

## 여수항의 평균 열플럭스

최 용 규 · 양 준 혁\*

국립수산업과학원 해양연구팀, \*남해수산업연구소 해양환경팀  
(2006년 2월 7일 접수; 2006년 5월 23일 채택)

### Mean Heat Flux at the Port of Yeosu

Yong-Kyu Choi and Jun-Hyuk Yang\*

Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 609-712, Korea

\*Department of Marine Environment, South Sea Fisheries Research Institute, Jeonnam 573-850, Korea

(Manuscript received 7 February, 2006; accepted 23 May, 2006)

Based on the monthly weather report of Korea Meteorological Administration (KMA) and daily sea surface temperature (SST) data from National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) (1995-2004), mean heat fluxes were estimated at the port of Yeosu. Net heat flux was transported from the air to the sea surface during February to September, and it amounts to  $205 \text{ Wm}^{-2}$  in daily average value in May. During October to January, the transfer of net heat flux was converted from the sea surface to the air with  $-70 \text{ Wm}^{-2}$  in minimum of daily average value in December. Short wave radiation was ranged from  $167 \text{ Wm}^{-2}$  in December to  $300 \text{ Wm}^{-2}$  in April. Long wave radiation (Sensible heat) was ranged from  $27 (-14) \text{ Wm}^{-2}$  in July to  $90 (79) \text{ Wm}^{-2}$  in December. Latent heat showed  $42 \text{ Wm}^{-2}$  with its minimum in July and  $104 \text{ Wm}^{-2}$  with its maximum in October in daily average value.

Key Words : Heat flux, Net heat flux, Sensible heat, Latent heat

#### 1. 서 론

지표면에 도달하여 흡수되는 태양에너지는 전체 지구에 도달하는 태양에너지의 50%에 달한다. 해양이나 육지로 유입된 50%의 태양에너지중에서 20%는 장파복사로, 6%는 현열로, 그리고 24%는 잠열로 방출된다. 해양에서 수온의 분포는 해면을 통한 열교환과 인접 해역으로부터의 이류나 와류 확산에 의해서 결정된다. 해류의 저층 마찰에 의해서 발생하는 에너지나 혹은 지구 내부로부터 해저를 통해서 들어오는 에너지는 태양복사에 비해서 아주 작기 때문에 무시할 수 있다. 따라서 태양복사열이 해양의 열수지를 결정하는 주요한 인자이다<sup>1,2)</sup>.

환경 변화 중에서 생태계와 가장 큰 관련이 있는 것은 수온의 변화이다. 수온은 태양복사 에너지를 원천으로 장파복사, 현·잠열 등의 에너지 교환을

통하여 결정된다. 대기와 해양의 상호 작용에 의해서 결정되는 복사량과 현·잠열량의 변동을 조사하는 것은 해양 생물 환경 연구에 대단히 중요하다고 할 수 있다. 또한 해양의 열플럭스(heat flux)들은 우리 나라 남해의 만이나 서해와 같은 반폐쇄만의 특성을 가진 해역 뿐만 아니라 연안역에서도 해수의 성층을 결정하는 주요한 요소로 작용한다. 이러한 중요성으로 인해 최근에 외양이나 연안역에서 열플럭스 변동에 관한 연구가 많이 수행되어오고 있으며, 또한 열플럭스 분포는 해양과 대기간의 상호 작용으로 인한 해양 환경의 변동을 추정하는 방편으로 유용하게 사용되고 있다<sup>2-8)</sup>. 남해안은 반폐쇄적인 만이 많은 얕은 연안 해역이기 때문에 몬순 기후에 따른 해양 환경의 계절적 변화가 매우 크다. 이처럼 얕은 연안역에서는 태양 에너지의 유출·유입이 조석 에너지와 함께 연안역의 성층과 혼합을 결정하는 주요한 인자로서 작용한다<sup>9)</sup>.

남해 연안은 리아스식 해안으로 해안선의 굴곡이 심하며, 많은 섬과 만들이 산재해 있다. 특히 여수 연안은 광양만과 가막만을 중심으로 서쪽으로는 여

Corresponding Author : Yong-Kyu Choi, Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 609-712, Korea  
Phone: +82-51-720-2231  
E-mail: ykchoi@nfrdi.re.kr

자만, 동쪽으로는 진주만이 위치하고 있어 연안 양식 산업에 주요한 위치를 점하고 있다. 본 연구는 여수에서 관측된 장기간의 연안 정지 관측 수온 자료를 이용하여 여수항의 열플럭스 분포 및 연안역의 성층과 혼합을 결정하는 주요한 인자인 열플럭스를 계산하였다.

## 2. 자료 및 방법

여수에서의 연안 정지 수온 관측은 1933년부터 시작되어 현재까지 계속되고 있다. 여수의 연안 정지 수온은 여수항에서 관측되고 있다. 이 자료들 중 최근의 1995년부터 2004년까지 10개년간의 수온과 기온 자료를 이용하였다. 기상 자료는 기상 월보<sup>10)</sup>로부터 열플럭스의 계산에 필요한 항목(운량, 기압, 상대습도, 풍속 등)들을 10개년(1995-2004)간 정리하였다. 위의 자료들로부터 수온과 기온, 그리고 기상 항목들의 10개년에 대한 평균값을 가지고 평균 열플럭스를 계산하였다. 그리고 단파복사량을 계산하기 위한 수평면 일사량은 여수에서는 관측되지 않아서 여수로부터 직선 거리로 약 60km 떨어져 있는 진주 기상대의 값을 사용하였다. 여수는 여수반도의 남단에서 돌산도를 남쪽에 두고 가막만을 품고 있다. 여수 반도는 우측으로 여수만과 광양만을 사이에 두고 남해와 인접해 있으며, 좌측으로 여수만과 보들 바다와 접하고 있다(Fig. 1). 이러한 지리적 여건으로 연안 양식 산업이 매우 활발한 곳이기도 하다.

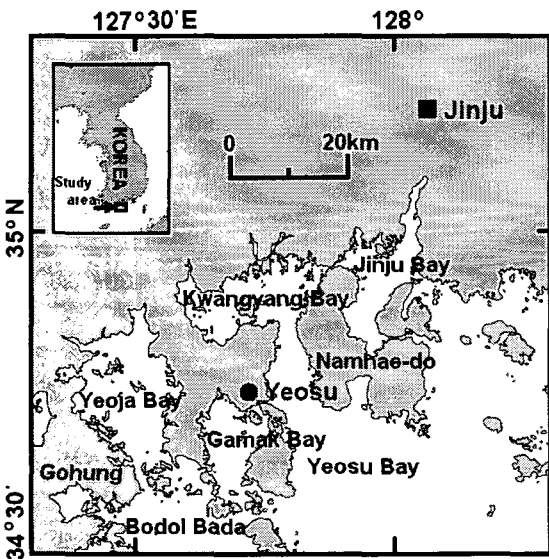


Fig. 1. Locations of observation sites for sea surface temperature and meteorological factors at Yeosu (solid circle) and Jinju (solid square).

해면을 통한 순열플럭스  $Q_{sfc}$ 는 단파복사량( $Q_s$ ), 장파복사량( $Q_b$ ), 현열( $Q_h$ ) 그리고 잠열( $Q_e$ )로부터 계산되며, 각 항들은 다음식으로 나타내어진다<sup>4,11)</sup>.

$$Q_{sfc} = Q_s - (Q_b + Q_h + Q_e) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_s = Q_i(1-a) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_b = E_M \sigma (T_s)^4 (0.39 - 0.05E_A^{1/2})(1 - 0.6C^2) \dots\dots (3)$$

$$Q_h = C_{HPA} C_p W (T_s - T_A) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_e = C_{EPA} W (Q_w - Q_A) L_T \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $Q_i$ 는 수평면 일사량이고,  $a$ 는 알베도(0.06)이다.  $E_M$ 은 해면의 사출률(0.985)이며,  $\sigma$ 는 스테판-볼츠만 상수( $5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ),  $T_s$ 는 수온의 절대온도이다.  $E_A$ 는 대기의 수증기압(mb),  $C$ 는 운량이다. 그리고  $C_H$ 는 스테튼 계수( $1.1 \times 10^{-3}$ ),  $\rho_A$ 는 공기의 밀도( $1.25 \text{kgm}^{-3}$ ),  $C_p$ 는 공기의 비열( $1004 \text{JkgK}^{-1}$ ),  $W$ 는 풍속( $\text{ms}^{-1}$ ),  $T_A$ 는 기온의 절대온도이다. 그리고  $C_E$ 는 달톤 계수( $1.1 \times 10^{-3}$ ),  $Q_w$ 와  $Q_A$ 는 각각 해면에서의 공기의 비습, 공기중에서의 비습이며,  $L_T$ 는 물의 증발잠열( $2.5 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$ )이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수온과 기온, 기상 인자들의 평균 변화

여수항의 수온과 기온의 평균 변화를 보기 위하여 Fig. 2에 여수의 평균 수온과 기온 그리고 수온과 기온의 차이를 각각 나타내었다. 여수항에서 수온의 평균 연교차는  $20^\circ\text{C}$  내외로 최저 수온은 2월 초순(35일)에  $5.8^\circ\text{C}$ 였고, 최고 수온은 8월 중순(234일)에  $25.3^\circ\text{C}$ 였다. 기온의 평균 연교차는  $26^\circ\text{C}$  내외로 최저 기온은 1월 하순(22일)에  $1.1^\circ\text{C}$ 였으며, 최고 기온은  $26.9^\circ\text{C}$ 로 7월 초순(216일)이었다. 수온과 기온의 차이를 보면, 4월 초순(96일)부터 8월 하순(241일)까지 기온이 수온보다 더 높았고, 수온과 기온의 최고 차이는 8월 초순(215일)에  $2.5^\circ\text{C}$ 였다. 그리고 8월 하순부터 4월 초순까지는 수온이 기온보다 더 높았고, 최고 차이는 11월 중순(322일)에  $6.9^\circ\text{C}$ 였다. 이와 같이 계절에 따른 수온과 기온의 차이는 대기(해양)에서 해양(대기)으로 잠열이나 현열의 이동을 일으키리라 예상할 수 있다. 이러한 열플럭스들의 이동이 어떠한지를 다음장에서 살펴 보았다.

열플럭스의 각 항들을 계산하기 전에 여수에서 열플럭스에 영향을 주는 인자들의 평균 변화는 어떠한지를 파악하고자, Fig. 3에 열플럭스에 영향을 주는 인자들 즉, 운량, 기압, 상대습도 그리고 풍속의 평균 일변화를 각각 나타내었다. 평균 운량은 6-7월(181-211일)경에 6.0-8.0으로 많았으며, 그 외의 계절은 평균 1.0-7.5를 나타내었다. 평균 기압은 1005-1026hPa로 변동하며, 6-7월(181-211일)경에 가장 낮아서 1005-1010hPa를 나타내었다. 상대 습

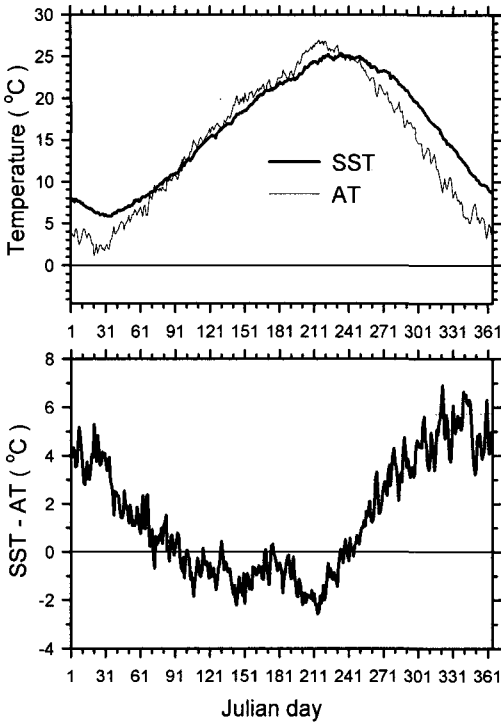


Fig. 2. Mean sea surface temperature (thick line) and mean air temperature (thin line) in Yeosu during 1995~2004 (upper), and the difference of sea surface temperature and air temperature (lower).

도는 약 45~90%로 변하고 있으며, 6-7월(181-211일)경에 상대 습도가 80~90%로 가장 높았다. 일평균 풍속은  $2.5\text{--}6.8\text{ms}^{-1}$ 로 변동하며, 1-2월(1-61일)경에 풍속이  $4.0\text{--}6.8\text{ms}^{-1}$ 로 가장 컸다. 12)는 동중국해에서 4-6월의 일사량이 남저북고의 분포를 나타내는 것은 4월부터 중국 남부에서 시작되는 장마 전선의 영향으로 남쪽의 운량이 많기 때문이라고 하였다. 이처럼 여수에서 6-7월경에 운량이 많고, 평균 기압은 낮으며, 상대 습도가 높게 나타나는 것은 우리나라의 장마철이 이 시기에 해당되기 때문으로, 우기로 인한 영향을 반영하는 것이라 생각된다.

3.2. 열플럭스의 평균 변화

단파 복사량( $Q_s$ )의 평균 일변화와 그 표준 편차를 Fig. 4에 나타내었다. 단파 복사량은  $118\text{--}377\text{Wm}^{-2}$ 로 변하며, 장마철 이전인 4-6월(91-171일)경에 단파 복사량이 가장 많았다. 13)은 동해에서 5월에 일사량이 가장 많다고 하였으며, 12)도 동중국해에서 4-6월에 장마 전선의 형성과 함께 일사량의 분포가 운량에 의해서 위도의 함수가 아닌 남저 북고의 형태를 보인다고 하였다. 단파 복사량의 표준 편차도 4-6월(91-171일)경에  $95\text{--}196\text{Wm}^{-2}$ 으로 가장 컸다.

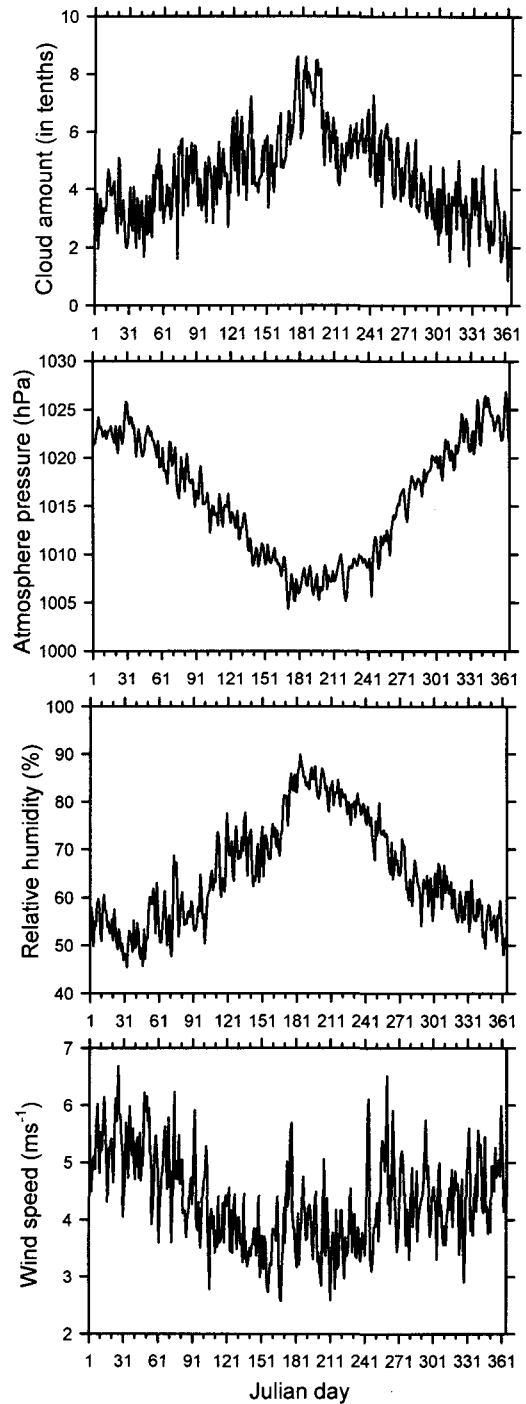


Fig. 3. Mean cloud amount (upper most), mean atmosphere pressure (upper), mean relative humidity (lower) and mean wind speed (lower most) during 1995~2004.

열플럭스들의 각 항들 즉, 순열플럭스( $Q_{stc}$ ), 장파 복사량( $Q_b$ ), 현열( $Q_h$ ) 그리고 잠열( $Q_e$ )의 평균 일변

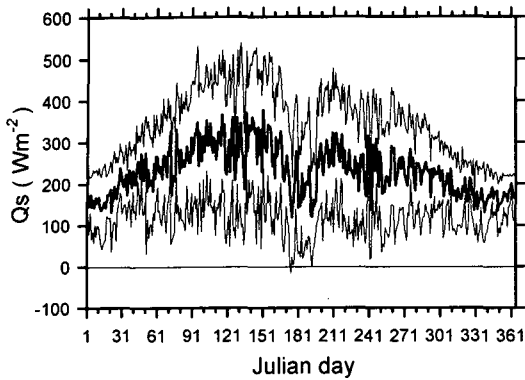


Fig. 4. Mean short-wave radiation (thick line) with standard deviations (thin line) at Jinju during 1995~2004.

화와 그 표준 편차를 Fig. 5에 각각 나타내었다. 단, 순열플럭스( $Q_{stc}$ )에서 양의 값은 대기에서 해양으로의 열의 전달을 나타내며, 장파 복사량( $Q_b$ ), 현열( $Q_h$ ) 그리고 잠열( $Q_e$ )에서 양의 값은 해양에서 대기로의 열의 전달을 나타낸다. 순열플럭스는 2월 초순(34일)부터 9월 중순(261일)까지 대기에서 해양으로 열의 전달이 있으며, 5-6월(121-181일)경에 일평균  $182Wm^{-2}$ 에 이른다. 그리고 9월 중순부터 1월까지는 해양에서 대기로 열의 전달이 있으며, 최저 순열플럭스는 11월 하순(331일)에  $-140Wm^{-2}$ 를 나타내었다. 순열플럭스의 표준 편차는 5-6월에  $145-150Wm^{-2}$ 로 가장 컸다. 장파 복사량은  $18-103Wm^{-2}$ 로 변하며, 6-7월(181-211일)에  $10-13Wm^{-2}$ 로 가장 작았다. 장파 복사량의 표준 편차는  $10-23Wm^{-2}$ 로 해양이 대기로 방출하는 열 플럭스중에서 편차가 가장 작다. 장파 복사량은 열 플럭스항들 중에서 시간이나 지역에 따라서 변화가 가장 작은 항으로 수온이 상승함에 따라서 장파 복사량은 감소한다. 현열은  $-29-121Wm^{-2}$ 로 변하며, 4-8월(96-242일)에 음의 값을 나타내었다. 이 기간 동안에는 현열에 의해서 해양이 대기로부터 열을 흡수한다. 현열의 표준 편차는  $6-98Wm^{-2}$ 이었다. 증발에 의한 잠열은  $19-157Wm^{-2}$ 로 변하며, 9-10월(244-304일)에  $61-157Wm^{-2}$ 로 가장 컸다. 잠열의 표준 편차는  $27-63Wm^{-2}$ 였다. 3)은 현열은 겨울에 최대이고 봄부터 여름까지 최소를 나타내며, 장파 복사량은 겨울에 최대, 여름에 최소를 나타낸다고 하였다. 또한 14)는 현열이 7월에 최소이고 1월에 최대를 나타내며, 이는 여름철에 대기가 해양으로 열을 공급하지만, 그 크기는 여름철이 겨울철에 비해 작다고 하였다. 또한 잠열은 대기가 건조해지고 바람이 강해지는 가을철에 최대가 나타나서 겨울철까지 지속된다고 하였다. 12)도 수온과 기온의 차이가 작은 7월에 현열의 이동이 작고, 대기에서 해양으로 현열이 이동한다고 하였다.

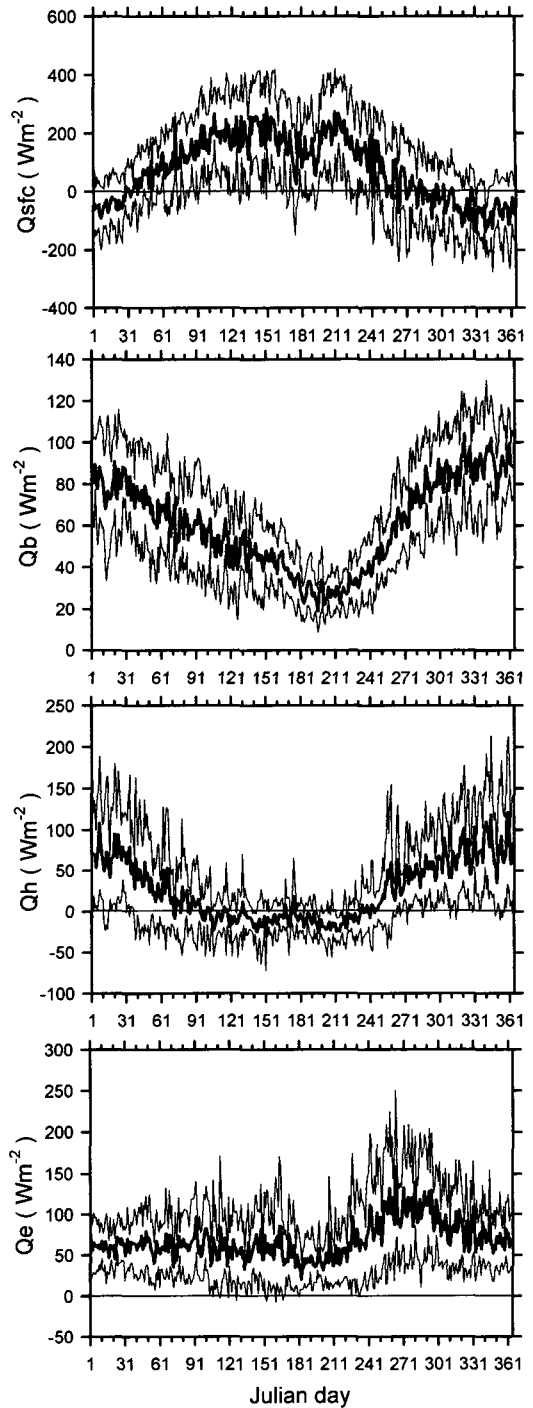


Fig. 5. Same as in Fig. 4, except for net heat flux (upper most), long-wave radiation (upper), sensible heat flux (lower), and latent heat flux (lower most) at Yeosu.

본 연구에서도 Fig. 5에 나타내 것과 같이, 장파 복사량은 여름에 최소이고, 가을부터 겨울동안 최대를 나

Table 1. Approximate cosine functions by harmonic analysis of short-wave radiation ( $Q_s$ ), net heat flux ( $Q_{sfc}$ ), long-wave radiation ( $Q_b$ ), sensible heat flux ( $Q_h$ ), and latent heat flux ( $Q_e$ )

terms	cosine functions
$Q_s$	$230.83 + 31.34\cos(\frac{2\pi}{365}t - 192.00)$
$Q_{sfc}$	$76.24 + 21.86\cos(\frac{2\pi}{365}t - 150.44)$
$Q_b$	$60.37 + 8.10\cos(\frac{2\pi}{365}t - 258.36)$
$Q_h$	$26.22 + 7.77\cos(\frac{2\pi}{365}t - 311.72)$
$Q_e$	$68.01 + 15.59\cos(\frac{2\pi}{365}t - 193.21)$

타내었다. 또한 현열은 4-8월 동안에 음의 값을 나타내지만, 현열의 교환량은 여름철에 비해서 겨울철이 훨씬 크다. 잠열은 9월경(271일)에 최대를 나타내고 있다.

이와 같은 열플럭스들을 조화 분해하여 Table 1에 단파 복사( $Q_s$ ), 순열플럭스( $Q_{sfc}$ ), 장파 복사( $Q_b$ ), 현열( $Q_h$ ), 그리고 잠열( $Q_e$ )을 식으로 나타내었다. 단파 복사의 진폭이 31.34로 가장 크고, 현열의 진폭이 7.77로 가장 작다. 그리고 순열플럭스의 위상은 약  $150^\circ$ 이고, 현열의 위상은 약  $311^\circ$ 로 두 열플럭스의 위상은 거의 반대이다.

열플럭스는 특히 연안에서 조석, 바람 그리고 담수 유입과 함께 연안역의 성층과 혼합을 결정짓는 주요한 인자이다. 본 연구에서는 남해 연안역의 성층과 혼합 현상을 정량적으로 산정하기 위한 첫 단계로서 우선 열플럭스들을 계산해 보았다. 성층과 혼합을 결정하는 인자들의 정량적인 관계에 대해서는 앞으로 연구가 계속 진행되어야 할 부분이다.

### 감사의 글

우리 나라 연안에서 정지 관측을 수행하고 계시는 관계자분들께 감사드립니다. 본 연구는 해양 환경 요소의 변천 및 상호 작용(기후 변화가 해양생태계 및 수산 자원에 미치는 영향과 대응 연구)의 일부분 연구로 수행 되었습니다.

### 참고 문헌

1) Knauss, J. A.. 1997, Introduction to physical oceanography, Prentice Hall, U.S.A., 309pp.

2) Yanagi, T., 1982, Heat Budget of Uwajima Bay, Umi to Sora, 58(1), 13~20.  
 3) Lee, H. C. and H. S. An, 1987, A Study on the heat budget in the south eastern area of the Yellow Sea, J. Oceanol. Soc. Kor., 22(4), 217~227.  
 4) Elliott, A. J. and T. Clarke, 1991, Seasonal stratification in the northwest European Shelf Seas, Contin. Shelf Res., 11(5), 467~492.  
 5) Park, W., I. M. Oh and T. Shim, 1995, Temporal and spatial distributions of heat fluxes in the East Sea, J. Korean Soc. Oceanogr., 30(2), 91~115.  
 6) Kim, H. D. and S. K. Yang, 1995, Surface Heat Budget of the Northern Sea of Cheju Island for June-August 1993 and 1994, J. Korean Env. Sci. Soc., 4(3), 197~206.  
 7) Beardsley, R. C., E. P. Dever, S. J. Lentz and J. P. Dean, 1998, Surface heat flux variability over the Northern California Shelf, J. Geophys. Res., 103(C10), 21553-21586.  
 8) Choi, Y. K., Y. J. Jo, O. I. Choi and W. S. Yang, 2003, Mean heat flux at the Gunsan Harbor, J. Kor. Fish. Soc., 36(5), 535-540.  
 9) Mann, K. H. and J. R. N. Lazier, 1991, Dynamics of marine ecosystems, biological-physical interaction in the oceans, Blackwell Scientific Publications Inc., U.S.A., 466pp.  
 10) Korea Meteorological Administration, 1995-2004, Monthly weather report, Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.  
 11) Gill, A. E., 1982, Atmosphere-ocean dynamics, Academic Press Inc., New York, 662pp.  
 12) Kim, Y. S., 1996, Estimate of heat flux in the East China Sea, J. Korean Fish. Soc., 29(1), 84~91.  
 13) Hirose, N., C. H. Kim and J. H. Yoon, 1996, Heat budget in the Japan Sea, J. Oceanogr. Soc. Japan, 52, 553~574.  
 14) Youn, Y. H., S. G. Hong, Y. Yoon and J. Y. Lee, 1998, A Study on the estimation of air-sea heat fluxes and the wave characteristics using Chilbaldo buoy data, J. Korean Soc. Oceanogr., 3(1), 9~15.