한국환경과학회지 제6권(제6호), 579~587, 1997
J. of the Korean Environmental Sciences Society

여름철 득량만의 열속과 관련한 성층

최 용 규 · 홍 성 근*
서해수산연구소 군산분소 · *군산대학교 해양생산학과
(1996년 11월 27일 접수)

Stratification related to Heat Flux in Deukryang Bay during Summer

Yong-Kyu Choi and Sung-Kun Hong*
Kunsan Laboratory, West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Agency, Kunsan 573-030, Korea
**Dept. of Marine Science and Production, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea*
(Manuscript received 27 November 1996)

In order to see the stratification related to the heat flux in Deukryang Bay, the oceanographic data on July 12, 1994 and the meteorological data of Kohung and Kwangju meteorological stations were analyzed.

The temperature differences between the sea surface and the near bottom were 1~3℃ on spring tide (July 12, 1994) in Deukryang Bay. The air temperature anomalies were high about 3℃ during summer in 1994. These mean that the tidal mixing was not effective in destroying the stratification due to the sea surface heating by the solar radition, even though it was on spring tide.

The maximum solar radiation was about 600 ly/day, which was the value of the same date of oceanographic observation. The sensible and the latent heat flux which are 0~100 ly/day were not so varied during summer. The absorbed heat flux through the sea surface was mostly lost by the back radiation, which ranges are about 0~-400 ly/day. The dimensionless mixing parameter related to the buoyancy flux was $5\sim150\times10^{-5}$. The efficiency of tidal mixing to destroy the stratification was 0.4~0.6%.

Key words : stratification, tidal mixing, dimensionless mixing parameter

1. 서 론

수괴의 분포 특성에 일차적인 영향을 주는, 조석 및 조류가 강한 연안 해역에서는 조석 주기에 따라서 연직 혼합이나 성층이 발달하게 된다. 성층이 초기에 발달할 때 표면 혼합층은 태양 에너지와 더불어 식물 플랑크톤이 일시적으로 증가하게 된다. 그러나 성층이 일정 시간 동안 지속적으로 유지되는 경우에는 저층의 영양염들이 표층으로 공급되지 못하기 때문에 기초 생산력은 낮아지게 된다(Mann and Lazier, 1991). 따라서 양식장이 산재해 있는 연안역에서의 성층과 혼합 현상은 연안 해역의 기초 생산과 관련하여 중요한 문제라고 할 수 있다.

연안역에서의 성층과 혼합은 태양에너지, 조석에너지 그리고 바람에너지 등에 의해서 지배

된다(Simpson and Hunter, 1974). 이러한 에너지들의 관계에 의해서 성층역과 혼합역을 구분할 수 있으며(Simpson and Bowers, 1981), 또한 성층역과 혼합역의 경계가 되는 조석 전선의 위치는 거의 일정하다(Bowers and Simpson, 1987). 이와 관련하여 Lee (1994)는 각 에너지들의 정량적인 관계를 이용하여 득량만에서의 성층과 혼합 현상이 조석 주기에 따라서 발생되고 있음을 보였고, 최용규 외(1995)는 득량만에서의 수괴의 수평적 분포상 역시 조석 주기에 따라서 변하고 있음을 보고하였다. 이처럼 조석에 의한 혼합은 만내의 수괴의 분포나 해수 유동에 중요하게 작용하는 인자라고 할 수 있다.

한편, 득량만은 우리나라 키조개 생산량의 대부분을 차지하고 있고, 겨울에는 김양식장으로도 이용되고 있는 중요한 어장인 까닭에 근래에 많은 연구가 이루어 졌다. 김상우 외 (1995)는 기상이 만내의 수온과 염분 분포에 영향을 주고 있음을 보고하였고, 이재철 외 (1995)는 득량만의 유동의 역학적 에너지중 약 90%가 반일주조에 집중되어 있음을 밝혔다. 또한 이병걸 외(1995)는 대조기때의 득량만의 조류에너지는 태풍 통과시의 바람에너지와 거의 유사함을 나타내었다. 조석 주기에 따라서 만내의 해양 환경이 변하는 득량만이, 최근에는 갯펄 보존 지역으로 선정되어 한층 연구가 활발해 질 전망이다.

본 연구는 여름철 태풍과 같은 강한 바람에너지가 작용하지 않을 때의 조석 혼합은, 해면을 통한 태양에너지에 의해서만 조석 혼합 정도가 결정될 수 있다고 생각되어, 바람이 없고 혹서와 갈수시에 성층역과 혼합역을 구분할 수 있는 지표를 찾고자 하였다. 그 결과, 성층역과 혼합역을 무차원 상수인 혼합 계수로써도 나타낼 수 있음을 보였다.

2. 자료 및 방법

열속과 관련한 여름철 득량만의 성층과 혼합 현상을 보기 위하여, 1994년 7월 12일의 대조기때 관측을 수행하였다. 해양 환경의 관측 조사는 연구 해역의 30여개의 정점에서 (Fig. 1), 전자기 유속계(electromagnetic current meter-12)를 사용하여 해면에서부터 거의 해저까지 1m 간격으로 수온, 염분, 밀도등

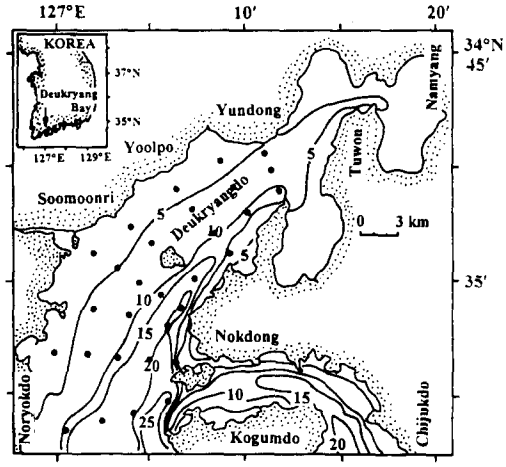

Fig. 1. Bathymetry and observation stations in Deukryang Bay. Numerals denote the depth in meters.

을 연속적으로 관측하여 얻어진 자료를 이용하였다. 기상과 관련한 열속을 추정하기 위하여 득량만에 가장 인접해 있는 고흥 기상대의 기상 관측 자료를 이용하였으며, 기상 관측 자료 중에서 태양 복사열만 광주 기상대의 자료를 사용하였다.

이들 자료로부터 태양에너지의 단파 복사량(Q_s), 장파 복사량(Q_b), 잠열속(Q_e) 그리고 현열속(Q_h)을 계산하였으며, 이에 따라 해면의 순열속(Q_{sfc})을 구하였다. 계산에 사용한 경험식은 Yanagi(1982)가 사용한 식에 의하였다. 그 경험식은 다음과 같다.

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

$$Q_s = (1-A)Q_I \quad (2)$$

$$Q_b = S\sigma T_a^4(0.39-0.058\sqrt{E_a})(1-cC^2) + 4S\sigma T_a^3(T_w - T_a) \quad (3)$$

$$Q_e = 0.622\rho_a L C_E (E_s - E_a)\frac{W}{P} \quad (4)$$

$$Q_h = \rho_a C_P C_H (T_w - T_a) W \quad (5)$$

여기서 A는 해면 알베도(0.1), Q_I는 입사 단파 복사, S는 해면 방사의 흑체 방사에 대한 비(0.95), σ는 스테판-볼쯔만 상수(0.826×10^{-10} ly min^{-1} $°C^{-4}$), T_a와 T_w는 절대 온도로 나타낸 기온과 수온, E_a와 E_s는 대기 증기압과 해면상의 포화 증기압, c는 위도에 따른 상수(0.65), C는 10단위로 나타낸 운량, W는 풍속, P는 대

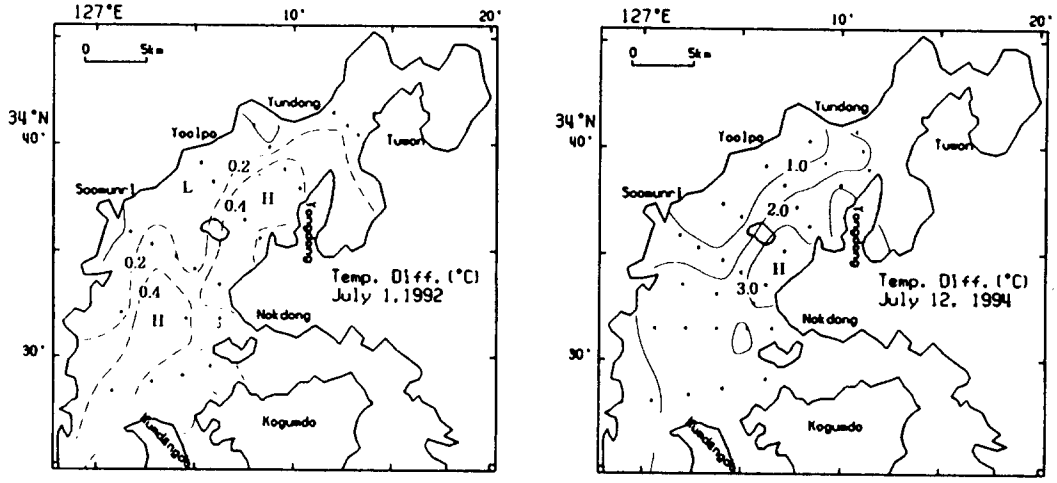

Fig. 2. Temperature differences between the sea surface temperatures and the near bottom temperatures on July 1, 1992 (left) and July 12, 1994 (right).

기압, ρ_a는 공기 밀도(1.25 x 10^{-3} g cm^{-3}), L은 증발 잠열(586 cal g^{-1}), C_E는 잠열 수송 계수(1.1 x 10^{-3}), C_P는 정압 비열(0.24 cal g^{-1} ℃$^{-1}$), 그리고 C_H는 현열 수송 계수(1.1 x 10^{-3})이다.

조석과 관련된 혼합의 정도를 보기 위하여 Garrett et al.(1978)의 혼합 계수를 추정하였다. 여기서 혼합 계수의 추정에 사용되는 주태음반일주조(M_2)의 조류 진폭을 얻기 위하여, Yanagi and Yoshikawa(1983)의 2차원 조류 모델을 이용하였으며, 그 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t}+(U\cdot\nabla)U+f\mathrm{K}\times U$$

$$=-g\nabla\zeta-\frac{\gamma_b^2 U|U|}{H+\zeta}+\nu\nabla^2 U \qquad (6)$$

$$\frac{\partial\zeta}{\partial t}+\nabla\cdot(H+\zeta)U=0 \qquad (7)$$

여기서 U는 연직 평균한 유속, ∇은 2차원 미분연산자, f는 코리오리 파라메타(8.7x10^{-5} sec^{-1}), K는 연직 단위 벡터, g는 중력가속도(980 cm sec^{-1}), ζ는 평균 해면으로부터의 해면승강, γ_b^2은 해저 마찰 계수(2.6 x 10^{-3}), H는 수심 그리고 ν는 수평 와점성 계수(10^6cm ^{2}sec^{-1})이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 성층과 열속

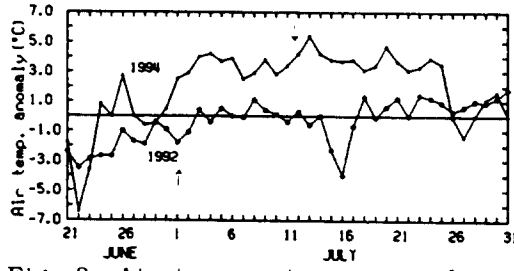

Fig. 3. Air temperature anomaly at Kohung from June 21 to July 31, 1992 (dot line) and 1994 (full line). Arrows denote the observation data.

득량만에서의 대조기때의 성층 정도를 보기 위하여, 1992년 7월 1일과 1994년 7월 12일의 표면 수온과 저층 수온의 각 정점별 차이를 수평 분포도로서 Fig. 2에 나타내었다.

1992년에는 만의 전체 해역에서 표면과 저층 수온의 차이가 약 0.4℃ 이하이다. 조류가 강한 대조기에는 성층이 파괴되는 현상을 보여주고 있다(Lee, 1994; 김상우 외, 1995). 그러나 1994년의 경우, 수심이 5m 이천으로 얕은 만의 서쪽 해역은 표면 수온과 저층 수온의 차이가 약 1℃ 이하이지만, 수심이 10m 이심으로 깊은 만의 동쪽 해역은 약 3℃ 이상의 수온 차이가 나타난다. 같은 대조기인데도 1992년 여름과 1994년 여름의 성층 정도는 약 0.8~1.6℃의 수온 차이를 보이고 있다. 즉, 1994년

관측일이 대조기인데도 조류에 의해서 성층이 파괴되지 않고 발달되어 있음을 나타내고 있다. 이것은 해면을 통한 태양에너지에 의한 성층 현상이라고 생각되어 1992년과 1994년의 기온을 살펴보았다.

성층과 기온과의 관련성을 보기 위해서, 득량만의 바로 동쪽에 위치한 고흥 기상대의 자료로서, 관측 전후의 기간인 6월 21일부터 7월 31일까지의 기온 편차를 Fig. 3에 나타내어 보았다. 1992년의 관측일(7월 1일)에는 약 -2℃의 음의 편차를 보이며, 1994년의 관측일(7월 12일)에는 약 4℃의 양의 편차를 나타내고 있다. 또한 1994년도에는 관측일을 전후하여 약 3℃ 이상의 양의 편차를 보이고 있다. 이 시기의 바람은 약 1.0m/s(1992년 7월 1일)와 약 1.1m/s(1992년 7월 12일)로서 바람에너지에 의한 혼합은 거의 같다고 할 수 있다. 이와 같이 1994년 여름철의 경우, 성층을 일으키는 방향으로 작용하는 해면을 통한 태양에너지가, 혼합을 일으키는 방향으로 작용하는 조석에너지보다도 훨씬 커다고 할 수 있다. 최용규 외(1995)는 1994년 여름철의 득량만의 해역이

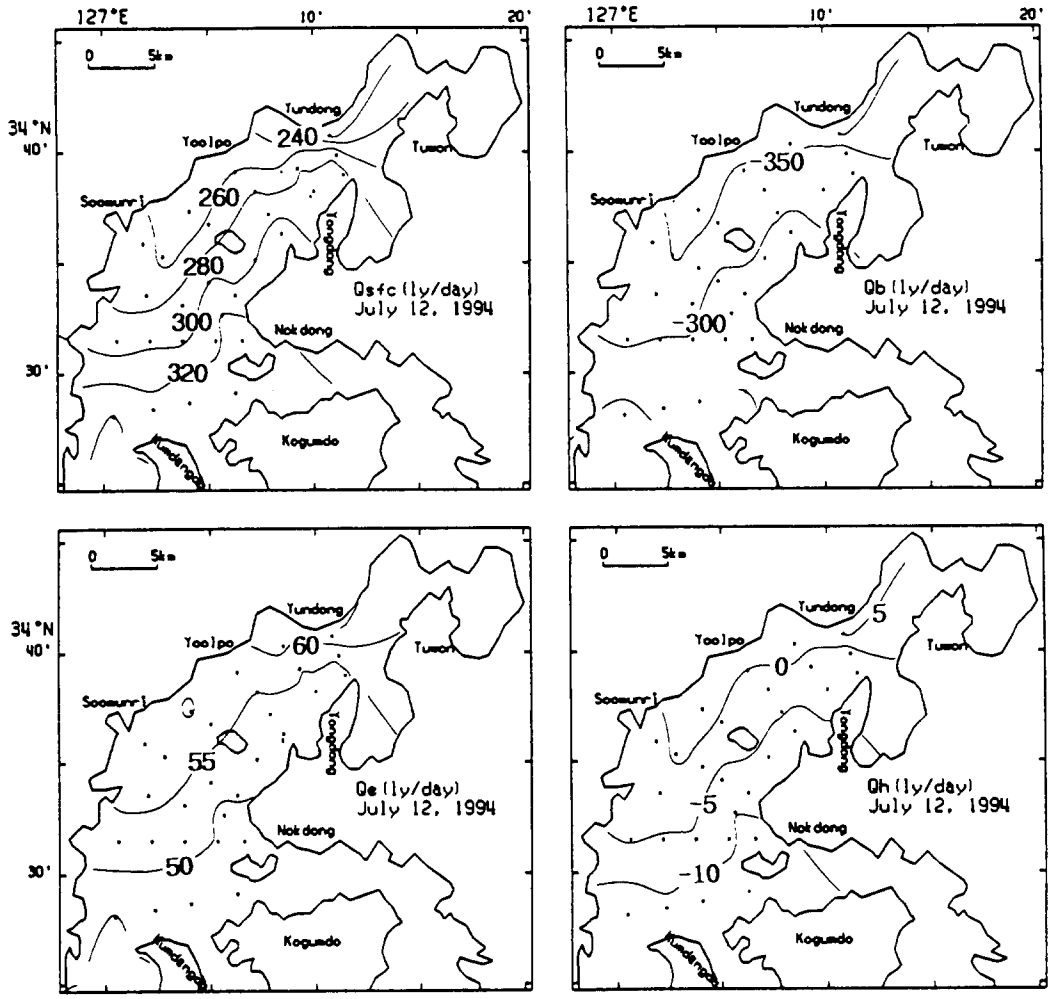

Fig. 4. Horizontal distributions of net heat flux (upper left), long-wave radiation (upper right), latent heat transfer (lower left) and sensible heat transfer (lower right) on July 12, 1994.

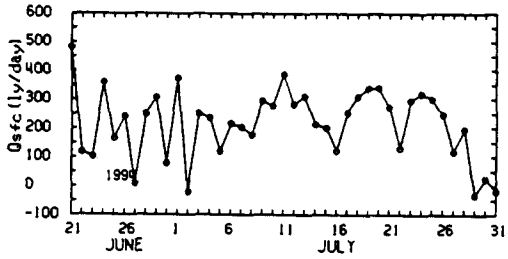

Fig. 5. Temporal variations of net heat flux from June 21 to July 31, 1994 in Deukryang Bay.

이상 고온 및 갈수기였음을 보고하였다. 또한 김상우 외(1995)는 만내의 해양 환경은 기상에 의해서 많은 영향을 받는다고 하였다. 따라서 이 기간의 태양 복사열에 의한 득량만 해역의 해면을 통한 대기와의 상호 작용을 보기 위하여 열속을 계산해 보았다.

Fig. 4는 해면을 통한 열수지를 보기 위하여, 해면의 순열속(Q_{sfc}), 장파 복사량(Q_b), 잠열속(Q_e) 그리고 현열속(Q_h)을 각각 나타낸 것이다. 득량만에서의 순열속은 약 240~320 ly/day의 범위이며, 해양의 에너지 손실을 나타내는 장파 복사는 -300~-350 ly/day의 범위이다. 바람이나 증기압에 의해 지배되는 잠열속은 약 50~60 ly/day이며, 수온과 기온의 차이에 의해 지배되는 현열속은 -10~5 ly/day이다. 이러한 값들의 분포는 수심이 얕은 서쪽과 수심이 깊은 동쪽 해역이 각각 값의 차이를 보이며 동서 대비를 나타내고 있다.

그러면 관측 기간을 전후한 열수지는 어떠한가를 보기 위하여, 1994년 6월 21일부터 7월 31일까지의 순열속의 일변화를 Fig. 5에, 그리고 열속의 각 항들을 Fig. 6에 각각 나타내었다. 관측 기간을 전후한 순열속은 약 0에서 500 ly/day의 일변화를 보이고 있다. 관측 기간인 7월 12일을 전후한 2~3일간은 약 300 ly/day 이상의 순열속을 나타낸다. 관측 기간 중에는 득량만의 수괴가 해면을 통해서 열을 획득하고 있었음을 알 수 있다. 이에 따른 각 열속의 일변화를 보면(Fig. 6), 태양 에너지의 단파 복사량(Q_s)이 6월 중순경 부터 점차 증가하는 경향을 보이며, 관측 기간인 7월 12일에 약 600 ly/day로 최고치를 보이고 있다. 장파 복사량은 단파 복사량과는 반대로 감소하는 경향을 보이며 관측 기간인 7월 12일에는 약 -350 ly/day를 나타낸다. 잠열속과 현열속은 거의 차이를 보이지 않고 있어, 득량만에서 흡수되는 대부분의 태양 에너지가 장파 복사로써 잃어버리고 있음을 알 수 있다.

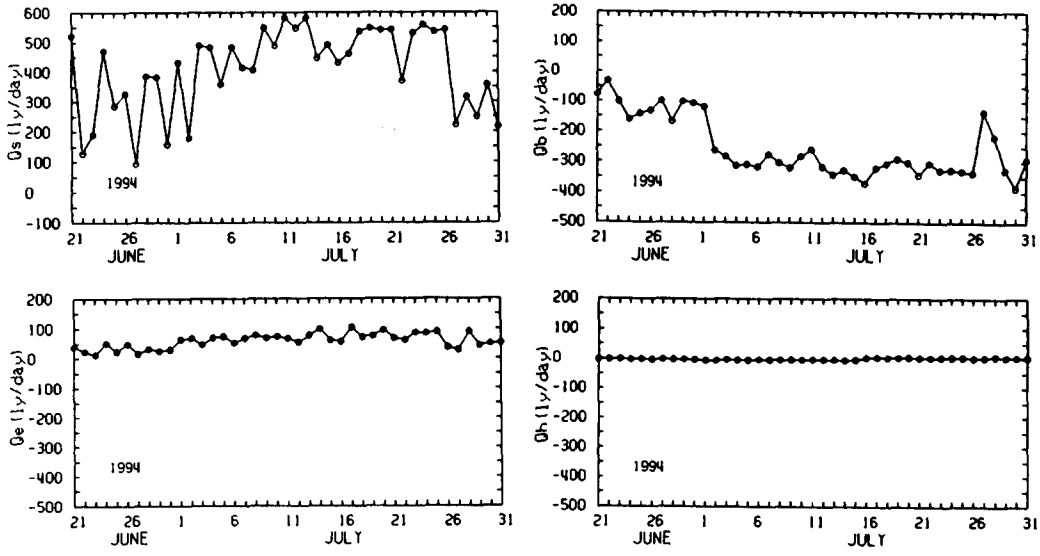

Fig. 6. Temporal variations of short-wave radiation (upper left), long-wave radiation (upper right), latent heat transfer (lower left) and sensible heat transfer (lower right) from June 21 to July 31, 1994 in Deukryang Bay.

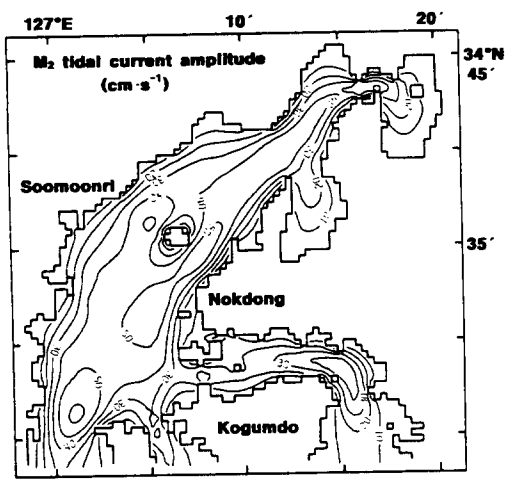

Fig. 7. Calculated M_2 tidal current amplitude in cm · s^{-1}.

3.2 조석 혼합과 소산(dissipation)

혼합 계수에 사용되는 주태음반일주조의 조류 진폭을 보기 위해서 식(6)과 식(7)에 의해서 득량만에서의 수치 계산된 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 폭이 좁은 해협역과 수심이 깊은 만의 동쪽 해역에서 조류의 진폭이 약 50 cms^{-1}로 비교적 크게 나타난다. 이러한 조류 진폭의 분포는 Lee(1994)가 계산한 것과 유사한 분포상을 보이고 있다.

조류가 강한 연안에서 혼합역과 성층역을 구분하는 일반적인 계수는 Simpson and Hunter(1974)가 수심에 대한 주태음반일주조의 조류 진폭의 비로서 계산한 $\log_{10}(H/U^3)$값이라고 할 수 있다. 해역에 따라서 그 값의 차이가 있지만 대체로 H/U^3의 값이 50~500m^2s^3 정도인 곳을 조석 전선으로 하여, 혼합역과 성층역을 구분하고 있다. 그러나 Garrett et al.(1978)은 성층과 조석 혼합을 설명하면서, 열속이 포함된 무차원 상수인 혼합 계수를 사용하였는데, 혼합 계수 $S=BH/U^3$이며, B는 부력속(buoyancy flux)으로서 $B=\alpha g Q(\rho C_p)^{-1}$이다. 여기서 α는 해수의 열팽창계수(1.7×10^{-4}℃$^{-1}$), g는 중력가속도(980ms^{-2}), Q는 순열속, ρ는 해수의 밀도, C_p는 비열(4000Jkg℃$^{-1}$)이며, 차원은 m^2s^{-3} 이다.

득량만에서 열속과 관련한 조석 혼합을 보기 위해서 Garrett et al.(1978)의 혼합 계수를 계산하기에 앞서, 관측 기간의 득량만의 부력속을 Fig. 8에 나타내었다. 부력속은 약 44~56x$10^{-8}m^2s^{-3}$의 범위이며, 그 등치선의 분포는 Fig. 4의 각각의 열속항들의 분포와 유사하다. 부력속은 그 값이 증가하는 쪽으로 성층이 발달하며 또한 부력속은 순열속과 해수의 밀도에 관계된다. 따라서 수심이 얕은 만의 서쪽 해역에서 작은 값을 나타내는 것은, 순열속의 값이 작기 때문이며, 수심이 얕은 만의 서쪽 해역보다는 수심이 깊은 만의 동쪽 해역에서 성층이 발달하고 있음을 짐작할 수 있다.

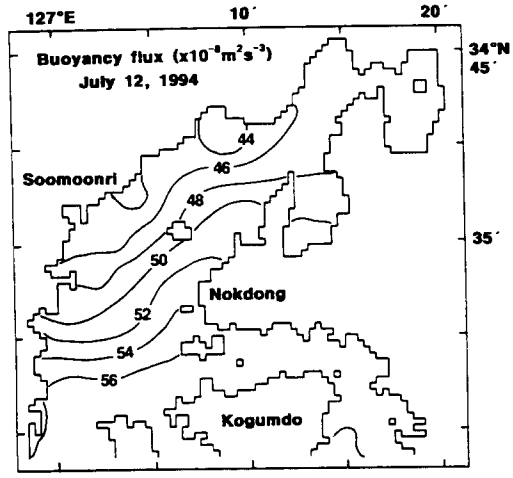

Fig. 8. Buoyancy flux on July 12, 1994.

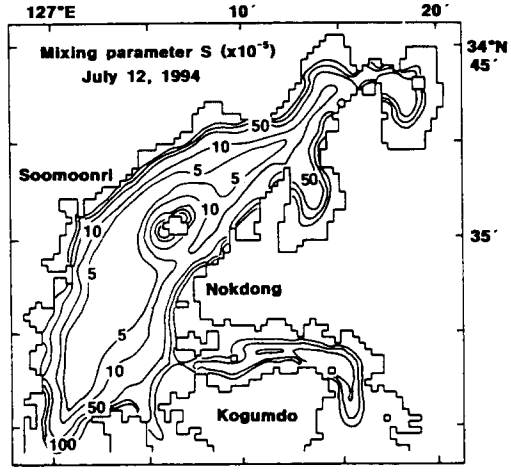

Fig. 9. Dimensionless mixing parameter S on July 12, 1994.

Fig. 9는 위에서 계산된 부력속에 의한 혼합 계수 S의 분포를 나타낸 것이다. 혼합 계수는 그 값이 작을수록 성층이 발달하고 있음을 나

Table 1. Values of the efficiency of tidal mixing induced by heat flux.

	Deukryang Bay	Bungo Channel	Gulf of California
Latitude	34°N	33°N	29°N
Q ($cal \cdot m^{-2}s^{-1}$)	35	50	59
H/U^3 ($m^{-2}s^3$)	125~158	300	562~1,000
ε (%)	0.4~0.6	1.5	1.3~4.1

타낸다. 계산된 혼합 계수는 약 5~150x10^{-5}의 범위로, 대체로 만의 중앙역에서 5~10x10^{-5}의 낮은 값이 넓게 나타나고 있다. 그리고 해안선을 따라서 약 50x10^{-5}의 값이 분포하고 있다. 최용규 외(1995)가 득량만에서 추정한 성층 계수 2.1~2.2의 값의 분포는 본 연구에서 약 10~50x10^{-5}인 혼합 계수의 값의 분포와 유사한 형태를 보이고 있다. 따라서 해안선 가까이에서 조류에 의한 혼합이 이루어 지고 있다고 할 수 있다. 그러면 열속에 의한 조석 혼합율(efficiency of tidal mixing)은 어떠한가를 보기 위하여 혼합율을 계산하여 다른 해역과 비교하여 Table 1에 나타내었다. 여기서 조석 혼합율은

$$\varepsilon = (\frac{H}{U^3})_{crit} \cdot \frac{3\pi\alpha g Q}{8k\rho c}$$

으로 α=1.7x10-3m℃$^{-1}$, g=9.8ms^{-2}, Q=35calm^{-2}s^{-1}, k=2.0x10^{-3}, ρ=1023gm^{-3}, c=0.95calg^{-1}℃$^{-1}$로 하였다. 득량만에서 해저 마찰에 의해 잃어 버리는 전체 조류 에너지중에서 약 0.4~0.6%만이 성층을 파괴하는데 사용된다. 또한 조석 혼합율 0.4~0.6%는 일본의 붕고(Bungo) 해협의 1.5%(柳 · 大庭, 1985)나 미국의 캘리포니아만의 1.3~4.1%(Argote et al., 1995)에 비해서 작은 값이며, 미국의 펀디만(Fundy Bay)의 0.26%(Garrett et al., 1978)나, 영국의 이리시해(Irish Sea)의 0.37%(Shimpson and Bower, 1981)와는 비슷한 값이다. 값이 작은 이유는 득량만에서의 $(H/U^3)_{crit}$의 값(최용규 외, 1995)이 붕고 해협이나 캘리포니아만에 비해서 작기 때문이라 생각된다. 또한 이 값은 Lee(1994)가 득량만에서 추정한 1.5% 보다도 낮은 값이다. Lee (1995)는 조석 혼합율(ε)을 바람과 관련하여 추정하였다. 그러나 태풍과 같은 강한 바람을 제외하고는, 여름철에는 바람의 영향을 배제할 수 있다고 사료되지만, 조석 혼합율(ε) 값의 차이에 대해서 앞으로 더 연구가 필요하다고 생각된다.

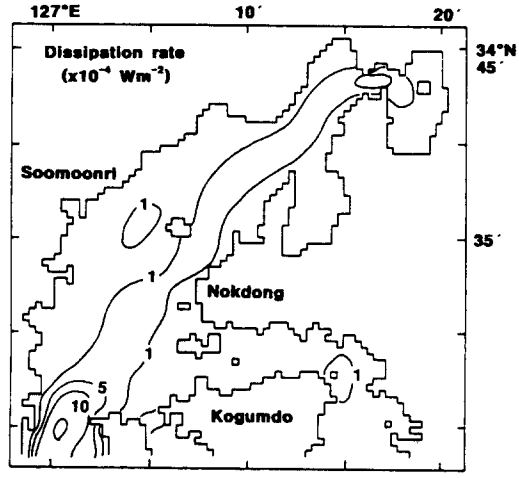

Fig. 10. Dissipation rate of M_2 energy in watts per square meter.

Fig. 10은 해저 마찰에 의한 주태음반일주조의 소산율(dissipation rate)을 나타낸 것이다. 여기서 소산율 D는 Garrett et al.(1978)과 Argote et al.(1995)이 사용한 식을 이용하여 계산하였다. 즉, $D=\rho\gamma_b |U|^3$ 으로, ρ는 해수의 밀도, γ_b는 해저 마찰 계수, U는 연직 평균한 주태음반일주조의 유속이다. 수심이 약 10m 이심으로 깊은 만의 동쪽 해역에서 약 1x10^{-4}Wm^{-2}의 값이 나타나며, 또한 남쪽의 해협역에서 5x10^{-4}Wm^{-2}의 값이 나타나고 있다. 이러한 분포는 주태음반일주조의 조류 진폭과 유사한 분포상을 보이고 있다. 즉, 조류 진폭이 큰 해역에서 조석에 의한 소산율도 크다는 것을 알 수 있다.

4. 요 약

열속과 관련한 여름철 득량만의 성층 현상을 보기 위하여, 1994년 7월 12일의 대조기때 득량만에서 해양 관측으로 얻어진 자료와, 득량만에 가장 인접해 있는 고흥 기상대의 기상 관측 자료 및 광주 기상대의 태양 복사열의 자료

를 사용하여 분석하였다.

1994년 여름철에는 관측일을 전후하여 약 3℃ 이상의 양의 기온 편차를 보였다. 이러한 기상의 영향으로 대조기때에도 성층이 발달해 있었다. 성층이 발달할 때의 열수지를 보면, 태양 에너지의 단파 복사량(Q_s)이 6월 중순경부터 점차 증가하는 경향을 보이며, 관측 기간인 7월 12일에 약 600 ly/day로 최고치를 나타내었다. 장파 복사량은 단파 복사량과는 반대로 감소하는 경향을 보이며 관측 기간인 7월 12일에는 약 -350 ly/day를 나타내었다. 잠열속과 현열속은 거의 차이를 보이지 않고 있어, 득량만에서 흡수되는 대부분의 태양 에너지가 장파 복사로써 잃어버리고 있었다. 또한 해면을 통한 열속들의 분포상은 수심이 약 5m 이천으로 얕은 만의 서쪽과 수심이 약 10m 이심으로 깊은 만의 동쪽과의 동서 대비를 보이고 있었다.

부력속에 의한 혼합 계수 S(=BH/U^3; B는 부력속, H는 수심, U는 주태음반일주조의 진폭)는 약 5~150x10^{-5}의 범위로, 대체로 만의 중앙역에서 5~10x10^{-5}의 낮은 값이 넓게 나타나고 있었다. 그리고 해안선을 따라서 약 50x10^{-5}의 값이 분포하고 있었다. 득량만에서 추정한 성층 계수 2.1~2.2의 값의 분포(최용규 외, 1995)는 약 10~50x10^{-5}인 혼합 계수의 값의 분포와 유사한 형태를 보이고 있어, 조류에 의한 혼합은 득량만의 연안역 가까이에서 이루어 지고 있음을 시사하고 있었다. 그리고 득량만에서 해저 마찰에 의해 잃어 버리는 전체 조류 에너지중에서 약 0.4~0.6%만이 성층을 파괴하는데 사용되고 있었다.

감사의 글

이 연구는 1995년도 한국과학재단의 공공연구소 및 대학연구인력 연수 지원에 의해서 이루어 졌습니다. 연구에 조언을 해주신 큐슈대학의 T. Yanagi 교수께 감사드립니다.

참 고 문 헌

기상청, 1994, 1996, 기상월보, 1~40.

김상우 · 조규대 · 노홍길 · 이재철 · 김상현 · 신상일, 1995, 1992~1993년 하계 득량만의 수온과 염분의 분포, 한국수산학회지, 28(1), 7~14.

이병걸 · 조규대 · 홍철훈, 1995, 하계 득량만의 연직혼합과 관련된 바람(태풍), 조석, 태양에너지의 영향, 한국어업기술학회지, 31(3), 256~263.

이재철 · 노홍길 · 조규대 · 신상일 · 김상우 · 김상현, 1995, 1992년 하계 득량만 서부해역의 조류 특성, 한국수산학회지, 28(1), 1~6.

최용규 · 조규대 · 이병걸 · 홍철훈, 1995, 수심에 따른 득량만 키조개 어장의 환경 특성, 한국어업기술학회지, 31(2), 127~141.

Argote, M. L., A. Amador and M. F. Lavin, 1995, Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California, J. Geophys. Res., 100(C8), 16103~16118.

Bowers, D. G. and J. H. Simpson, 1987, Mean position of tidal fronts in European-shelf seas, Cont. Shelf. Res., 7(1), 35~44.

Garrett, C. J. R., J. R. Keeley and D. A. Greenberg, 1978, Tidal Mixing versus Thermal Stratification in the Bay of Fundy and Gulf of Maine, Atmosphere-Ocean, 16(4), 403~423.

Lee, B. G., 1994, A Study of Physical Oceanographic Characteristics of Deukryang Bay using Numerical and Analytical Models in Summer, Nat. Fish. Univ. Pusan, Dr. Thesis, 145pp.

Mann, K. H. and J. R. N. Lazier, 1991, Dynamics of Marine Ecosystems-Biological-Physical Interactions in the Oceans, Blackwell Scientific Publication Inc., p.111~112.

Simpson, J. H. and D. Bowers, 1981, Models of stratification and frontal movement in shelf seas, Deep-sea Res., 28(7), 727~738.

Simpson, J. H. and J. R. Hunter, 1974, Fronts in the Irish Sea, Nature, 250, 404~406.

Yanagi, T., 1982, Heat Budget of Uwajima Bay, Umi to Sora, 58(1), 13~20.

Yanagi, T. and K. Yoshikawa, 1983, Gen-

eration Mechanisms of Tidal Residual Circulation, J. Oceanogr. Soc. Japan, 39, 156~166.

柳哲雄 · 大庭哲哉, 1985, 豊後水道のTidal Front, 沿岸海洋研究ノ-ト, 23(1), 19~25.