

[Note]

여름철 해운대 냉수대의 용승반응

이재철*

부경대학교 해양과학공동연구소

Upwelling-Response of the Cold Water off Haeundae in Summer

J. C. LEE*

Korea Inter-university Institute of Ocean Science, Pukyong National University

수영만의 CTD 관측자료와 모니터링 부이의 바람, 수온, 유속자료를 이용하여 해운대 냉수대의 변동과 원인을 연구하였다. 해류는 단주기 변동이 크고 바람과는 관련이 없었다. 해안에 평행한 북동-남서 방향의 바람은 전체 분산의 96% 이상을 차지하며 수온변화의 주된 요인이었다. 수온은 풍향에 민감하여 남서풍으로 바뀌면 바로 수온이 감소하기 시작하고 반대로 북동풍으로 바뀌면 상승하였는데, 남서풍이 2일 동안만 불어도 수온이 감소하는 경우가 세 번이나 되었다. 전체적으로 2009년에는 8월부터 5일 이하의 비교적 짧은 용승이 네 번, 그리고 2010년에는 총 7차례 중에서 7일간의 용승 3번과 18일간의 용승이 1회 기록되었다. 이 중에서 2010년 8월 중순에 발생한 용승은 7일 동안 수온이 10 °C 이상 감소하여 바람에 비해 매우 강력한 용승 효과를 보였다. 감포, 울산, 기장에서 냉수대 기간에 해운대와 같은 경향으로 수온이 감소하였고 CTD 관측과 인공위성의 수온분포 또한 연안용승 해역이 해운대-부산까지 확장될 수 있음을 보여주었다. Wavelet coherence 분석에 의하면 2~8일 주기의 성분이 용승이 잦은 기간에 상관성이 높았다.

Low water temperature during the summer associated with the occurrence of cold water zone off Haeundae was studied using the data from CTD observations and a monitoring buoy deployed in Suyeong Bay. Short-term variability of current was dominant and was not related to the wind. The NE-SW components of wind parallel to the coast contained more than 96% of total variance and could account for major fluctuations of water temperature. Upwelling-response of water temperature was very sensitive so that the temperature began to decrease immediately after the onset of the southwesterly wind. In particular, there were three cases in which SW winds for only two days caused considerable temperature drops. In 2009, four upwelling events shorter than 5 days took place while seven events with periods of 2~18 days were recorded in 2010. During a very intense upwelling for seven days in mid-August 2010, temperature decreased by more than 10 °C in spite of the variable winds. Temperature variability at Gampo, Ulsan, Gijang and Haeundae had similar patterns. CTD observation and satellite imagery showed that the upwelling zone could be extended to the Haeundae-Busan area. According to the wavelet analysis, coherent periods were 2~8 days during the frequent upwelling/downwelling events.

Keywords: Haeundae, Suyeong Bay, cold water mass, coastal upwelling, monitoring buoy, coherence, wavelet analysis

서론

부산의 대표적인 관광지인 해운대 해수욕장에는 여름철에 냉수대가 자주 출현하는 것으로 알려져 있다. 냉수대 기간 중, 혹은 출현이 예상되는 경우에는 해수욕장에 냉수대 주의보가 발령되며 해수욕이 통제되기도 한다. 이 냉수대는 남동해역의 연안용승과 관련이 있을 것으로 추측되지만 구체적인 관측을 통해서 주요 학술지에 보고된 바는 거의 없다. 기존의 해양관측에 의하면 남동해역의 용승은 울산-감포 해역을 중심으로 발생하지만 용승 해역의 남방한계에 대해서 연구된 바 또한 거의 없는데, 그것은 대부분의

해양관측에 있어서 부산에서 울산 사이에는 관측점이 없으므로 더 자세한 수온분포의 파악이 어려웠기 때문이다.

남동해안의 용승에는 바람이 매우 중요한 역할을 하는데, Lee(1983)는 부산 측후소의 바람과 연안정지 표층수온 자료를 비교하여 수온감소가 해안에 평행한 바람과 밀접한 관계가 있음을 보였다. Lee *et al.*(1998)은 인공위성 SSM/에 의한 바람자료와 연안정지 수온자료를 비교하여 울산에 비해 감포에서 용승이 더 강하고 빈번하게 발생하며 바람에 대한 수온의 반응시간은 2일 이내라고 하였다. 그리고 Lee *et al.*(2003)은 울산 해안에서 관측한 수온과 부이에서 관측한 바람자료를 분석하여 남서풍이 불기 시작하면 3-18시간 이내에 수온감소가 일어난다고 하였다.

이와 같이 울산-감포에서는 용승 과정에 대한 연구가 이루어졌

*Corresponding author: jcl7157@gmail.com

지만 해운대의 냉수대가 바람에 의해서 직접 발생하는 용승의 결과인지는 관측을 통해서 밝혀질 필요가 있다. 부경대학교 해양과 항공동연구소는 해운대 해수욕장을 포함하는 수영만의 해황 자료를 실시간으로 제공하기 위해서 2009년 7월 말부터 약 1년간 종합적인 모니터링 조사를 하였는데, 본 연구는 냉수대 현상과 관련된 자료들을 추출하여 분석하였고 수온 변화가 바람에 민감하게 반응한다는 결과를 제시한다.

자료 및 방법

해운대 근해의 해황을 수시로 파악하기 위해서 Fig. 1a와 같이 수영만의 46개 정점에서 2009년 9월부터 2011년 1월까지 1-2개월 간격으로 총 10회에 걸쳐서 CTD 관측을 실시하였는데, 그 중에서 2010년 8월에만 냉수대의 일부가 관측되었다. 그리고 수영만의 수온, 해류, 기상을 모니터링 하기 위해서 2009년 7월 말에 해운대 남방 3.6 km (35°7.5N, 129°9.6E), 수심 26 m 지점에 부이를 설치하여 10분 간격으로 자료를 수신하였다. 부이에는 초음파식 풍속계를 포함한 기상관측 센서들과 파고계 및 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)를 장착하였다. 실시간 모니터링 자료는 8월 2일부터 정상적으로 수신되기 시작하였고 2010년 8월 20일에 종료되었다.

ADCP에 의한 층별 유속은 2 m 수심 간격으로 관측되었는데 수심이 얇고 유속의 연직변화가 크지 않으므로 여기에서는 8 m 수심의 자료만을 이용하였다. 유속자료는 조화분석을 한 후에 원래 자료에서 조류성분을 제거하였고, 이를 40시간 Low-pass filtering을 하였다. 수심 2 m에 설치된 ADCP에서 측정된 수온자료와 수면상 3 m 높이에 위치한 풍속계로 관측한 풍속자료 또한 40시간 필터링을 하였다. 해안에 평행한 성분의 풍속을 계산함에 있어서 좌표축을 45도 회전시켜서 북동쪽이 양의 y-축이 되도록 설정하였다. 그리고 3 m 높이에서 측정된 풍속을 Large and Pond(1981)의 방법에 의해서 표준 고도인 수면상 10 m 높이의 풍

속으로 환산하였다. 이 시계열 자료들의 변동 양상을 시간영역에서 서로 비교하였으며 주과수 영역에서는 Grinsted *et al.*(2004)의 wavelet coherence 방법을 이용하여 상관성 분석을 하였다.

자료의 비교에 있어서 냉수대의 기준은 관점에 따라 다양하게 정의될 수 있으므로 혼동을 피하기 위하여 바람에 의해서 수온이 감소했다가 다시 상승할 때까지의 저수온 기간을 냉수대 기간, 혹은 용승 기간으로 간주하였다. 해운대의 냉수대와 남동해역의 용승 기간을 비교하기 위해서 국립수산과학원에서 제공하는 감포, 울기, 기장(Fig. 1b)의 연안정지관측 및 인공위성 자료도 이용하였다.

결과 및 고찰

CTD관측 자료

수영만의 CTD 관측자료 중에서 냉수대 현상이 관측된 것은 2010년 8월 20일의 것이 유일하므로 Fig. 2의 수평분포로 제시되었다. 이 때는 Fig. 5와 Fig. 7에서 알 수 있듯이 8월 중순에 표층 수온이 15 °C 이하까지 내려갔던 매우 강력한 냉수대 현상이 거의 끝난 시기였지만 표면에서도 냉수대의 징후가 약간 남아 있는 모습을 보여준다. 표층에서는 대부분이 24 °C 보다 높으며 25.6 °C 까지의 고온수가 분포하기도 하지만 해운대 해안 가까이에는 22.1 °C 의 저온수가 자리하고 있다. 수심 5 m에서는 냉수대가 더욱 넓고 뚜렷하게 나타난다. 20 °C 이하의 냉수피가 수영만 동부와 해운대 가까이 자리하고 있고 수영만의 서쪽에는 24 °C 이상의 고온수가 대치하고 있다. 수심 10 m에서는 동쪽에 15 °C 이하의 냉수피를 중심으로 저온수가, 서쪽에는 22 °C 이상의 고온수가 분포하여 두 수피의 수온 차가 상당히 크다. 관측 영역이 폭 10 km도 되지 않는 수영만 내부에만 국한되었기 때문에 외해를 포함하는 큰 규모의 수온 구조를 설명할 수는 없지만 인공위성 자료의 도움으로 해운대 해역이 당시 남동해역 냉수대의 남쪽 끝 부분에 해당한다고 추정할 수 있다. 8월 22일의 적외선 영상자료(Fig. 3)는 냉수대가 부산에서 호미곶까지 해안을 따라 분포함을 보여준다. 또한 면적

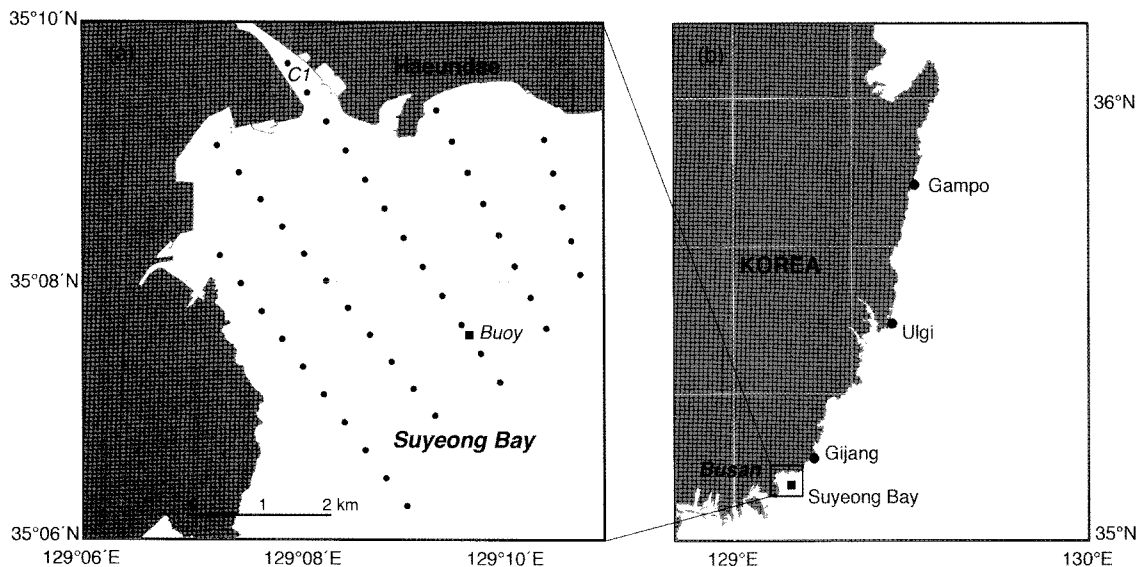


Fig. 1. Station maps of (a) CTD observations (dots) and a monitoring buoy (square), and (b) daily SST measurements (solid circle) and buoy (square).

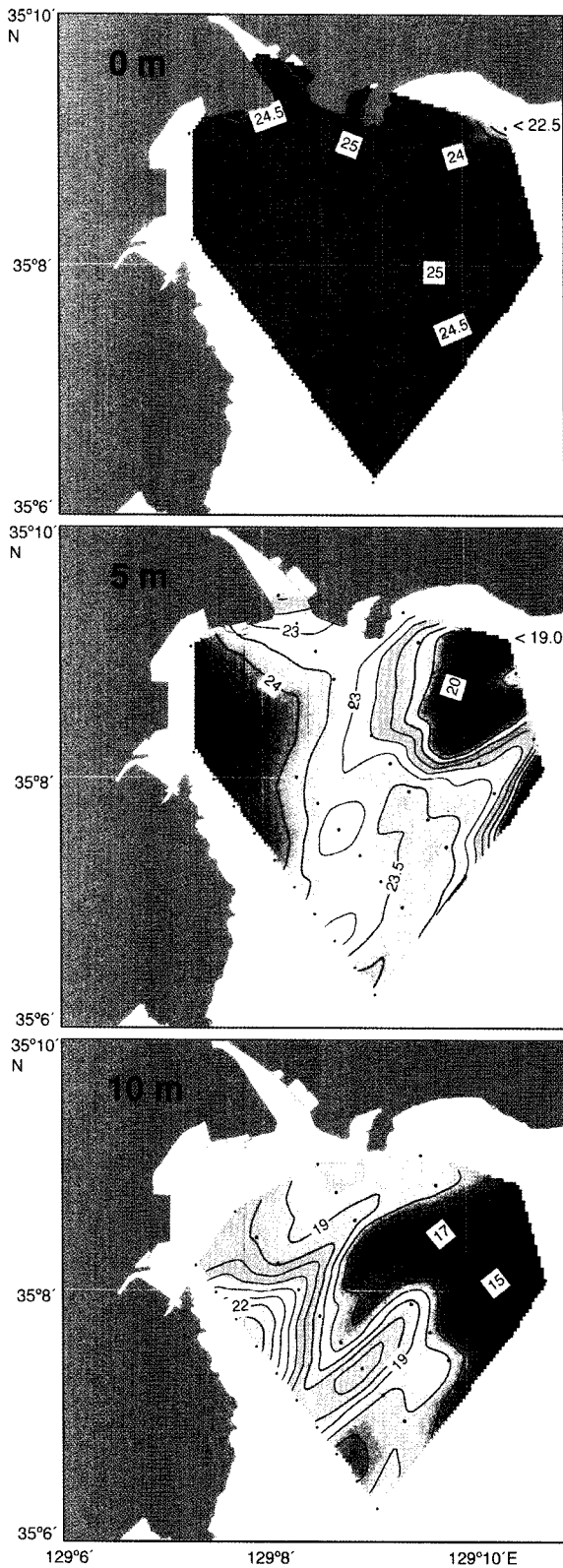


Fig. 2. Horizontal distribution of temperature (at 0.5 °C intervals) in Suyeong Bay on 20 August 2010.

은 작지만 수영만의 남쪽 부분에도 냉수대가 분포하고 있다. 이와 같이 해운대의 냉수대는 연안용승의 일부임을 알 수 있으며, 그

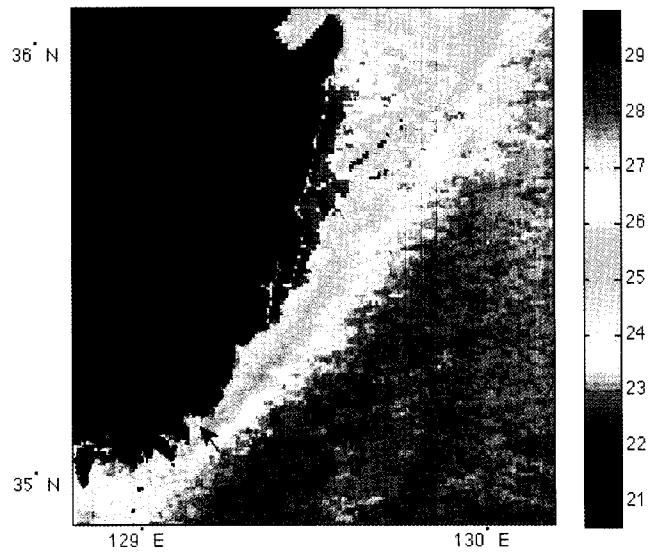


Fig. 3. Satellite (MODIS) infrared imagery off the southeast coast on 22 August 2010.

동안 울산-김포 해역을 중심으로 발생한다고 알려진 남동해역의 용승이 부산까지 확장될 수 있음을 보여주는 것이다. 그러나 해운대의 수온 변화가 바람의 영향을 얼마나 많이 받는지는 연속관측 자료를 통해서 검토할 필요가 있다.

부이관측 자료의 비교

2009년에는 8월 2일부터 정상적인 자료수집이 시작되었고 8월 후반에 매우 뚜렷한 냉수대 현상이 나타났는데, 수온변화를 바람 및 해류의 변동과 비교하기 위해서 Fig. 4에 시간변화로 나타내었다. 우선 풍속벡터를 살펴보면 9월 말까지 전반적으로 북동풍(남서향)이 우세한 가운데 5차례에 걸쳐서 남서풍이 짧게 불었음을 알 수 있다. 해류는 유향의 단주기 변화가 상당히 심하여 특정 방향의 지배적인 흐름이 파악되지 않을 뿐만 아니라 바람의 영향을 받지 않는 것으로 보인다. Lee et al.(2003)의 결과와 마찬가지로

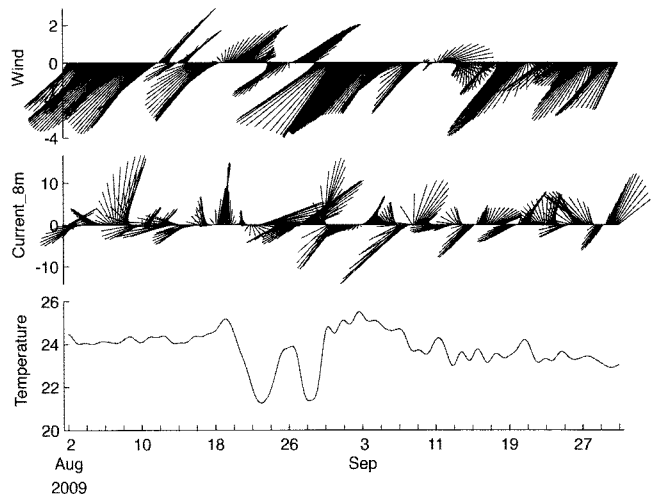


Fig. 4. Changes in low-passed wind velocity (m/s), upper-layer current velocity (cm/s) and water temperature (°C) in summer 2009.

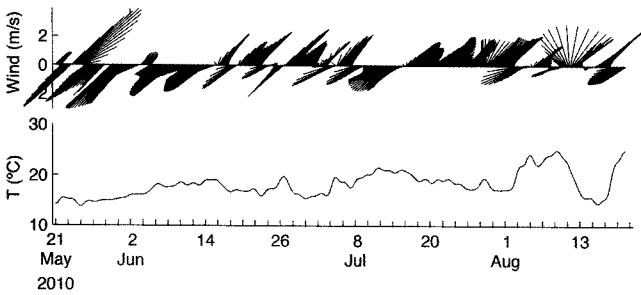


Fig. 5. Changes in low-passed wind velocity and water temperature in summer 2010.

바람과 해류의 상관성은 주파수 영역에서의 분석에서도 거의 없는 것으로 나타났으며 유향의 변화가 심한 것은 해안지형의 영향으로 소규모의 와동류가 형성될 수 있음을 암시한다. 그러므로 여기에서는 바람과 해류와의 상호관계에 대해서는 더 이상 분석하지 않았다. 수온에 있어서 바람의 영향이 항상 뚜렷하게 나타나는 것은 아니지만 8월 하순에는 남서풍-북동풍-남서풍으로 교차되는 바람의 변화에 따른 수온의 감소-증가-감소 현상이 두드러진다.

Fig. 5는 2010년 5월 21일부터 8월 20일까지의 풍속과 수온의 변화를 보여준다. 2009년과는 달리 풍향의 변화가 비교적 심한 편인데, 6월 중순까지는 북동풍이 우세하지만 7월 중순까지는 풍향 변화가 더욱 커지며 그 이후에는 남서풍이 상당히 지배적인 특징을 보인다. 수온은 여름철에 접어들면서 완만하게 증가하는 추세를 보이지만 6월 후반에서 7월 초까지, 그리고 7월 후반은 저수온 기간이 상당히 길었고, 8월 중순에는 짧지만 강력한 냉수대 현상을 기록하였다. 이러한 냉수대 기간 동안에 수온의 변동은 풍향의 변화에 민감하게 반응하여 역시 연안용승의 효과로 잘 설명된다.

바람과 수온의 변화를 보다 효과적으로 비교하기 위해서는 풍속을 해안에 평행한 성분과 직각인 성분으로 구분할 필요가 있다. 연구 해역의 전체적인 해안지형(Fig. 1b)을 볼 때 국지적인 좌표축을 45° 회전하는 것이 가장 적절하다고 판단되어 y-축을 해안에 평행한 북동 방향으로, x-축을 남동 방향으로 정해서 각 성분을 계

산하였다. 그 결과 해안에 수직인 성분(W_x)의 분산은 전체에 대해서 2009년의 3.8% 및 2010년의 3.1%에 불과하므로 96% 이상을 차지하는 평행한 성분(W_y) 성분만을 가지고 수온과 비교할 수 있다.

2009년의 수온과 해안에 평행한 성분의 풍속을 직접 비교한 것이 Fig. 6이다. 남서풍(양의 값)이 2일 이상 지속된 기간이 네 차례 기록되어 A 부터 D까지 표시하였다. 저수온의 기간과 남서풍의 기간이 서로 다른 경우가 있으므로 편의상 바람을 위주로 하였지만 A와 같이 풍향이 단기간에 변하더라도 수온 감소의 경향이 크게 변하지 않으면 같은 기간으로 간주하였다. 전체적으로는 북동풍이 우세한 가운데 남서풍이 2~5일간 불며, 풍속이 양의 값으로 바뀌어 증가할 때마다 수온이 감소하고 남서풍이 약해지거나 북동풍이 불면 증가하는 역상관의 반응을 한다. 용승 A는 3일 동안으로 짧았던 데다가 풍향의 변화가 심하여 수온감소는 미약하였다. 이후 북동풍과 함께 수온이 25°C까지 증가하다가 18일 17시경부터 남서풍으로 바뀌면서 19일부터 수온이 감소하기 시작한다(용승 B). 수온은 계속 하강하다가 23일 16시경 북동풍으로 바뀔 무렵에 21.4°C까지 낮아지고, 이후 일시적으로 상승하여 23.9°C까지 기록한 후에 26일 오전 7시 남서풍이 다시 불기 시작하자 다시 감소한다(용승 C). 27일에 남서풍이 가장 강했다가 약해지면서 28일 21시경 풍향이 바뀌는데 수온은 21.3°C까지 낮아졌다가 상승하기 시작하여 북동풍이 강해지는 31일에는 25°C 이상으로 높아진다. 이 기간 동안에는 에크만 수송에 의한 연안용승의 효과에 비교적 잘 부합하며 풍속-수온 변동의 시간 차이는 Lee et al.(2003)의 3~18시간대에 속한다. 이 후의 점진적인 수온감소는 계절변화에 따른 것으로 보이며 9월 12일경 2일만에 걸친 약한 남서풍에 의해서도 일시적으로 수온이 낮아지는 소규모 현상(용승 D)이 확인된다.

2010년에는 5월 21일부터 3개월 동안 7번의 용승이 기록되었는데(Fig. 7), 이 중에서 기간이 약 2일에 불과한 짧은 용승이 3번이었다. 5월에는 23일부터 남서풍이 강해지면서 2일 동안에 수온이 1°C 이상 감소하는 매우 짧은 용승 과정이 있었다(용승 A). 6월 초까지는 바람과는 특별한 관계가 없이 수온이 점차 상승하다가

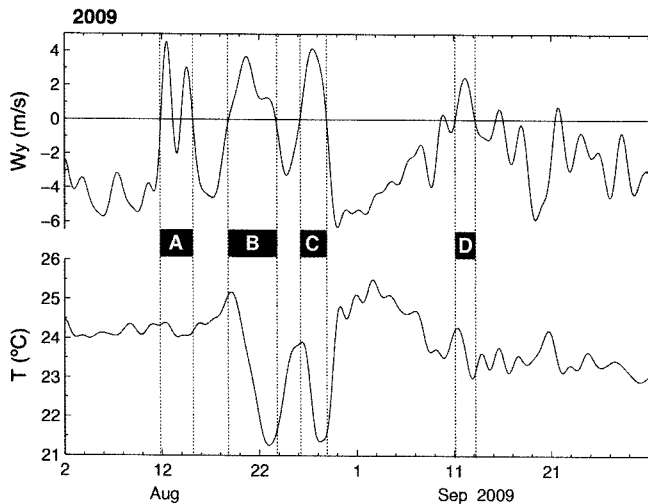


Fig. 6. Comparison of alongshore wind (W_y) at 10 m height and water temperature in summer 2009. Wind events favorable for upwelling are designated by A to D.

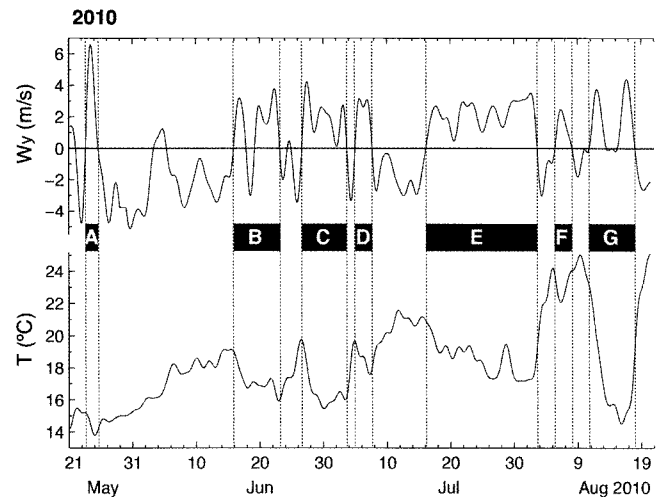


Fig. 7. Comparison of alongshore wind (W_y) at 10 m height and water temperature in summer 2010. Wind events favorable for upwelling are designated by A to G.

6월 16일~7월 8일의 23일간은 풍향 변화가 심한 가운데 3 차례의 용승이 발생하였다. 용승 B 동안에는 초기의 남서풍에 수온이 감소하다가 18일에 잠시 북동풍으로 바뀌에 따라 약간 상승했다가 그 이후의 남서풍에 의해 수온이 16°C까지 낮아졌다. 6월 23일부터 북동풍이 불자 수온이 급상승 했으며 26일에 시작된 용승 C 동안에는 수온이 15.5°C까지 감소했다가 7월 3일 오후 늦게 북동풍으로 바뀌자 바로 급격히 상승했다. 용승 D는 약 2일간에 2°C의 수온감소가 기록되었다. 7월 16일~8월 2일의 18일 동안 남서풍이 지속되었고(용승 E) 수온 또한 낮은 상태가 대체로 유지되었다. 그리고 8월 5~8일에는 짧은 용승 F 가 있었다. 남서풍이 8월 11~18일의 7일간 불었던 용승G는 바람에 비해 수온의 감소가 대단히 커서 매우 인상적이다. 남서풍은 8월 11일에 시작되었지만 수온은 이미 8월 9일의 25.0°C 부터 낮아지고 있으며 8월 14일 경의 미약한 남서풍과 함께 약간 증가했다가 다시 강해진 남서풍에 의해 15일의 14.5°C까지 현저하게 낮아졌다. 그러므로 수온 변동의 경향은 바람에 민감하게 나타나면서도 10°C 이상의 수온 감소는 다른 경우들에 비해 예외적으로 크기 때문에 다른 요인들의 영향도 비교적 컸던 것으로 판단된다.

표층수온의 감소는 바람에 의한 연안용승의 전형적인 결과지만 그 변화의 크기는 바람에 정비례하는 것은 아니어서 바람의 조건은 동일하더라도 당시의 성층과 해류의 조건에 따라 달라지게 된다. Lee and Na(1985)와 Lee et al.(2003)는 대마난류가 강해지면 서 등온선이 해안 쪽으로 상승하는 현상은 바람과 관계 없이도 발생할 수 있다고 하였다. Byun(1989)는 용승 발생에 필요한 최소 wind impulse를 제시하였지만 Fig. 6와 Fig. 7을 보면 바람이 충분히 작용한 후에 수온 변화가 나타나는 것이 아니라 남서풍으로 풍향이 바뀌면 바로 수온이 감소하기 시작하여 Lee et al.(2003)의 결과와도 잘 일치하는데, 이것은 등온선의 상승으로 냉수괴가 평상시에 해안의 얇은 수심에 분포하는 경우가 많기 때문인 것으로 보인다. 2010년 8월 중순의 강력한 용승G는 이러한 효과가 상대적으로 크게 작용한 결과라고 볼 수 있다. 2009년과 2010년의 자료를 전체적으로 보면 성층이 잘 발달하는 6~8월의 기간에만

수온의 민감한 반응이 눈에 띄고 5월과 9월에는 그렇지 않은 것을 알 수 있다. 이상과 같이 전반적으로 해운대의 수온은 바람에 대해서 연안용승에 따른 반응을 하므로 부산도 남동해의 용승지역에 포함된다.

해안에 평행한 풍속(W_y)과 수온변화의 관계를 주파수 영역에서 파악하기 위하여 wavelet coherence를 구하여 Fig. 8에 나타내었다. 색으로 표현되는 상관도는 적색일수록 높으며 화살표는 위상을 나타내는데 오른쪽 방향은 위상이 일치하고 왼쪽은 반대이며 왼쪽으로부터 위로 벗어나는 만큼 남서풍에 대한 수온감소의 위상 차가 발생하는 것을 뜻한다. 물론 여기에는 용승 반응은 물론 반대로 북동풍에 의해 수온이 증가하는 과정도 포함되어 있다. 95% 이상의 신뢰도를 갖는 굵은 선 내부의 영역에서는 화살표가 대부분 좌상 방향인 점이 공통적인 특징인데, 수온이 바람의 변화를 따라가는 것이 2일 주기의 변동에서는 12시간 이내, 그리고 4일 주기에서는 24시간 이내의 위상 차를 갖는 것으로 해석된다.

사용된 자료가 40시간 이하의 주기에서 50% 이상 감소하도록 필터링을 한 것이고 용승 기간은 적어도 2일 이상 지속되었으므로 Fig. 8에 나타나는 1~2일 주기의 상관성은 물리적으로 의미가 적다. 2009년에 4~8일 주기성분과 10일 이상의 주기성분이 8월 후반부에서 9월 상순까지 높은 상관성을 가지는 것은 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 이 기간에 바람에 대한 수온의 변화가 가장 크고 민감하게 일어났기 때문이다. 2010년에는 2~8일 범위의 주기가 Fig. 7의 용승 B~D에 해당하는 6월 중순에서 7월 중순까지 높은 상관성을 나타낸다. 한편, 10~20일 주기에서는 모든 기간에 상관성이 매우 낮으며 20일 이상의 주기에 나타나는 상관성은 전체적으로 Fig 7의 6월 16일부터 7월 13일까지의 전반적인 저수온기(용승 B~D), 그리고 7월 중순에 18일간의 용승 E 등의 장주기 변동이 반영된 결과로 해석된다.

연안정지관측 자료

앞에서 해운대 해역의 냉수대가 연안용승의 반응을 한다는 것이 판명되었으므로 한국 남동해안의 용승현상과의 관계를 확인하

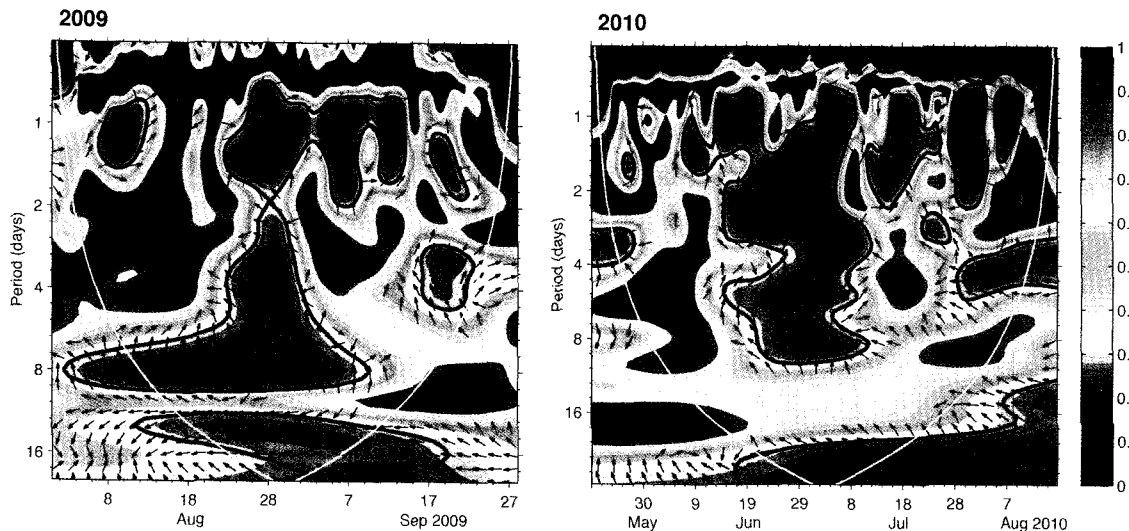


Fig. 8. Squared wavelet coherence between the alongshore wind velocity and water temperature. The 95% confidence level is shown as thick contour. White curves depict the cone of influence.

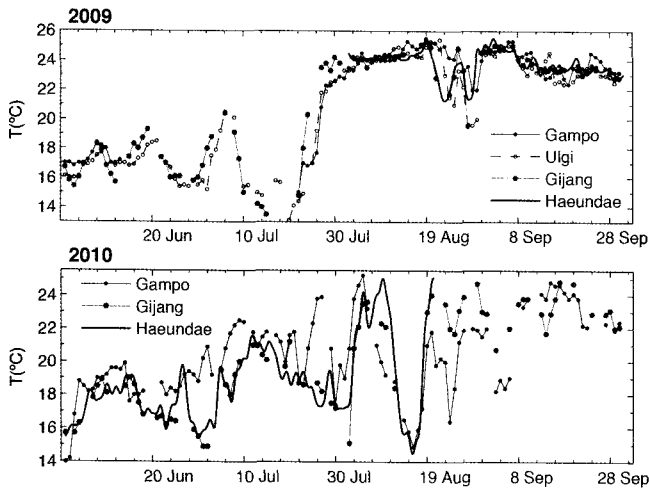


Fig. 9. Sea surface temperatures at the southeast coast during summer.

기 위해서 국립수산물과학원에서 제공되는 연안정지관측 표층수온 자료를 해운대 관측자료와 함께 Fig. 9에 나타내었다. 2009년 여름에는 6월 말과 7월 중순의 두 차례 수온이 많이 감소하였으며 해운대의 냉수대 기간(8월 19~31일)에 감포, 울기(울산), 기장에서 공통적으로 수온이 감소하여 동일한 용승의 결과임을 보여준다. 아울러 기장의 수온도 감포나 울기만큼 낮아질 수 있다는 것을 알 수 있다. 2010년에는 울기의 자료가 없어서 감포와 기장의 자료만 사용하였는데 6~7월에는 감포에서 용승의 효과가 크지 않으며 해운대와 기장은 유사한 패턴으로 변화한다. 특히 6월 후반의 경우에 기장의 수온 감소가 감포 보다 훨씬 심했으므로 용승의 중심이 남쪽으로 이동했으리라는 추측이 가능하고 7월 후반에도 기장의 수온이 더 낮았다. 8월 15일에는 기장의 자료는 없지만 감포의 수온이 해운대의 14.5°C와 거의 같다. 이 결과들을 종합하면 남동해안의 수온 변동은 상당히 공통적이며 해운대의 냉수대 현상은 남동해역의 연안용승으로 인한 결과임이 다시 확인된다.

요약 및 결론

해운대 근해의 냉수대 현상을 설명하기 위하여 2009년 8월부터 약 1년간 해운대 남방 3.6 km지점에 설치된 모니터링 부이에서 관측한 바람, 수온, 유속자료 및 수영만 해역의CTD 관측자료를 분석하였다. 해운대의 수온은 바람에 민감하게 반응하였으나 해류는 단주기 변동이 크고 바람과는 관련이 없었다. 해안에 수직항 성분의 바람은 전체 분산의 4% 미만으로서 중요하지 않은 반면에 평행한 바람인 북동-남서풍은 지배적으로 크고 수온변화의 주된 요인이었다. 특히 남서풍이 2일 동안만 불어도 수온이 감소하는 경우가 세 번이나 되었다. 2009년 8월~9월초에는 북동풍이 많이 부는 가운데 5일 이하의 비교적 짧은 용승이 네 번, 그리고

2010년 5~8월에는 풍향의 변화가 보다 심한 가운데 2~18일간 지속된 용승이 일곱 번 기록되었는데, 풍향이 남서풍으로 바뀌면 바로 수온이 감소하기 시작하고 반대로 북동풍으로 바뀌면 상승하여 매우 신속한 반응을 나타내는 경우가 많았다. 그러나 2010년 8월 중순에 7일간 지속된 냉수대는 바람에 비해 수온이 10°C 이상 크게 감소하여 바람의 효과만으로 설명하기에는 부족하였다. 국립수산물과학원의 연안정지관측자료는 감포, 울산, 기장에서 해운대와 같은 냉수대 기간에 수온이 감소하여 동일한 용승반응을 한다는 것을, 그리고 CTD 관측과 인공위성의 수온분포 또한 남동해역의 연안용승 영역이 해운대-부산까지 확장될 수 있음을 보여주었다. Wavelet coherence 분석에 의하면 2~8일 주기의 성분이 수온의 민감한 반응이 나타나는 6~8월에 상관성이 높으며 2009년에는 10일 이상, 그리고 2010년에는 20일 이상의 주기성이 높은 상관성을 보였다.

사 사

본 연구는 부경대학교 해양과학공동연구소의 ‘수영만 연안해역 모니터링 사업’의 지원으로 수행되었다. 그리고 인공위성 자료를 제공해주신 강용균 교수님께 감사 드린다.

참고문헌

Byun, S.-K., 1989. Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: wind effect. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **24**: 121-131.
 Grinsted, A., J.C. Moore, and S. Jeverjeva, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, **11**: 561-566.
 Large, W.G., and S. Pond, 1981. Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. *J. Phys. Oceanogr.*, **11**: 324-336.
 Lee, D.-K., J.-I. Kwon, and S.-B. Hahn, 1998. The wind effect on the cold water formation near Gampo-Ulgi coast. *J. Korean Fish. Soc.*, **31**: 359-371.
 Lee, J.C., 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 149-160.
 Lee, J.C., and J.Y. Na, 1985. Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 6-19.
 Lee, J.C., D.H. Kim, and J.-C. Kim, 2003. Observations of coastal upwelling at Ulsan in summer 1997. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **38**: 122-134.

2011년 6월 29일 원고접수
 2011년 9월 21일 수정본 채택
 담당편집위원: 민홍식