

## 득량만의 열수지 계절 변동

주 용 환 · 조 규 대\*  
부경대학교 해양산업공학 협동과정 · 해양학과  
(1997년 3월 8일 접수)

## The Seasonal Variation of the Heat Budget in Deukryang Bay

Yong-Hwan Joo and Kyu-Dae Cho\*  
\*Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering and Dept. of Oceanography,  
Pukyong National University, 608-737, Korea  
(Manuscript received 8 March 1997)

Surface heat budget of the Deukryang Bay from July 1, 1992 to September 12, 1993 is analyzed by using the meteorological data (by Changhung Observatory and Mokpo Meteorological Station) and oceanographical data (by Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University).

Each flux element at the sea surface which has annual variation is derived with application of an aerodynamical bulk method and empirical formulae. The solar radiation is the maximum in spring and summer, and the minimum in autumn and winter. The effective back radiation, the latent heat and the sensible heat are the maximum in autumn and winter, and minimum in summer.

The heat storage rate is calculated by using the rate of water temperature variation according to the depth. The oceanic transport heat is estimated as a residual. The net heat flux, the heat storage rate are positive in spring and summer, while they are negative in autumn and winter. The oceanic transport heat is convergence in winter and divergence in the rest of seasons.

Key words : net heat flux, heat storage rate, oceanic transport heat.

### 1. 서 론

우리나라 남서연안에 위치한 득량만은 만의 남서-북동 방향의 장축의 길이는 약 50 km이고 동서 방향의 폭은 4.6 ~ 11 km로서 남쪽 입구에서 안으로 들어갈 수록 폭이 좁아지는 반폐쇄적인 특징을 지니고 있다. 평균 수심은 7.5 m로서 만의 중앙에 위치한 득량도를 중심으로 서쪽은 해저 경사가 대단히 완만하고, 동쪽은 수심이 깊어 최고 40 m에까지 달한다(Fig. 1). 그리고 만 입구가 비교적 넓어 외해수와의 해수 교환이 활발하고, 아직 육상으로부터의 오염이 비교적 적어 유용 수산 생물인 키조개, 피조개, 새조개등의 주산지로 잘 알려진 해역이다(최, 1974).

따라서, 득량만 연안 어장의 생산성 향상을 위한 기초 연구로서, 부경대학교 해양산업개발연구소에서는 1991년부터 1996년에 이르기까지 매년 대조기와 소조기때의 수온, 염분을 비롯한 해양관측을 실시해 오고 있다. 그 결과 김(1993)은, 득량만의 수온은 득량도를 중심으로 서쪽이 동쪽에 비하여 하계에는 고온 동계에는 저온이며, 염분은 하천수의 유입 및 외해수에 크게 영향을 받고 있음을 밝혔다.

한편, 연안 어장에서 수산 생물 생산량은 내해의 수온

변화에 크게 좌우되고, 내해의 수온 변동은 해양-대기 및 외해-내해간의 열교환 과정에 의해 좌우됨은 알고 있는 사실이다. 그리고 대기-해양 상호작용 및 외해-내해간의 열교환 과정에 의한 수온의 변화를 파악하기 위한 연구로서, Han(1970)은 황해의 잠열 및 현열 이동에 대한 연구를 하였고, Lee and An(1987)은 황해 남동해역의 열수지를 기상 및 해양관측 자료를 이용하여 계산한 결과, 현열과 유효역복사량은 겨울에 최대이고 여름에 최소, 잠열은 1월과 9월에 최대임을 밝힌바 있다. 또한 일본에서는, 『Seto 내해에서의 열수지 연구(Ishizaki and Saito, 1978)』, 『Uwajima항에 대한 열수지 연구(Yanagi, 1981)』등이 있다. 하지만 이에 관한 우리나라의 열수지 연구는 관측 자료의 부족으로 인하여 해양열저장률(저열량) 및 해양열운반량(열이류량)이 평가되지 못하고 있으며, 더욱이 득량만과 같은 내해에서의 열수지 해석은 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 득량만의 계절별 수온 연직 분포에 관한 관측자료가 있기 때문에(1991년 ~ 1996년), 그중 1992년 7월 1일부터 1993년 9월 12일까지의 수온, 염분 관측치와, 득량만에서 가장 가까운 장흥 및 목포 측후소에서 동기간에 관측된 기상 관측치를 이용하여

다. 이들 자료로서 득량만의 해양열저장물과 해양열은 반량을 Ishi and Kondo(1993)의 방법과 열수지 방정식의 잔차항을 사용하여 계산할 수 있었다. 본 연구는 내해에서의 열수지 해석을 통하여 득량만의 계절별 수온 변동 기구를 밝히는데 목적이 있다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 기상 자료중 기온, 풍속, 상대습도, 기압, 운량은 득량만에서 가장 가까운 장흥 관측소의 일 평균치를, 그리고 일사량 자료는 특성상(일사량은 측후소 단위 이상에서만 관측) 득량만과 거의 같은 위도에 있고 가장 가까운 목포 측후소의 일 평균치를 각각 이용하였다. 그리고 득량만의 수온, 염분 자료는 부경대학교 해양산업개발연구소에서 이미 관측하였던 1992년 7월 1일부터 1993년 9월 12일(12회 관측치)까지의 자료를 사용하였다.

한편, 득량만의 열수지를 논함에 있어, 기상 자료는 매일의 관측치가 있지만 해양 자료는 일별연속 자료가 없어, 이미 조사되어 있는 12회의 해양 관측치를 11개 기간으로 나누어 열수지를 각각 비교 분석하였다. 여기서 기상 자료의 기간 평균치는 일 평균값으로부터 계산하였고, 해양 자료의 기간 대표치는 각 기간에서 2회 관측된 자료를 평균하여 구하였다. 그리고 Fig. 1에서 득량도를 경계로 외해에 가까운 영역인 P1과 내륙에 접해 있는 해역인 P2로 나누어 열수지를 논하였다.

3. 열수지 방정식 각 항의 계산 방법

해양과 대기간의 에너지 교환은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = R_n - (SH + LE) \quad (1)$$

여기서 SH, 해수면에서 대기로의 현열과 LE는 잠열속이며, G는 해수면에서의 순열속(net heat flux)이다. Rn은 해수면에서의 하향순복사속(net radiation flux)으로서, 그 식은

$$R_n = (1-r)S^{\downarrow} + a(L^{\downarrow} - \sigma Ts^4) \quad (2)$$

이다. 여기서 Ts는 해수 표면 온도(단위: K), S<sup>↓</sup>와 L<sup>↓</sup>는 해수면에서의 태양복사와 하향장파복사속이다. r은 해수면의 알베이도(본 연구에서는 r = 0.06)이고, a는 해수면의 복사 사출률(본 연구에서는 a = 0.95), σ는 스테판-볼쯔만 상수(σ = 5.67 · 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>)이다. 해양에서의 열수지 방정식은

$$S = G + F \quad (3)$$

로 기술하는데, 여기서 F는 해양열운반량이고, S는 해양열저장물이다. 해양열저장물 S와 순열속 G는 해양 및 기상 관측자료로부터 바로 계산되므로, 해양열운반량 F는 방정식 (3)의 잔차항으로 계산되어진다. 현열과 잠열은 다음과 같은 bulk 공식을 이용해서 추정하였다.

$$SH = C_p \cdot \rho \cdot Ch \cdot (Ts - Ta) \cdot W \quad (4)$$

$$LE = L \cdot \rho \cdot Ce \cdot (Q_s - Q) \cdot W \quad (5)$$

여기서 Cp는 공기의 정압비열(1004 J/kg · deg), ρ는 공기의 밀도(1.27 kg/m<sup>3</sup>), Ts는 해수 표면 온도(단위: K), Ta는 해상 기온(단위: K), W는 해수면에서의 풍속(단위: m/sec), L은 증발 잠열(2.51 · 10<sup>6</sup> J/kg), Ch와

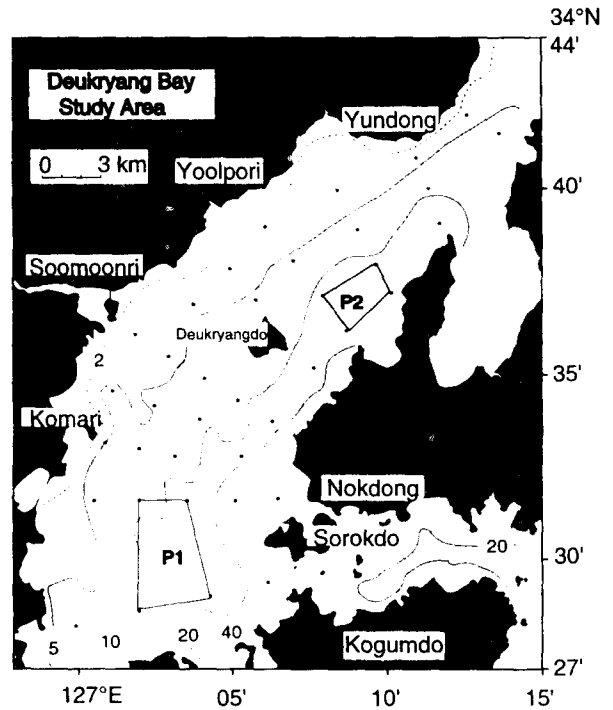


Fig. 1. Study area and bottom topography in deukryang Bay.

Ce는 안정시의 현열 및 잠열에 대한 bulk 수송계수 (Ch = 0.00083, Ce = 0.0015), Qs는 해수 표면 온도에 대한 포화비습(kg/kg), 그리고 Q는 공기의 비습이다. 여기서 포화비습은,

$$Q_s = 0.622 \cdot e_s / (P - e_s) \quad (6)$$

로 되며, P는 해면상의 대기압(hPa)이고, e<sub>s</sub>는 포화수증기압이다. 포화수증기압(hPa)은, Asai and Nakamura (1978)와 같이 Teten(1923)의 공식으로 다음과 같이 추정하였고,

$$e_s = 6.11 \cdot \text{EXP}\{17.27 \cdot (Ts - 273.16) / (Ts - 35.86)\} \quad (7)$$

태양복사(S<sup>↓</sup>)는 목포 측후소 관측치를 그대로 이용하였다. 한편, 하향장파복사(L<sup>↓</sup>)는 Ishizaki and Saito (1978)를 따라서 유효역복사량(Q<sub>B</sub>)을

$$Q_B = \sigma \cdot a \cdot Ta^4 (0.39 - 0.058 \cdot e_a^{0.5}) (1 - c \cdot C^2) + 4\sigma \cdot a \cdot Ta^3 (Ts - Ta) \quad (8)$$

와 같이 계산하여, 유효역복사량과 상향장파복사(σTs<sup>4</sup>)의 차로부터 추정하였다. 여기서 σ는 스테판-볼쯔만 상수, a는 해수면의 복사 사출률(0.95), e<sub>a</sub>는 해상 수증기압, c는 위도의 상수(0.65), C는 전운량, Ts는 해수 표면 온도, Ta는 해상 기온을 나타낸다. 그리고 방정식 (3)의 해양열저장물 S는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \int_0^D C_w \cdot \rho_w \cdot \frac{\partial Tw}{\partial t} \cdot dz \quad (9)$$

여기서, C<sub>w</sub>는 해수의 비열(4218 J/kg · deg), ρ<sub>w</sub>는 해수의 밀도(1000 kg/m<sup>3</sup>), Tw는 해수의 온도, D는 해수

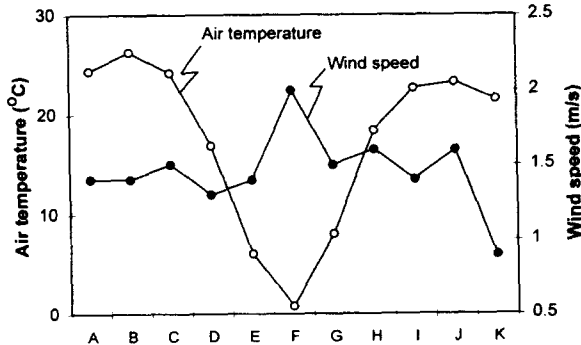


Fig. 2. Mean values of the surface air temperature and wind speed in Deukryang Bay for July 1, 1992-September 12, 1993.

In 1992, A:July 1-23, B:July 23-Aug. 6, C:Aug. 6-Sep. 19, D:Sept. 19-Oct. 17,  
 In 1993, E:Oct. 17, 1992-Jan. 12, F:Jan. 12-Mar. 3, G:Mar. 3-Apr. 25, H:Apr. 25-July 4, I:July 4-23, J:July 23-Aug. 13, K: Aug. 13-Sep. 12  
 July 1-23(A), July 23-Aug. 6(B), Aug. 6-Sept. 19(C) and Sept. 19-Oct. 17(D), 1992, Oct. 17, 1992-Jan. 12, 1993(E), Jan. 12-Mar. 3(F), Mar. 3-Apr. 25(G), Apr. 25-July 4(H), July 4-23(I), July 23-Aug. 13(J) and Aug. 13-Sept. 12(K), 1993.

의 값이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 기상 및 해양의 상태

Fig. 2는 1992년 7월 1일부터 1993년 9월 12일까지의 기온 및 풍속을 나타낸 것이다. 1992년 7월 1일부터 9월 19일까지의 하계 평균 기온은 25.0 °C, 1993년 1월 12일부터 3월 3일까지의 동계 평균 기온은 0.8 °C 였다. 그리고 1992년 하계의 평균기온은 1993년 하계(7월 4일 - 9월 12일)의 평균 기온 보다 2.5 °C 높았는데, 이는 1993년도 하계가 저온다우형 이상 기상(김, 1995)이었음을 반영하고 있다. 한편, 하계와 동계의 평균 풍속은 각각 1.3 m/s, 2 m/s(기후치는 각각 1.2 m/s, 1.9 m/s)로 동계의 풍속이 하계보다 0.7 m/s 더 크다. 그리고 1992년과 1993년 하계의 평균 풍속은 거의 같게 나타났다.

Fig. 3은 동기간의 기압 및 상대습도로써 하계에는 기압이 낮고, 동계에는 기압이 높은 현상이 뚜렷한데, 하계와 동계의 평균 기압차는 약 15 hPa 이었다. 또 고온 소우였던 1992년도 하계의 기압이 저온다우였던 1993년 하계 보다 다소 높게 나타났다. 1992년과 1993년 하계의 평균 상대습도는 각각 75 %와 77 %이며, 이 평균값은 동계의 평균 상대습도 70 % 보다 6 % 정도 높고, 춘계의 평균 상대습도 64 % 보다 12 % 정도 높았다. 여기서 춘계의 평균 상대습도 64%는 우

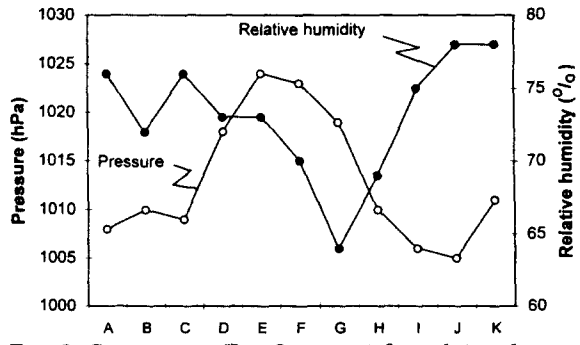


Fig. 3. Same as in Fig. 2, except for relative humidity and pressure.

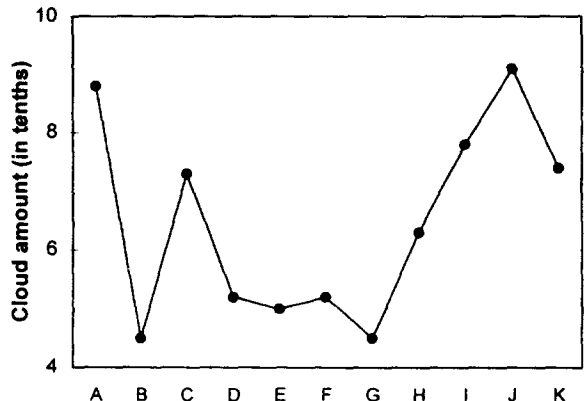


Fig. 4. Same as in Fig. 2, except for cloud amount.

리나라 봄철의 건조한 날씨를 잘 설명해 주고 있으며, 또 1993년도 하계의 평균 상대습도가 1992년도 하계 보다 다소 높은 것은 1993년도 하계의 저온다우형 이상 기상을 말해 주고 있다.

Fig. 4는 기간별 평균 운량을 나타낸 것인데, 여기서 하계의 기간 평균 운량(7.5)이 다른 계절의 평균 운량(5.0) 보다 훨씬 큼을 볼 수 있다. 그리고 저온다우인 1993년 하계의 평균 운량(8.1)이 고온소우인 1992년 하계의 평균 운량(6.9)에 비해서 훨씬 크게 나타났다.

득량만의 기간 평균한 해수 표면 온도를 Fig. 5에서 보면 1992년 하계의 경우 평균 해수 표면 온도는 P1 지점이 23.4 °C, P2 지점은 25.6 °C로 득량도의 내해(P2)가 외해(P1) 보다 2.2 °C 높았다. 하지만 1993년 하계의 경우는 P1 지점의 평균 해수 표면 온도(24.1 °C)가 P2 지점의 평균 해수 표면 온도(23.6 °C) 보다 0.5 °C 높게 나타났는데, 이는 1993년 하계의 저온다우형 이상 기상에 기인된 것으로 해석된다.

Fig. 6은 기간 평균 염분으로, 1993년 하계의 평균 염분(31.7 ‰)이 1992년 하계의 평균 염분(33.1 ‰) 보다 1.4 ‰ 낮았다. 이는 저온다우였던 1993년 하계의 경우, 육상으로부터 담수가 만으로 많이 유입된 사실에 기인된 것으로 추정된다.

4.2 열수지 분석

4.2.1 해양으로의 단파복사에너지(S<sup>↓</sup>)

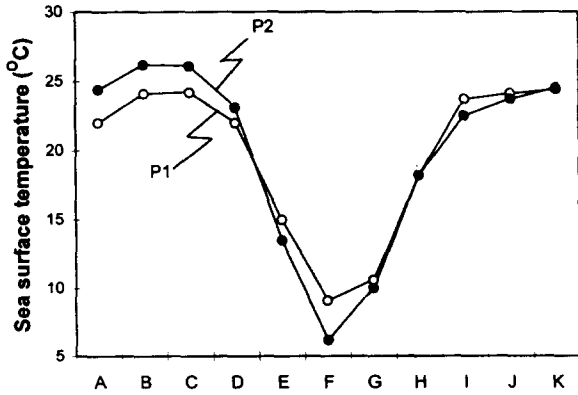


Fig. 5. Same as in Fig. 2, except for sea surface temperature.

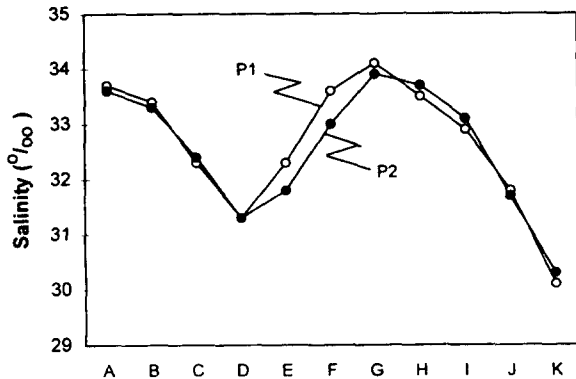


Fig. 6. Same as in Fig. 2, except for salinity.

Fig. 7은 기간별 평균 태양복사량(일사량)으로 최고치는 1992년 7월 23일 - 8월 6일의  $276.5 \text{ W/m}^2$ 이고, 최저치는 1992년 10월 17일 - 1993년 1월 12일의  $99.1 \text{ W/m}^2$ 이며, 그 편차는  $177.4 \text{ W/m}^2$ 이나 된다. 그리고 1992년 하계의 평균은  $209 \text{ W/m}^2$ 으로, 1993년 하계의 평균( $163 \text{ W/m}^2$ ) 보다  $46 \text{ W/m}^2$ 이나 많았다. 한편 1993년 하계의 평균 태양복사량은 1993년 춘계의 평균( $204 \text{ W/m}^2$ ) 보다도  $41 \text{ W/m}^2$ 이나 부족한 양으로, 이는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 1993년 하계에 운량이 대단히 많았던 것에 기인한 것으로 해석할 수 있다.

#### 4.2.2 대기과 해양간의 장파복사에너지( $\sigma T_s^4$ , $L^{\downarrow}$ , $Q_b$ )

Fig. 8은 '득량'만의 기간별 평균 상향장파복사속으로 1992년 하계의 평균값은 득량도의 외해인 P1 지점이  $438 \text{ W/m}^2$ , 내해인 P2 지점이  $451 \text{ W/m}^2$ 으로 P2 지점이 P1 지점 보다  $13 \text{ W/m}^2$  높게 나타났다. 동계의 평균은 득량도의 외해인 P1 지점이  $359 \text{ W/m}^2$ , 내해인 P2 지점이  $345 \text{ W/m}^2$ 으로 하계와는 반대로 P1 지점이 P2 지점 보다  $14 \text{ W/m}^2$  높게 나타났다. 그리고 1993년 하계의 경우는 1992년 하계와는 반대로 득량도의 외해가 내해 보다 다소 많은 상향장파복사속을 방출하였으며, 1992년 하계와 1993년 하계의 평균 상향장파복사속의 편차는  $4 \text{ W/m}^2$ 이었다.

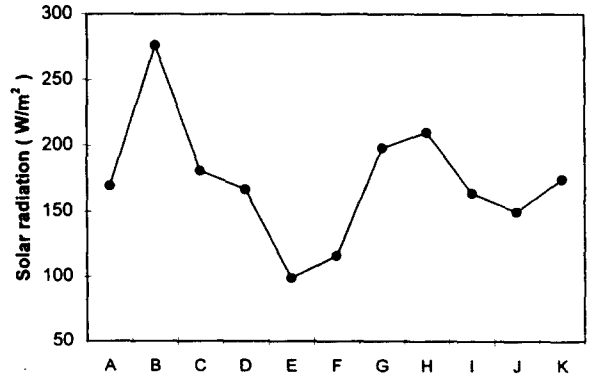


Fig. 7. Same as in Fig. 2, except for solar radiation.

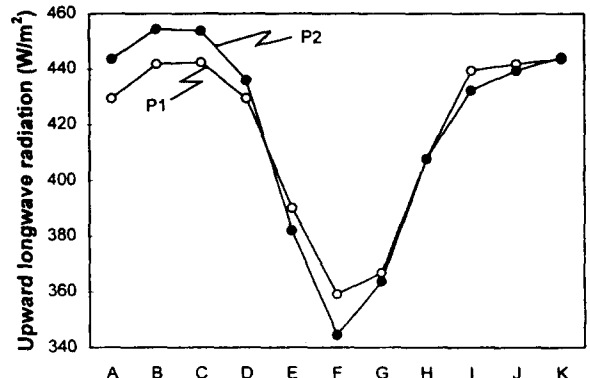


Fig. 8. Same as in Fig. 2, except for upward longwave radiation.

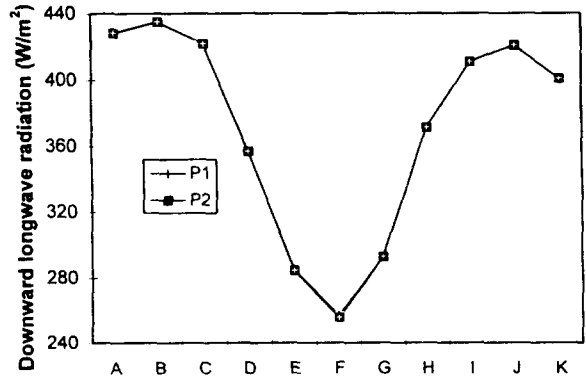


Fig. 9. Same as in Fig. 2, except for downward longwave radiation.

한편, Fig. 9는 득량만의 평균 하향장파복사속으로 1992년 하계의 평균값은 득량도의 외해인 P1 지점과 내해인 P2 지점이 똑같이  $428 \text{ W/m}^2$ 이었다. 동계의 평균 역시 P1 지점과 P2 지점이 차이가 거의 없는  $257 \text{ W/m}^2$ 과  $256 \text{ W/m}^2$ 이었다. 1993년 하계의 하향장파복사속은  $411 \text{ W/m}^2$ 으로 1992년 하계 보다는  $17 \text{ W/m}^2$  정도 적은 복사량을 나타내었다. 이는 1993년 하계의 저온다우형 이상 기상이 그 원인이 된 것으로 보인다.

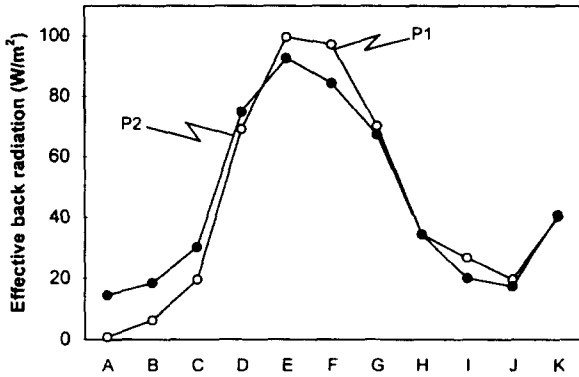


Fig. 10. Same as in Fig. 2, except for effective back radiation.

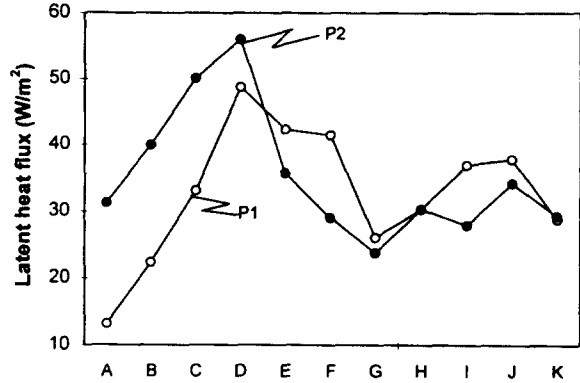


Fig. 12. Same as in Fig. 2, except for latent heat flux.

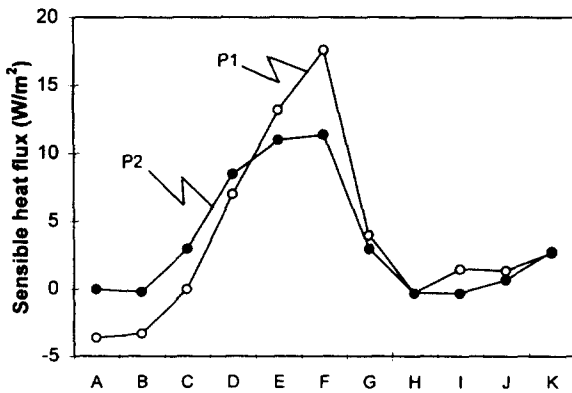


Fig. 11. Same as in Fig. 2, except for sensible heat flux.

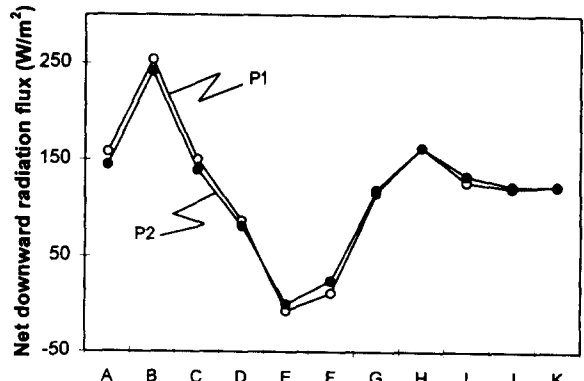


Fig. 13. Same as in Fig. 2, except for net downward radiation flux.

다.

Fig. 10은 득량만에서의 기간별 유효역복사량으로 계절에 관계없이 양(+)의 값을 보였다. 한후기인 1992년 10월 17일 - 1993년 1월 12일 그리고 1993년 1월 12일 - 3월 3일에 각각  $96 \text{ W/m}^2$ ,  $90 \text{ W/m}^2$ 으로 년중 최대치를 나타내었으며, 이에 반해 난후기인 1992년과 1993년의 하계에는 각각  $15 \text{ W/m}^2$ ,  $28 \text{ W/m}^2$ 으로 년중 최소치를 나타내었다. 이는 Lee and An(1987)이 서해안의 열수지 연구에서 지적한 유효역복사량은 겨울에 최대치가 되고, 여름에 최소치가 된다는 연구 결과와 일치하였다.

#### 4.2.3 해수면에서 대기로의 현열(SH) 및 잠열(LE)의 수송량

Fig. 11은 해수면에서 대기로 이동되는 기간별 평균 현열속을 나타내고 있다. 1992년 하계의 경우 P1 지점이 평균  $-2 \text{ W/m}^2$ , P2 지점이 약  $1 \text{ W/m}^2$ 으로 P1 지점은 대기가 현열속의 형태로 해양에 열을 빼앗기고, P2 지점은 대기가 해양으로부터 열을 얻고 있음을 알 수 있다. 그리고 동계의 평균은 P1 지점이  $18 \text{ W/m}^2$ , P2 지점이  $11 \text{ W/m}^2$ 으로, 외해에 가까운 P1 지점이 내륙에 가까운 P2 지점보다 약  $7 \text{ W/m}^2$  정도 더 많이 대기 로 열을 빼앗기고 있다. 한편, 이상 저온 현상을 나타내

었던 1993년 하계의 평균 현열속은 약  $2 \text{ W/m}^2$ 으로 1992년 하계와는 달리 해양에서 대기로 열을 현열속의 형태로 방출하였다. 이는 서해상에서 대기로의 현열 방출은 겨울에 최대치를 나타내고, 여름과 봄에 최소치를 나타낸다는 Lee and An(1987)의 연구 결과와 일치한다.

또한, Fig. 12는 해수면에서 대기로의 기간별 평균 잠열속을 나타낸것으로 1992년과 1993년 하계의 경우 똑같이 평균 약  $32 \text{ W/m}^2$ 의 잠열을 해양에서 대기로 방출하고 있다. 그리고 1992년 9월 19일 - 10월 17일에는 평균  $52 \text{ W/m}^2$ , 1992년 10월 17일 - 1993년 1월 12일에는 평균  $39 \text{ W/m}^2$ , 1993년 1월 12일 - 3월 3일에는 평균  $35 \text{ W/m}^2$ 의 많은 양의 잠열을 해양에서 대기 로 방출하고 있다. 이러한 결과 역시 Lee and An(1987)이 지적한 서해의 잠열속이 1월과 9월에 2개의 최대치를 나타낸다는 결과와 일치된 경향을 보였다.

#### 4.2.4 해수면에서의 하향순복사속(Rn)

Fig. 13은 해양에서 흡수된 기간별 평균 하향순복사속이다. 1992년 하계의 경우  $181 \text{ W/m}^2$ 으로, 동계의  $19 \text{ W/m}^2$  보다는  $162 \text{ W/m}^2$  큰 값을 나타내었다. 그리고 1992년 10월 17일 - 1993년 1월 12일의 평균은  $-3 \text{ W/m}^2$ 으로, 이는 대기에서 해양으로 입사되는 장·단파

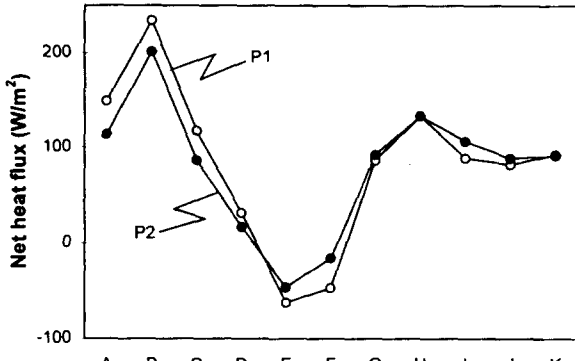


Fig. 14. Same as in Fig. 2, except for net heat flux.

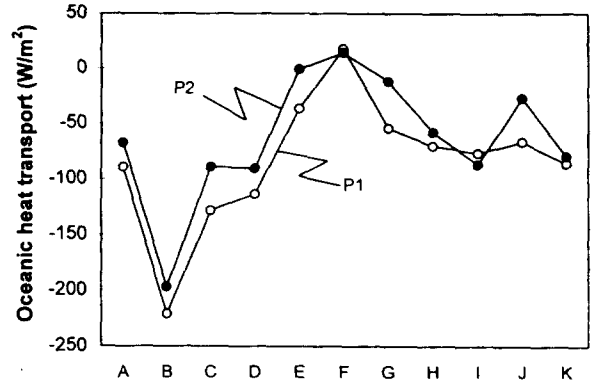


Fig. 16. Same as in Fig. 2, except for oceanic heat transport.

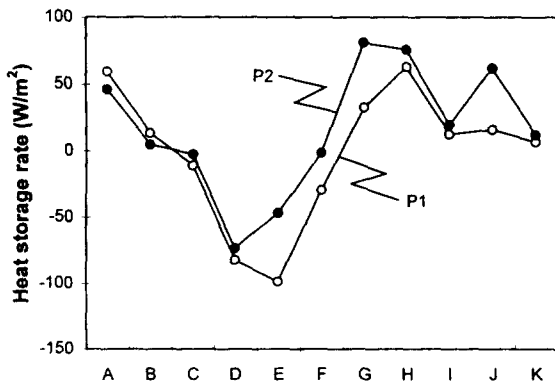


Fig. 15. Same as in Fig. 2, except for heat storage rate.

복사속 보다 해양에서 대기로부터 방출하는 장파복사속이 오히려 크다는 것을 의미한다. 한편, 1992년 하계의 평균값은  $125 \text{ W/m}^2$ 으로 1992년 하계와는  $56 \text{ W/m}^2$ 의 큰 편차를 보이는데, 이는 1993년 하계의 저온다우형 이상 기상으로 인한 많은 운량에 의한 적은 태양복사량에 기인된 것으로 해석된다.

#### 4.2.5 해수면에서의 순열속(G)

Fig. 14는 해수면에서의 순열속으로 해양과 대기간의 에너지 교환의 총 수지를 나타낸다. 1992년 하계의 평균 순열속은  $150 \text{ W/m}^2$ 으로 큰 양(+)의 값을 갖는데, 이는 해양이 여름철에 대기로부터 많은 양의 열을 획득하고 있음을 나타낸다. 그리고 1993년 하계의 평균은  $91 \text{ W/m}^2$ 으로 1992년에 비해  $59 \text{ W/m}^2$  이나 작은 값을 나타내는데, 이는 해수면에 도달하는 태양복사에너지의 양이 열수지에 지배적인 역할을 함을 잘 말해준다. 한편 추·동계에서의 평균 순열속은 각각  $-15 \text{ W/m}^2$ ,  $-31 \text{ W/m}^2$ 의 큰 음(-)의 값을 나타내는데, 이는 하계와는 반대로 많은 양의 열을 해양이 대기로부터 잃고 있음을 나타낸다.

#### 4.2.6 해양에서의 열저장률(S)

Fig. 15는 시간별 평균 해양열저장률을 나타내고 있다. 1992년 하계의 평균은  $18 \text{ W/m}^2$ 이고, 이 중 7월

1일 - 7월 23일, 7월 23일 - 8월 6일 기간의 해양열저장률은 양(+)의 값을 나타내어 대기로부터 해양으로 열저장이 있음을 나타낸다. 반면 8월 6일 - 9월 19일은 같은 하계임에도 불구하고 음(-)의 값을 나타내는데, 이는 Fig. 14와 15를 종합, 분석해 볼 때 대기로부터 해양으로 유입되는 열의 양 보다 내해에서 외양으로 유출되는 열의 양이 더 많음을 나타낸다. 그리고 추·동계 동안의 평균은  $-55 \text{ W/m}^2$ 으로 나타나, 이 기간 동안에는 많은 양의 열이 해양에서 대기로부터 또는 내해에서 외양으로 유출되고 있음을 알 수 있다. 1993년 춘·하계 동안에는 다시 양(+)의 값을 나타내어 대기로부터 해양으로 열이 저장되고 있음을 알 수 있다.

#### 4.2.7 해양열운반량(F)

Fig. 16의 해양열운반량은 해양열저장률(S)에서 순열속(G)의 값을 뺀 것으로 양(+)의 값을 나타내면 해양열운반량이 수렴하고, 음(-)의 값을 나타내면 발산함을 뜻한다. 1992년 하계의 평균  $-140 \text{ W/m}^2$ 으로 내해에서 외양으로 열이 운반되어 나감을 나타내고, 특히 1992년 7월 23일-8월 6일 구간의 평균은  $-209 \text{ W/m}^2$ 이나 되어 대단히 많은 양의 열이 운반열의 형태로 특량단에서 외양으로 운반되어 나갔다고 분석된다. 이와는 달리 1993년 하계의 평균은  $-70 \text{ W/m}^2$ 으로 나타나는데, 이는 1993년 하계의 저온다우형 이상 기상으로 인한 태양복사열의 감소로 대기로부터 해양으로 들어오는 순열속의 값이 적었다는 것을 말해준다. 한편, 동계의 해양열운반량은  $16 \text{ W/m}^2$ 으로 다른 계절과는 반대로 양(+)의 값을 나타내는데, 이는 동계 기간 동안에는 해양열운반량이 외양으로부터 특량만으로 유입되고 있음을 나타낸다.

### 5. 요약 및 결론

특량단의 열수지를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 해양과 대기간의 에너지 교환의 수지를 나타내는 순열속은, 춘계( $111 \text{ W/m}^2$ )와 하계( $121 \text{ W/m}^2$ )에는 양의 값을 나타내고 추계( $-15 \text{ W/m}^2$ )와 동계( $-31 \text{ W/m}^2$ )에는 음의 값을 나타내었다.

둘째, 득량만과 외해간의 해양열운반량을 열수지 해석으로부터 추정해 본 결과, 동계에는 외해에서 득량만으로 열이 유입되고(그 양은 약  $16 \text{ W/m}^2$ 으로 적었다), 그 외의 계절에는 득량만에서 외해로 열이 유출되고 있었다.

셋째, 해양열저장률은 춘·하계( $63 \text{ W/m}^2$ ,  $20 \text{ W/m}^2$ )에는 양의 값, 추·동계( $-75 \text{ W/m}^2$ ,  $-15 \text{ W/m}^2$ )에는 음의 값을 나타내어 득량만에서의 해양열저장률의 변동이 해양열운반량(부호는 반대) 및 순열속과 같은 위상 변화를 보였다.

이상으로부터 득량만의 계절별 수온 변동은 외해와의 열의 유출입에는 거의 영향을 받지 않고, 대기와 해수면 사이의 열교환에 의하여 지배된다는 결론을 유출할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 부경대학교 해양산업개발연구소의 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 도움을 주신 부경대 류청로 교수님과 부산대의 김유근 교수님께 감사사를 드립니다.

#### 참고 문헌

김상우, 1993, 1992-93년의 득량만의 해양학적 특성, 부산수산대학교 해양학과 석사 논문, p.44.  
 김해동, 1995, 제주도 북부 해역의 표면 열수지 해석 (1993년과 1994년 하계의 경우), 한국환경과학회지, 4(3), 197~206.  
 최규정, 1974, 득량만의 피조개 자원량 추정을 위한 예비조사, 한수지, 7(4), 204~208.  
 Asai and Nakamura, 1978, A numerical experiment of air-mass transformation

processes over warmer sea, Part 1; Development of a convectively mixed layer, J. Meteor. Soc. Japan, 56, 424~434 (in Japanese).  
 Han, Y.H., 1970, On the estimation of evaporation and sensible heat transfer in the part of the Yellow Sea in the month of January, J. Meteor. Soc. Kor., 6(2), 83~87.  
 Ishi, T. and Kondo, J., 1993, The seasonal variation of the oceanic heat transport in the East China Sea, Yellow Sea and Sea of Pohai, Tenki, 40, 895~906 (in Japanese).  
 Ishizaki, H. and Saito, M., 1978, On the heat budget in the Seto Inland Sea, 海と空, 54(1), 1~11 (in Japanese).  
 Kondo, J. and Miura, A., 1985, Surface heat budget of the Western Pacific for May 1979, J. Meteor. Soc. Japan, 63(4), 633~646 (in Japanese).  
 Lee, H.C. and An, H.S., 1987, A Study on the heat budget in the south eastern area of the Yellow Sea, J. Oceanol. Soc. Kor., 22(4), 217~227.  
 Lee, H.J. and Bang, I.K. and Kang, Y.Q., 1986, Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the Southeastern Hwanghae, J. Oceanol. Soc. Kor., 21(4), 193~202.  
 Yanagi, T., 1982, Heat budget of Uwajima Bay, 海と空, 58(1), 13~20 (in Japanese).