 두 가지 경우를 선택하여 기온과, 풍향, 풍속, SST를 분석함으로써 냉수대의 존재에 따른 해륙풍의 영향을 연구하였다.

3. 결 과

3.1 해수면 온도 분석

위성에 의해 관측되는 해수면 온도는 공간분해능이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 표 1과 같이 연안정지관측은 공간적으로 관측지점이 적어 조밀한

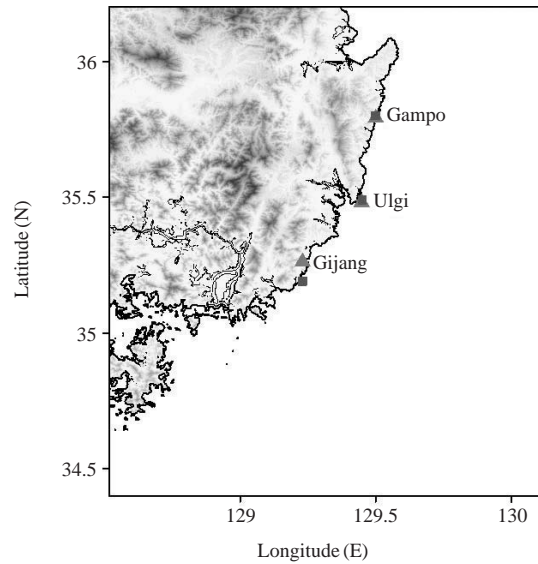


Fig. 1. Coastal oceanographic data stations (■), AWS stations (▲) at the Southeast coastal areas of the Korean Peninsula.

값을 얻을 수 없지만 위성관측에 의한 값은 공간분해능이 뛰어나 원하는 위경도 지점의 관측 값을 얻을 수 있다. NGSST 위성자료는 AVHRR, MODIS 위성의 적외관측과 AMSR-E 위성의 microwave radiometer로부터 생성하고 있다. 이 자료는 NOAA 위성이 구름 존재로 관측되지 못하는 SST 자료를 보정, 구름을 처리하는 등, NOAA 위성보다 고해상도이며, 넓은 지역의 자료로서 제공된다. 또한 매일매일 SST를 생산한다는 특징이 있어 다른 위성자료보다 뛰어난 장점을 가지고 있다. 아래 표 1에서 연안정지관측, NGSST, NOAA 자료의 특징을 나타내었다.

표 1에서와 같이 연구의 대상지역인 동남연안지역에 위치해 있는 연안관측지점에서 정확한 장기간의 자료들을 확보할 수 있었고, NGSST의 경우 몇 일간의 합성한 SST를 제공함으로써 냉수대 발생에 대한 SST의 정보가 제공되지 않았다.

3.2 냉수대 특성

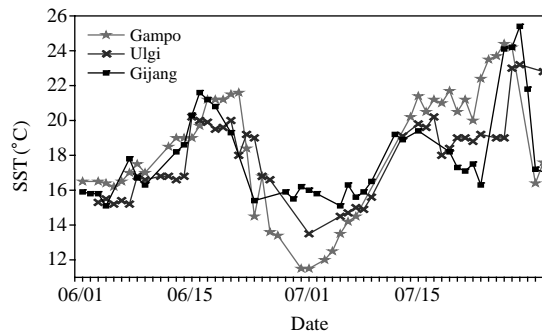
냉수대란 여름철에 남풍계열의 바람이 지속적으로 불어올 경우 동해연안 저층의 냉수가 표층으로 용승하여 주변해역의 표면수온보다 5°C 이상 낮은 수온대를 형성하는 현상을 말한다 (Lim and Chang, 1969).

Table 1. Characteristics of SST data.

	Coastal oceanographic data	NGSST	NOAA-18
Feature	Many observation station	To use NOAA, Terra and aqua artificial satellite	The polar orbit artificial satellite
	Various observation data	To production without cloud	Calculate to SST form multi channel SST
Observation range	40 point	13°N~63°N 116°E~166°E	Globe
Temporal resolution	1/day	1/day	2/day
Spatial resolution	-	0.05°	1.1 km

한반도 동남지역은 거의 매년 약간의 차이는 있지만 여름철 동안 동해연안역의 주변 해역보다 해수면 온도가 급격히 떨어지는 냉수역이 발생한다. 이러한 냉수대는 3~5°C 정도의 해수면 온도를 하강시켜 수산양식 및 해양운송 등 경제활동에도 영향을 미친다. 이러한 냉수대 발생의 원인은 Tsushima current의 저기압성 순환, 동한 난류의 경압 tilting, 연안 주변 해안의 지형적 특징, 강한 남서풍의 발달 등이 제시되고 있다 (Byun, 1989; Lee and Na, 1985; Lee, 1978). 그리고 다른 많은 연구결과에서 동남연안지역의 경우 계절풍인 남서풍에 의한 용승에 기인한 것으로 분석하였다 (Seung, 1984; Lee, 1983). 주로 기장, 울산, 감포, 울진, 속초연안 등에 6월말부터 불규칙한 발생과 소멸을 반복하면서 8월말 경 거의 소멸하게 된다. 냉수대 정보는 국립수산과학원 해양연구과 원격탐사실에서 NOAA 인공위성의 적외선 밴드채널을 이용한 실시간 수온정보를 직접 위성으로부터 수신, 분석하여 냉수대의 출현, 변동, 소멸 등에 대한 상황을 판단하여 주의보 및 경보를 발령하며, 연안정지관측점의 수온자료를 분석하여 냉수대 예보에 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서도 냉수대 발생시 해수면 온도에 대한 정보를 이용하여 냉수대 발생일수 분석에 활용하였다.

그림 1은 본 연구 대상 지역인 한반도 동남지역에 위치해 있는 각 관측지점을 표시한 것이고, 그림 2는 위의 각 지점에서 국립수산과학원의 정보에 의한 냉수대가 강하게 발생하였던 2005년의 SST를 나타낸 그림이다. SST가 6월 20일 이전에는 20°C 이상의 값이 관측되고 있으나 20일 이후에 갑자기 15°C까지 하강하였다. 특히 감포의 경우 7월 1일에는 12°C까지 하강하였으며, 그 지속기간은 세 지점 모두 10일 이

**Fig. 2. Daily mean SST at three coastal oceanographic data stations in 2005.**

상 지속되어 아주 강한 냉수대가 발생하였음을 보여주고 있다. 이렇게 냉수대의 발생에 의한 급격한 해수온도경도는 해양과 밀접한 연관이 있는 대기에도 영향을 미친다. 따라서 냉수대의 발생여부에 따른 해풍발달에 대해 알아보하고자 기후 특성과 case study 분석을 통하여 이들 영향을 조사하였다.

3.3 기후 특성

표 2는 냉수대 발생일수를 분석하여 나타낸 것으로 7월에 119일로 가장 많이 발생하였으며, 기장이 109일로 가장 빈번히 출현하였다. 6월말과 7월초에 냉수 발생일이 가장 많았는데, 이 시기는 장마전선이 형성되는 시기로 냉수대 발생조건과 종관적으로 적합하였기 때문에 많았다고 분석된다. 2002년에서 2006년의 총 460일 중 냉수대가 발생하였다고 경보가 내린 날은 118일 (25.65%)로, 종관적으로 맑은 날은 41일 (34.75%), 흐린 날은 46일 (38.98%), 비온 날은 22일 (18.64%), 고기압이 가장자리에 위치해 있는

날은 9일(7.62%)이었다. 냉수대가 발생한 날 중에서 대부분이 흐리거나 비가 오는 경우로 이는 냉수대의 발생이 앞서 말한 남풍 또는 남서풍에 의한 원인과 종관적인 상태가 서로 일치하여 나타난다고 분석된다. 흐리거나 비온 날을 제외한 종관 패턴 중 맑은

날의 패턴을 가진 날은 종관장이 강하여 해풍이 관측되기 힘들었으며, 고기압이 중심부에 위치해 있어 해륙풍이 뚜렷이 나타날 수 있는 9일 중 2일은 냉수대가 사라지는 마지막 날 나타났고, 나머지 7일은 본 연구기간 중에 모두 나타나 냉수대 발생시 종관상태가 흐리거나 비온 날이 많았다.

Table 2. The number of days of cold water events at each coastal oceanographic data stations in summertime from 2002 to 2006.

Year	Month								
	Gampo			Ulgi			Gijang		
	6	7	8	6	7	8	6	7	8
2002	0	0	0	0	0	4	0	0	4
2003	6	6	0	6	6	0	6	6	0
2004	0	0	0	0	14	0	0	15	0
2005	8	15	17	7	12	7	8	19	17
2006	8	3	4	5	8	8	11	15	8
Total	22	24	21	18	40	19	25	55	29

냉수대가 발생한 날 중 지속기간은 평균 10일 정도로 짧게는 2일에서 길게는 10일 이상 계속 유지되는 경우도 종종 발생하였다. 그리고 연도별로 분석해보면 2005년에 발생일수와 지속기간, 발생지역이 제일 많아 5년 중 가장 강하게 발생하였음을 알 수 있었고, 장마가 없었던 2002년에 횡수와 발생일수가 가장 적었다.

그림 3은 냉수대 발생과 비발생에 대한 바람장미를 나타낸 것이다. 감포, 울기, 기장에 대해 각각 발생(a)과 비발생(c)의 바람을 나타내었다. 냉수대가 발생(a)할 때는 남풍 또는 남서풍 계열의 바람이 발생하

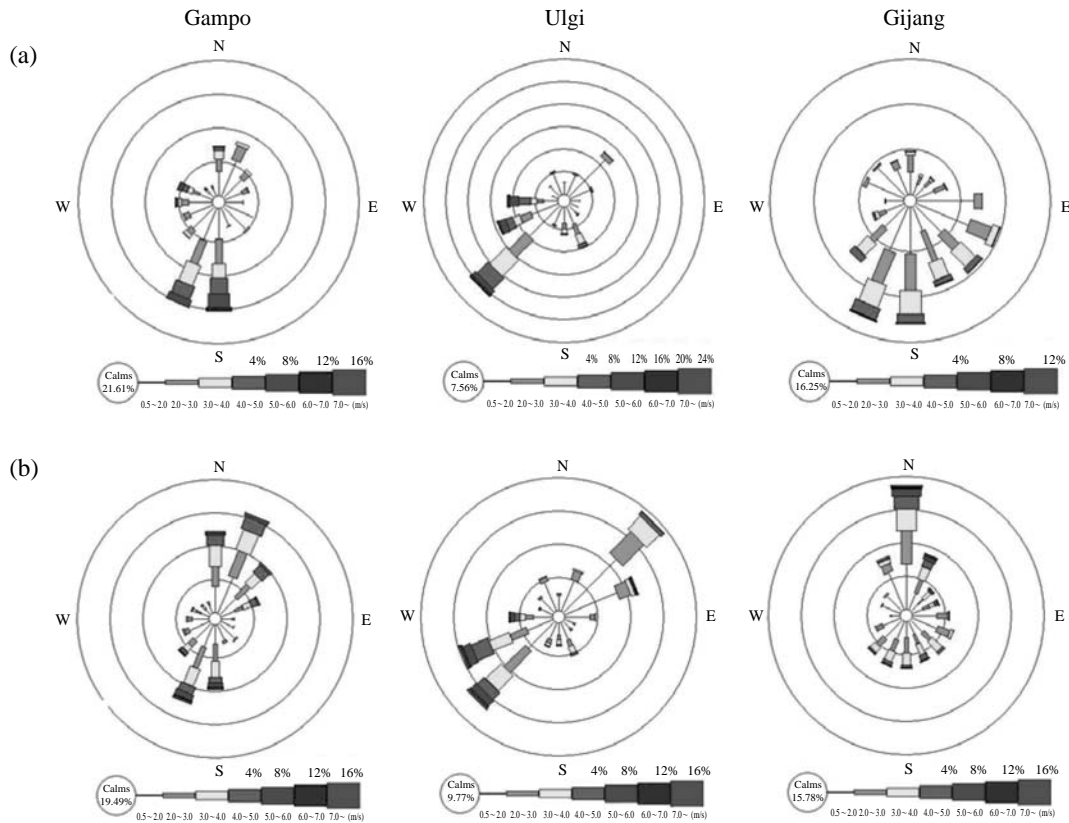


Fig. 3. Wind roses of cold water events (a) and non-cold water events (b) at each AWS stations during experiments.

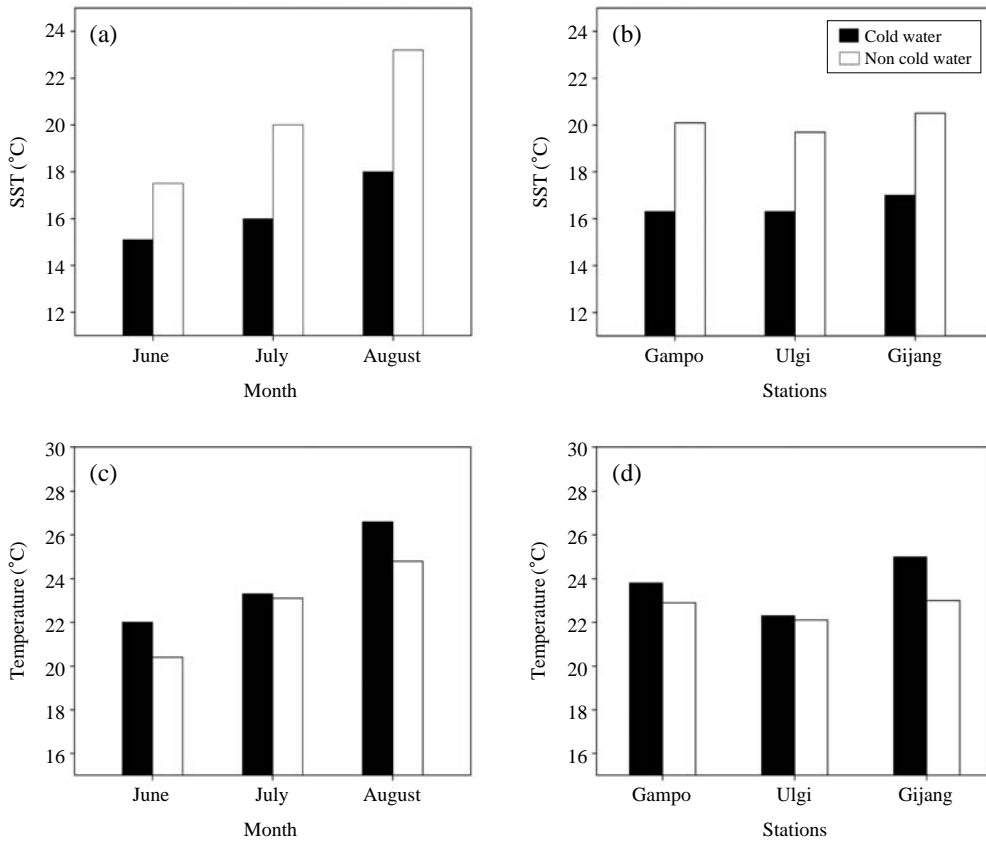


Fig. 4. Comparison of cold water events and non-cold water events monthly means SST (a, b) and monthly means temperature (c, d) at each stations during experiments.

는 반면, 비발생일(b)일 때에는 주로 북풍, 북동풍이 강하게 나타나 냉수대 발생에 따라 풍향의 차이에 큰 변화가 존재하고 있었다. 특히, 냉수대 발생의 빈도가 높은 감포와 기장은 발생일일 경우 감포는 남풍계열이 25%, 기장은 21%를 차지하였으며, 비발생일일 경우 북풍계열이 감포의 경우 22% 이상, 기장의 경우 15% 이상을 차지하였다. 이는 먼저 냉수대 발생 특징에 관한 선행연구의 결과와 일치한다.

그림 4는 SST와 기온을 냉수대 발생과 비발생으로 구분하여 비교한 그래프로써(a)를 보면 6, 7, 8월 모두 냉수대 발생의 SST가 비발생일 때보다 온도가 2~5°C 낮으며 8월에 차이가 제일 크다. (c)는 7월에 발생, 비발생일 때의 기온이 거의 비슷하지만 6, 8월에는 냉수대가 발생했을 때 평균 기온이 2°C 정도 높게 나타났다. 이런 이유는 냉수대 발생은 지속적인

남서풍에 의한 경우가 주요 원인인데 이러한 따뜻한 남서풍 영향으로 기온이 상승하였기 때문에 분석된다. (d)는 각 지점에서 기온을 비교한 그림으로 기장에서 그 차이가 가장 크게 나타났고, 울기에서 차이가 가장 작았다. 표 2와 같이 기장이 다른 지역에 비해 냉수대가 제일 많이 발생하였고, 이것은 남서풍 계열 바람이 크게 영향을 미쳤다고 할 수 있겠다.

냉수대 발생을 조사해 본 결과 발생일 3~4일 전에 3m/s의 이상의 남서풍이 불었을 때 냉수대가 발생하는 요인이 50% 이상을 차지하였다. 이런 기상 조건은 종관적으로 저기압이 위치해 있을 때 발생하기 쉽게 된다. 실제 종관일기도와 냉수 발생을 분석해 본 결과 냉수대가 발생한 날은 흐린 날이 많았다. 5년 동안 냉수대의 발생 빈도횟수는 총 22번으로 감포에서 5번, 울기 8번, 기장 9번으로 조사되었다. 그

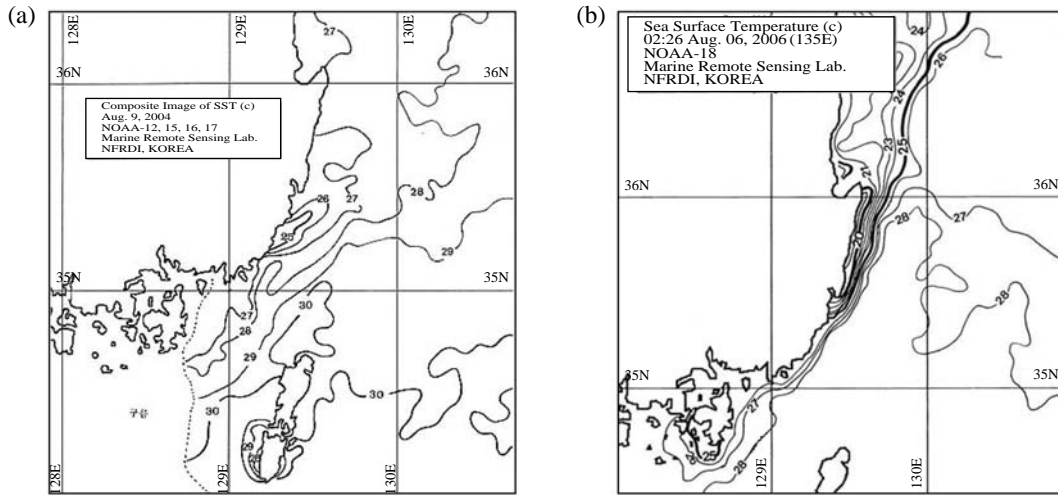


Fig. 5. SST NOAA satellite image showing the non-cold water events on 9 August 2004 (a) and cold water events on 6 August 2006 (b).

중에서 남서풍에 의한 발생은 율기가 6번으로 가장 많았고, 남서풍 이외의 요인으로 발생한 경우에는 기장에서 6번으로 가장 빈번하게 나타나 지역적으로 발생원인에 차이가 있음을 알 수 있었다.

3. 4 Case Study

그림 5는 NOAA위성으로 관측한 동남연안지역의 SST 분포를 나타낸 그림으로 냉수대가 발생하였을 때와 그렇지 않았을 때 SST의 분포를 비교하여 잘 나타내고 있다. (a)의 경우 연안지역에서 25~28°C의 분포로 연안주변에 SST의 온도경도가 완만하고, 주변 지역과의 SST가 비슷하여 냉수대가 발생하지 않았음을 알 수 있다. 이와는 다르게 (b)에서는 연안지역 근처에 20°C 안팎의 급격한 해수온도경도를 이루어 (a)와는 분명한 차이를 보인다. 이 두가지 경우 모두 우리나라에 고기압이 위치해 있어 종관적으로 안정되고 맑은 날이어서 해륙풍이 발생할 수 있는 조건이지만 냉수대 발생은 2006년에서만 나타났다. 따라서 냉수대 발생과 비발생에 따른 해륙풍을 조사하여 그 특징을 살펴보고자 한다.

그림 6은 8월 중 냉수대가 발생하지 않은 2004년(위)과 냉수대가 발생한 2006년(아래)의 자료 중 8월 1일에서 10일까지 각 지점에서 매일 오전 10시에 관측된 연안정지관측자료이다. 그리고 2004년과 2006

년의 데이터를 서로 비교하기에 무리가 있어 2002년~2006년까지 총 5년간의 SST를 평균한 것을 점선으로, 분석하고자 하는 8월 1일~10일까지 기간을 실선으로 나타내어 서로 비교할 수 있게 하였다. 우선 냉수대가 발생하지 않은 기간의 SST는 평균과 비교하여 2~3°C 이상 높게 나타나 있지만, 냉수대가 발생한 기간은 주변지역에 비해 4~5°C 이상 낮았으며 평균보다도 3~4°C 낮게 나타나 있다. 따라서 2004년은 냉수대가 발생하지 않아 SST가 높게 나타났고, 2006년은 SST가 낮았다는 것을 알 수 있다.

이렇게 2006년과 같이 냉수대가 발생한 날 중에서도 해륙풍이 나타날 수 있는 종관적으로 안정된 날을 선택하기 위해 2004년에는 8월 6일부터 8일까지, 2006년에는 8월 3일부터 5일까지 기간의 데이터를 이용하여 냉수대 발생 유무에 따른 해륙풍을 비교, 분석하였다. 역시 두 경우의 기간이 달라 비교하기에 무리가 있어 앞의 그림 6과 마찬가지로 실선은 일일 관측값을, 점선은 8월 1일~10일까지의 일 평균값을 나타내었다. 2004년 분석결과를 Exp. 1, 2006년 분석결과를 Exp. 2로 하여 각 기상요소 시계열 그래프를 그림 7, 8, 9에 나타내었다.

그림 7은 기온으로 Exp. 1(위)은 평균보다 3~4°C 높았지만, Exp. 2(아래)는 전체적으로 평균과 비슷한

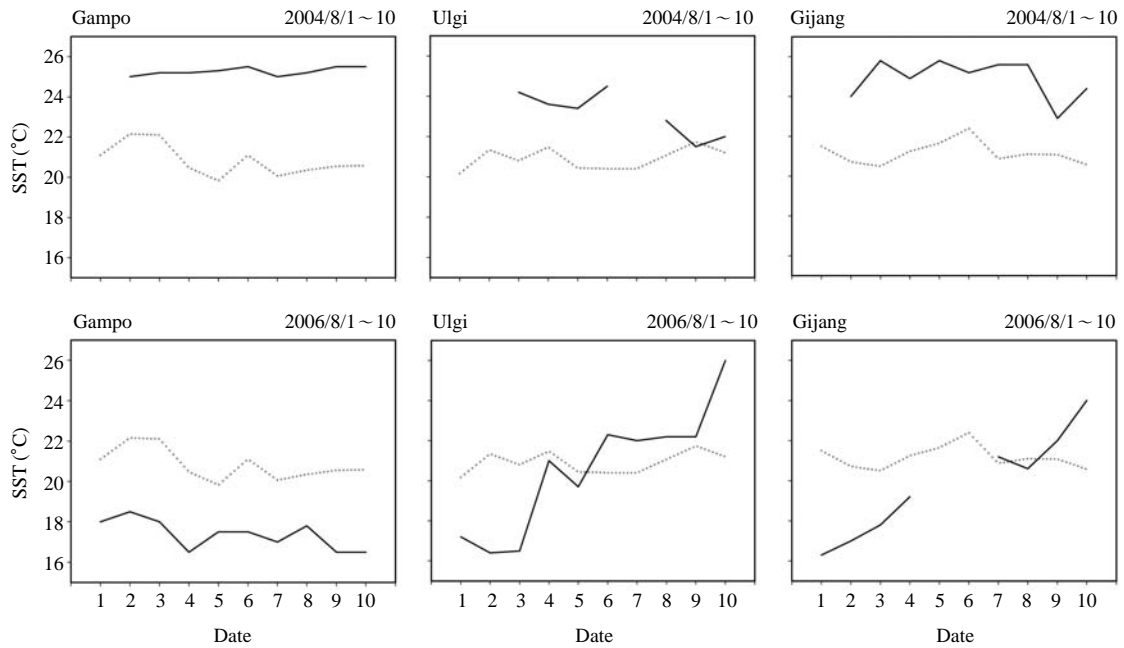


Fig. 6. Variation of SST at Gampo (left), Ulgi (middle), Gijang (right) from 1 to 10 August 2004 (top) and 2006 (bottom); daily (solid line), year mean (dot line).

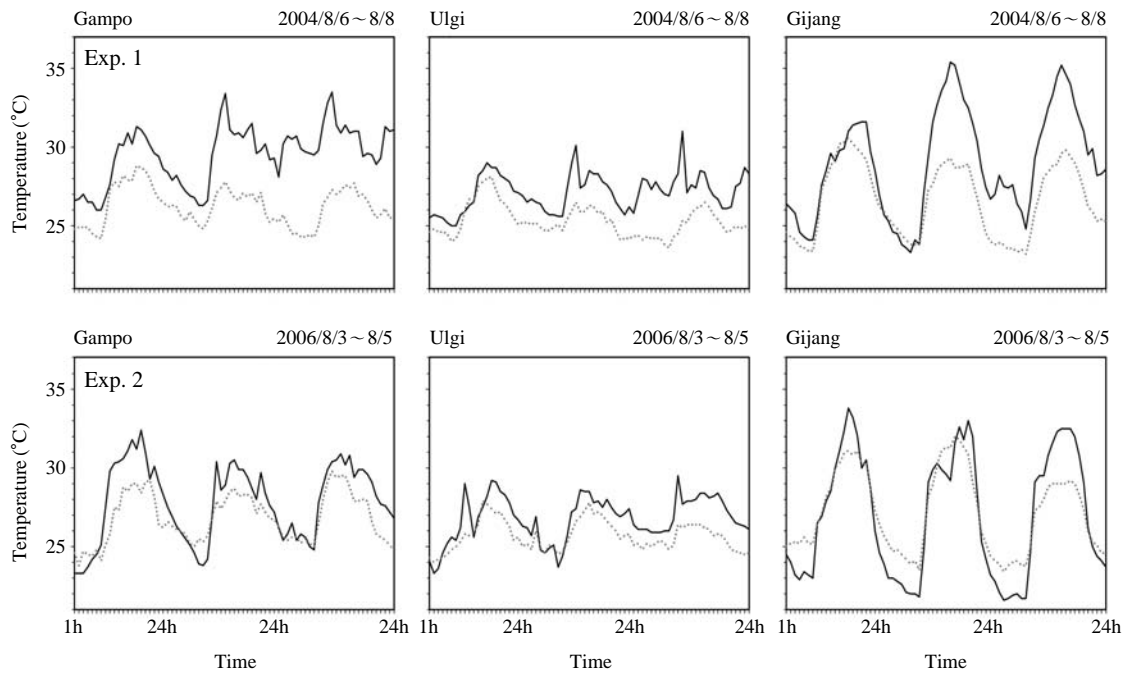


Fig. 7. The same in Fig. 6 except for variation of temperature. Exp. 1 is from 6 to 8 August 2004 (top) and Exp. 2 is from 3 to 5 August 2006 (bottom); daily mean (solid line), year mean (dot line).

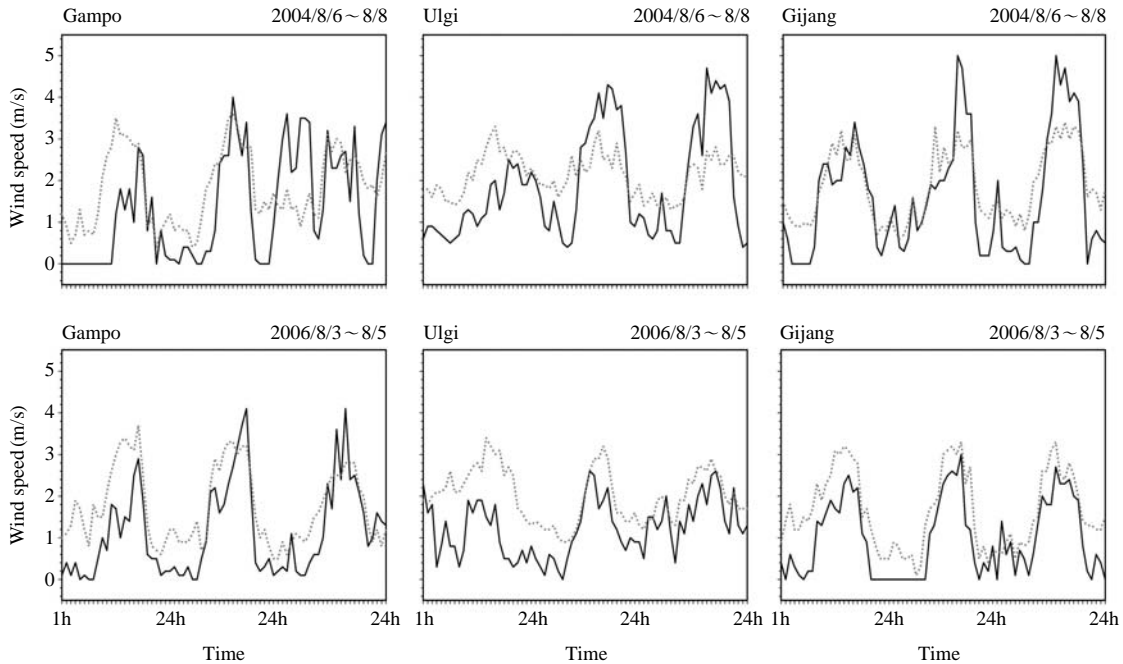


Fig. 8. Same as in Fig. 7 except for variation of wind speed.

시계열 곡선을 그리고 있다. 그리고 Exp. 1과는 달리 야간에 평균보다 기온이 더 낮거나 비슷하였다. 이것은 냉수대가 발생함으로써 낮동안 기온이 크게 상승하지 못하고, 또한 야간 기온이 평균보다 더 낮게 하강했기 때문인 것으로 분석되었다.

일반적으로 냉수대가 발생하게 되면 최저, 최고 기온은 낮아진다. Exp. 1과 2에서는 일교차가 비슷했으나 Exp. 2에서 2~3°C 더 크게 차이가 났다. 그러나 평균과 비교하여 보았을 때 Exp. 1은 평균보다 크지만, Exp. 2는 평균과 비슷해 Exp. 2가 Exp. 1보다 일교차가 작다는 것을 알 수 있다. 이것으로 냉수대 발생이 일교차를 작게 만드는 결과를 가져왔다고 해석할 수 있다.

그림 7과 8을 분석해 보면 Exp. 1에서 기온이 평균 기온보다 높을 때 풍속도 평균풍속보다 높게 나타나 있다. 이와 반대로 Exp. 2에서는 기온이 평균기온보다 높으면 풍속은 평균풍속보다 낮게 관측되었다. 특히 Exp. 1의 경우 울기와 기장에서 7일, 8일의 기온이 평균보다 높았고, 이때 풍속도 평균보다 훨씬 강하게 나타났다. 그러나 Exp. 2의 경우 울기와 기장에

서 기온이 평균보다 높았지만 풍속은 평균보다 낮게 관측되었다. 다시 말해 냉수대가 발생했을 때와 발생하지 않았을 때 차이는 기온은 평균보다 높았지만, 풍속에서 그 차이가 나타나는 것이다. 그 이유는 Exp. 2와 같이 냉수대의 발생으로 기온의 일교차가 작아지는 원인으로 인해 풍속도 평균보다 작아지는 결과로 나타난 것이다. 풍속의 차이에서도 냉수대가 발생하지 않은 Exp. 1에서 더 크게 나타났는데 최대 풍속이 보통 3 m/s 이상을 초과하였으나 Exp. 2에서는 평균 2 m/s 내외이었다.

매시간 풍향을 분석하여 각 지점에서 해륙풍의 특징을 살펴보았다(그림 9). 기장은 시간변화에 따른 풍향의 변화가 가장 뚜렷한 지역으로 전형적인 해륙풍의 모습을 볼 수 있었다. 또한 그림 7에서 큰 일교차는 해풍과 육풍의 모습을 더욱 뚜렷이 나타나게 하는 한 요인으로 작용하였다. 울기는 지역적인 특성상 남풍 계열이 주풍으로, 감포는 풍계의 모습이 다소 일정하지 않은 모습으로 관측되었다. Exp. 1과 Exp. 2에서 냉수대 발생에 따른 풍향의 차이는 지역에 따라 다소 차이는 있지만 Exp. 2가 Exp. 1에 비해

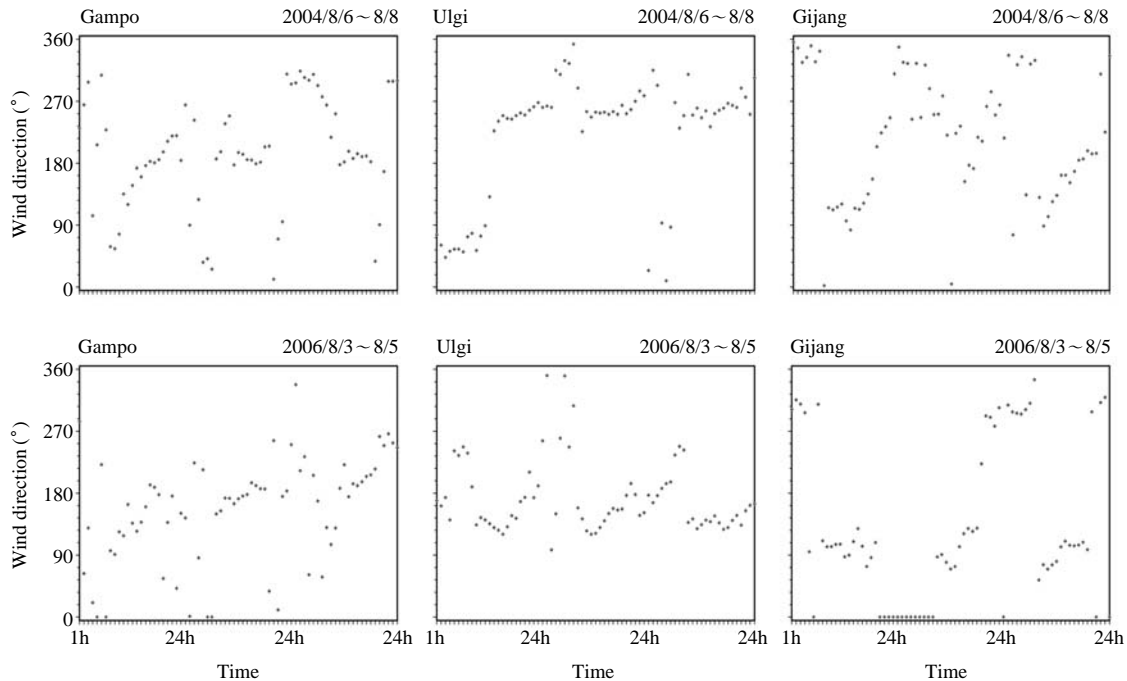


Fig. 9. Same as in Fig. 7 except for variation of wind direction.

해륙풍의 모습을 좀 더 뚜렷하게 나타내는 경향이 있었다. 특히 울기의 경우 Exp. 1에서는 지속적인 남풍이 우세하지만 Exp. 2에서는 주간에는 2m/s 이상의 남동풍이 불다가 야간에는 1m/s 이하의 아주 약한 남풍이 부는 모습을 볼 수 있다. 그리고 기장의 경우 Exp. 2에서 주간에는 2m/s의 동풍이, 야간에는 1m/s 이하의 북서풍이 관측되어 가장 명확한 해풍과 육풍을 표현하고 있다.

일반적으로 냉수대가 발생하면 SST가 낮아지게 된다. 그리고 이것은 내륙의 지표면과의 기온차이를 크게 하여 풍속이 강하게 될 것이라고 예상할 수 있지만 이와는 다른 결과를 나타내었다. 그 이유로 우선 그림 7의 Exp. 2에서 상대적으로 낮은 온도는 해양과의 온도차이를 작게 하여 풍속의 차이도 작았다는 분석을 들 수 있다. 그리고 냉수대 발생으로 인해 해양에서는 차가운 구역과 따뜻한 구역이 경계를 이루어 존재하게 된다. 그리고 이것은 해수면 위에도 영향을 미쳐 냉수대 위의 저기압과 먼 해양의 고기압 구역을 만들게 된다. 이렇게 불어 나가는 저기압 구역의 바람은 먼 해양에서 육지로 불어오는 바람을

가로 막아 육지에서는 풍속이 약하게 나타나는 결과를 가져왔다고 여겨진다.

이를 토대로 볼 때 Exp. 1보다는 Exp. 2에서 기온의 주간, 야간 모두 기온은 낮았고, 일교차는 작게 나타났다. 그 결과로 풍속은 평균 풍속보다 약하였으며, 일 중 시간변화에 따른 풍향전환이 잘 나타나 냉수대가 발생하였을 때 해륙풍의 모습이 더 뚜렷하게 표현되었다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 중규모 기상현상 중 육지의 열적인 특성차이에 의하여 그 강도가 결정되는 해륙풍이 대규모 해류의 연변부에서 발달하는 냉수대와 어떤 영향이 있는지에 대해 살펴보았다. 먼저 냉수대 특성에 대해 조사하였고, 종관적으로 매우 안정한, 즉 해륙풍이 발생하기 쉬운 날을 선택하여 냉수대가 발생한 날과 그렇지 않은 두가지 경우를 선택하여 조사하였다.

한반도 동남연안지역에서 출현하는 냉수대에 대해 2002~2006년까지 조사를 한 결과 냉수대는 여름철 6월말에서 7월초에 가장 빈번히 발생하였으며, 이것은 장마기간의 저기압이 냉수대 발생조건에 어느 정도 기여하였기 때문으로 분석되었다. 냉수대는 세 지점 중 기장에서 가장 빈번히 발생하였고, 지속기간도 제일 길었다. 냉수대 발생 시 기상학적 특징을 보면 SST는 주위보다 더 낮아졌고, 기온은 더 높았다. 또한 풍향은 남서풍으로 나타나 비발생일 때와는 뚜렷이 구분되었는데 이는 냉수대 발생조건과 일치하는 결과를 보여주었다. 월 평균 기온은 냉수대가 발생했을 때 높았는데 이것은 강한 남풍의 영향 때문이다. 이것은 8월과 기장에서 남풍이 우세하였다는 것과 냉수대 발생과 비발생간의 기온차이가 가장 큰 것을 보면 알 수 있다.

또한 해륙풍과의 관계를 연구한 결과 남서풍에 의해 냉수대가 발생 했을 때에는 해륙풍 발생과 냉수대 발생 요건이 서로 맞지 않아 많은 case가 나타나지 않았다. 하지만 다른 요인에 의해 냉수대가 나타났을 경우 해륙풍은 지형적인 영향으로 기장에서 가장 현저하게 나타났다. 그 특징을 보면 냉수대가 발생하였을 때는 기온과 풍속이 평년과 비교하였을 때 큰 차이가 났고, 반면 냉수대가 발생하지 않았을 때는 차이가 크지 않았다. 기장에서 큰 일교차와 높은 최대 풍속은 해륙풍 발생을 더 쉽게 하는 것으로 조사되었다. 따라서 냉수대가 발생하였을 때 해륙풍이 존재한다면 그 강도는 더 큰 것으로 분석되었다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 (CATER 2006-2205)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Byun, S.K. (1989) Sea surface cold water near the southeastern coast Korea: wind effect, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(3), 121-131.
 Corlett, G.K., I.J. Barton, C.J. Donlon, M.C. Edwards, S.A. Good, L.A. Horrocks, D.T. Llewellyn-Jones, C.J. Merchant, P.J. Minnett, T.J. Nightingale, E.J. Noyes,

A.G. Ocarroll, J.J. Remedios, I.S. Robinson, R.W. Saunders, and J.G. Watts (2006) The accuracy of SST retrievals from AATSR: an initial assessment through geophysical validation against in situ radiometers, buoys and other SST data sets, *Advan. Space Res.*, 37, 764-769.
 Dourado, M. and A.P. Oliveira (2008) A numerical investigation of the atmospheric-ocean thermal contrast over the coastal upwelling region of Cabo Frio, Brazil, *Atmósfera*, 21(1), 13-34.
 Doyle, J.D. and T.T. Warner (1993) The impact of the sea surface temperature resolution on mesoscale coastal processes during GALE IOP 2, *Mon. Wea. Rev.*, 121(2), 313-334.
 Grossman, R.L. and A.K. Betts (1990) Air-sea interaction during an extreme cold air outbreak from the eastern coast of the United States, *Mon. Wea. Rev.*, 118, 324-342.
 Guan, L. and H. Kawamura (2004) Merging satellite infrared and microwave SSTs: methodology and evaluation of the new SST, *J. Oceanography*, 60, 905-912.
 Kawai, Y. and A. Wada (2007) Diurnal sea surface temperature variation and its impact on the atmospheric and ocean: a review, *J. Oceanography*, 63, 721-744.
 Lee, J.C. (1983) Variation of sea level and sea surface temperature associated with-induced upwelling in the south-east coastal of Korea in summer, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(2), 149-160.
 Lee, J.C. and J.Y. Na (1985) Structure of upwelling off the southeast coast of Korea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20(3), 6-19.
 Lee, K.B. (1978) Study on the coastal cold water near Ulsan, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 13(2), 5-10.
 Lee, S.H. and C.S. Ryu (2009 Now Print) Influence of continuous satellite based SST distribution on heavy snowfall events over the Korean Peninsula, *Int. J. Remote Sens.*
 Lee, S.H. and G.S. Park (2006) Numerical studies on the variation of flow structure due to sea surface temperature at the Lee Side of Jeju Island in the Korean peninsula, *J. Korea Earth Sci. Soc.*, 27(1), 61-72. (in Korea with English abstract)
 Lee, S.H., H.W. Lee, and Y.K. Kim (2002) Random walk simulation of atmospheric dispersion on surface urbanization over complex terrain, *Korean J. of Atmos. Environ.*, 18(2), 67-83. (in Korea with English abstract)
 Lim, D.B. and S.D. Chang (1969) On the cold water mass in

- the Korea Strait, J. Oceanol. Soc. Korea, 4(2), 71-82.
- Park, K.A., F. Sakaida, and H. Kawamura (2008) Oceanic skin-bulk temperature difference through the comparison of satellite-observed sea surface temperature and in-situ measurements, Korean J. of Remote Sensing, 24(4), 273-287. (in Korea with English abstract)
- Porson, A., D.G. Steyn, and G. Schayes (2007) Sea-breeze scaling from numerical model simulations, Part I: Pure sea breezes, Bound.-Layer Meteor., 122, 17-29.
- Seung, Y.H. (1984) A numerical experiment the effect of coastline geometry on the upwelling along the East Coast Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 19(1), 24-30.
- Skyllingstad, E.D., D. Vickers, L. Mahrt, and R. Samelson (2007) Effects mesoscale sea surface temperature fronts on the marine atmospheric boundary layer, Bound.-Layer Meteor., 123, 219-237.