

하계 득량만의 연직혼합과 관련된 바람(태풍), 조석, 태양에너지의 영향

이병걸* · 조규대 · 홍철훈*

*부산수산대학교 해양산업개발연구소, 부산수산대학교 해양학과
(1995년 6월 25일 접수)

The Effect of Wind(Typhoon), Tide and Solar Radiation for the Water Stratification at Deukryang Bay in Summer, 1992

Byung - Gul LEE*, Kyu - Dae CHO and Chol - Hoon HONG*

*Research Center for Ocean Industrial Development, Dept. of Oceanography
National Fisheries University of Pusan
(Received June 25, 1995)

Abstract

This paper presents the evidence on the considerably strong stratification - destratification(SD) phenomena during spring - neap tidal cycle in summer of 1992 based on the observed temperature, salinity and density data. To find out the main factors causing SD in the bay, we computed the rate of potential energy balance of the surface heat flux, tidal and wind stirring proposed by Simpson and Hunter (1974) and Simpson and Bowders (1981) using observed data. It was found that the energy of the wind stirring was one - order smaller than those of the heat flux and the tidal stirring. It means that the variation of stratification phenomena in the bay mainly depend on tidal stirring and sea surface heating in summer if there was no exceptional strong wind event like a typhoon. Finally, we tested the effects of typhoon on the mixing characteristics of the bay using the example of a empirical typhoon model. It was found that when wind speed is larger than 15m/sec in Deukryang Bay, the wind energy was always larger than the average heating energy baed on emprical typhoon model test. Particularly, typhoon passed on the left side of the bay, strong wind energy happened, which is almost the same as tidal energy of spring tide.

1. 서 론

연안역에서 흐름 및 성층의 변동과 전선 형성에 직접적인 영향을 줄 수 있는 인자로서는 크게 지형, 바람, 조석 및 태양에너지로 나눌 수 있다. 특히 성층 형성이나 전선 형성은 수괴의 연직적인 혼

합정도에 의해서 결정된다. 따라서 이러한 인자들이 수괴의 연직 혼합을 일으키는데 기여하는 에너지의 크기를 비교하여 연구하는 것은 연안역의 제반 물리적인 현상을 규명하는데 중요하다.

이러한 인자들이 수괴의 연직 혼합 또는 성층을 일으키는데 필요한 에너지를 계산하는 방법은 여

러가지가 있을 수 있으나, 가장 대표적인 것은 Simpson and Hunter(1974)가 태양 에너지와 조석 에너지의 관계를 식으로 제시한 것이 가장 대표적인 것이다. 이 식은 그 뒤 Simpson and Bower (1981), Samarasinghe(1989), Elliott and Clake (1991)와 Takeoka *et. al* (1993) 등이 바람 혹은 밀도류에 의한 성층 및 연직 혼합 에너지 변동 효과를 첨가하여 연안역의 전선 형성 및 해류의 상태를 보다 명확히 설명할 수 있는 식으로 확장하여 성공

적으로 응용하였다.

특히 Takeoka *et. al*(1993)는 태양, 조석 및 바람 에너지등을 비교하여 일본의 Bungo channel에서 연안 해역의 수온의 급작스런 변동을 상세히 설명하였다. 그러나 바람 에너지의 경우 이들의 연구는 단지 일반풍에 대한 고려를 하였을 뿐이고, 태풍같이 순간적으로 강한 에너지를 동반하는 경우에 대한 고찰은 행하여 지지 않았다.

본 연구에서는 1992년 하계 득량만(Fig. 1)에서

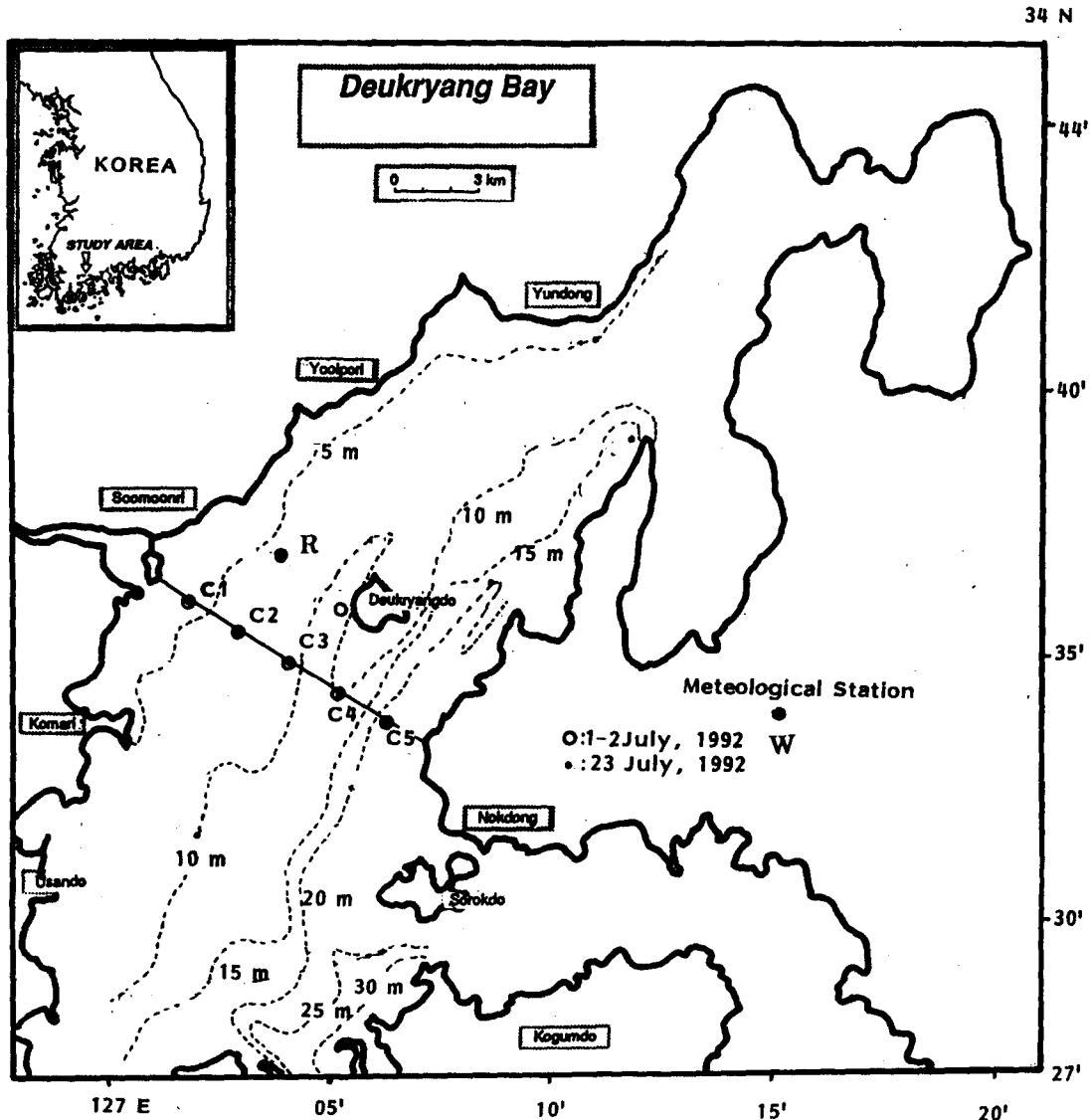


Fig. 1. Location of Deukryang Bay and observation Points in 1 - 2 July and 23 July. R is the mooring point of current. W is wind speed observation.

관측된 수온, 염분, 밀도자료로부터 수괴의 물리적인 성질을 시·공간적으로 파악하고, 이러한 변동에 영향을 주는 인자들을 규명하기 위하여 Takeoka *et. al*(1993)가 제시한 식을 근거로 득량만내에서의 바람, 조석, 태양 복사 에너지의 시간적 변동을 살펴본다. 또한 경험적인 태풍 모델을 이용하여 태풍 통과시의 강한 바람에 의한 갑작스런 에너지의 변동 특성도 규명한다.

2. 관측 자료

하계 득량만의 연직적인 수괴 구조를 파악하기 위하여 수온, 염분, 밀도 자료는 1992년 7월 1~2일(대조기)와 7월 23일(소조기)에 Fig. 1의 C-Line의 관측선을 중심으로 5개의 정점에 대하여 표층에서 저층까지 수심 1m간격으로 수온, 염분, 밀도를 CTD로 관측하였다. 그리고 태양열 및 바

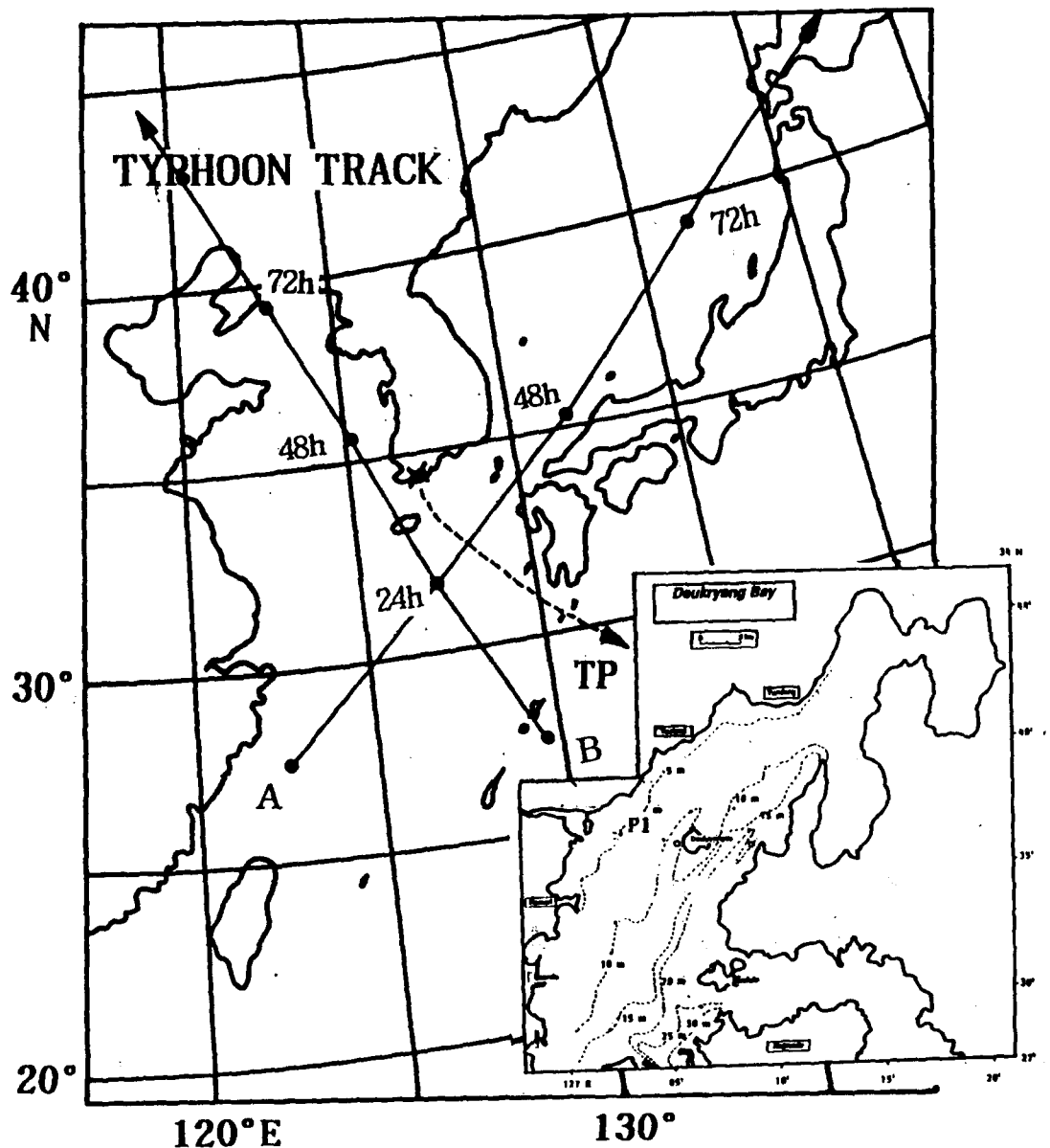


Fig.2. Typhoon tracks(A,B) of numerical model. P1 is numerical sampling position of wind.

람 관측 자료는 1992년 7월의 고흥 기상대의 바람 자료와 광주 기상대의 태양열 자료를 각각 이용하였으며, 해류 관측 자료는 Fig. 1의 R정점에서 1992년 7월 1일 부터 7월 31일까지 1개월 동안 유속계를 계류시켜 유속 관측을 실시하였다.

3. 태풍 모델

태풍에 의한 바람 에너지 변동을 살펴보기 위하여 태풍 통과시 태풍에 의한 기압 분포는 Fujita가 제안한 아래의 태풍 모델을 이용하여 계산하였다

$$P(x, y) = P_{\infty} - \frac{\delta P_a}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad (1)$$

여기서

$P(x, y)$ 는 태풍 중심으로부터의 x, y 만큼 떨어진 지점의 기압,

P_{∞} 는 이론적으로 태풍 중심으로부터의 무한 거리에서의 기압,

r 은 태풍 중심으로부터의 거리,

r_0 는 태풍 중심에서 최대 경도풍이 나타나는 거리로써 150km의 값이 사용되었다.

δP_a 는 임의지점에서 압력 P 와 P_{∞} 와의 기압차이다.

그리고 태풍이 이동해 감에 따라 발생하는 바람은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = C_g W_g(r) + C_b W_b e^{-\alpha r} \quad (2)$$

여기서

C_g, C_b 는 경험 계수로 각각의 값이 0.6과 0.8이 주어졌다.

W_g, W_b 는 경도풍과 일반풍을 각각 나타내고,

α 는 감쇠 계수로 0.0000062가 주어졌다.

그리고 경도풍 W_g 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_g = \frac{rf}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\rho_a r f^2} \frac{\partial P}{\partial r}} \right) \quad (3)$$

여기서 ρ_a 공기의 밀도이다.

태풍의 경로는 Fig. 2와 같이 득량만을 중심으로

우측과 좌측 통과시로 나누어 바람의 변동을 살펴 보았다.

4. 관측 및 태풍 모델의 결과

우선 Fig. 3의 C-line에서 수온, 염분, 밀도의 연직 단면도를 살펴보면, 대조기에 해당하는 7월 1~2일에는 표·저층간의 수온, 염분, 밀도의 연직혼합이 잘 발달되어있는 반면 소조기에 해당하는 7월 23일에는 성층이 잘 발달되어 있음을 알 수 있다. 이러한 대 소조기에 따른 수온, 염분, 밀도의 연직 혼합 및 성층의 변동 원인을 규명해 보기 위해, 관측기간 동안의 열수지(heat flux), 바람 및 해류 관측 자료를 Fig. 4와 같이 나타내었다. 그 결과 바람의 경우 관측 기간 동안 평균적으로 약 2m/sec 이하의 약한 바람으로 관측 기간 동안 큰 변동이 없음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 4에 나타낸 태양복사열은 Gill(1982)이 제시한 식을 이용하여 계산한 결과로 관측 기간 동안 큰 변동이 없음을 알 수 있다. 그러나 조류 관측 결과를 살펴보면, 관측을 처음 실시한 대조기 7월 1일의 경우 유속이 거의 30cm/sec에 달하고 있는 반면 두번째 관측을 실시한 소조기에는 약 10cm/sec이하로 약한 유속을 보여주고 있어 대조기와 소조기의 유속차가 약 3배 정도 임을 알 수 있다. 따라서 득량만의 경우 조석에 의한 에너지 변동이 매우 강함을 알 수 있고, 이에 다른 수괴의 수평 및 연직 구조가 영향을 많이 받을 것으로 사료된다.

Fig. 5는 태풍 모델을 이용하여 태풍이 득량만의 좌측 통과시와 우측 통과시의 바람의 세기를 vector로 나타낸 것이다. 좌측 통과시는 최대 약 15m/sec, 우측 통과시는 약 12m/sec로 좌측통과시가 약 3m/sec 정도로 크게 나타났다. 이러한 태풍 모델에 의한 풍속은 득량만에서 관측된 일반풍에 비하여 약 5배 정도 큼을 알 수 있다.

5. 인자별 에너지

관측에서 나타난 대조기와 소조기때의 수온, 염분, 밀도의 연직 혼합과 성층 변동에 영향을 주는 인자로서 본 연구에서는 태양열, 바람, 그리고 조

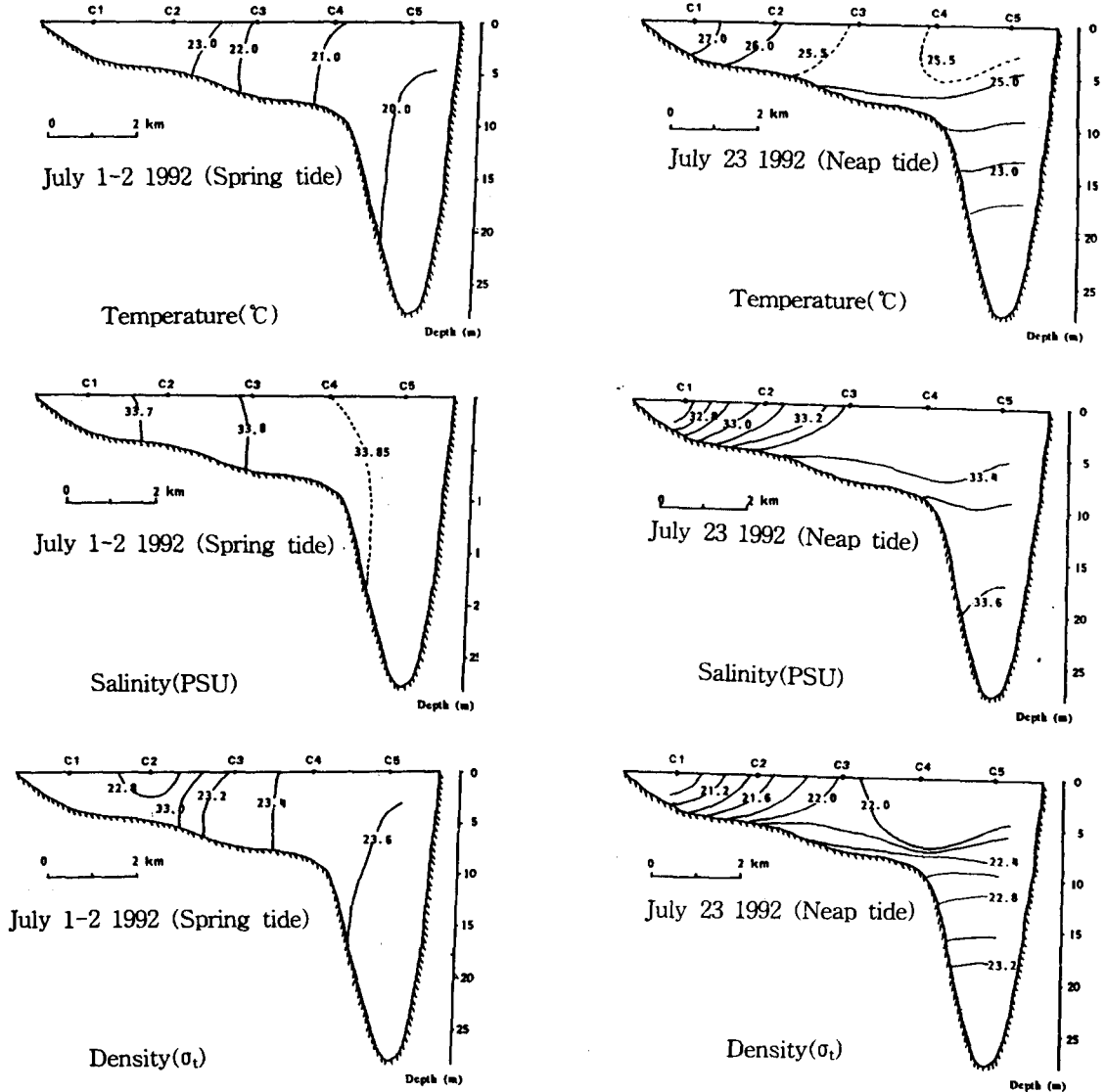


Fig.3. Vertical section of temperature, salinity and density along C - line.

석의 영향으로 가정할 때, 이 인자들이 수괴의 연직혼합에 각각 어느정도 영향을 주었는지를 자세히 알기 위하여 연직 혼합을 일으키는데 필요한 에너지를 어느정도 공급하고 있는가를 정량적으로 평가할 필요가 있다고 생각한다. 본 연구에서는 이러한 평가를 위하여 조석 에너지와 태양 에너지의 계산식은 Simpson and Hunter(1974)의 식을 이용하였고, 바람 에너지를 계산하는 방법은 Simpson and Bowers(1981)의 식을 근거로 각각의 인

자들을 계산하였다.

1) 바람 에너지

Simpson and Bower(1981)에 따르면 바람 에너지가 수괴의 연직 혼합을 일으키는데 영향을 주는 에너지 E는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\frac{dE}{dt} = \delta C_A \rho_a W^3 \quad (4)$$

이들 각각의 계수값은 Table 1에 나타내었다. 식

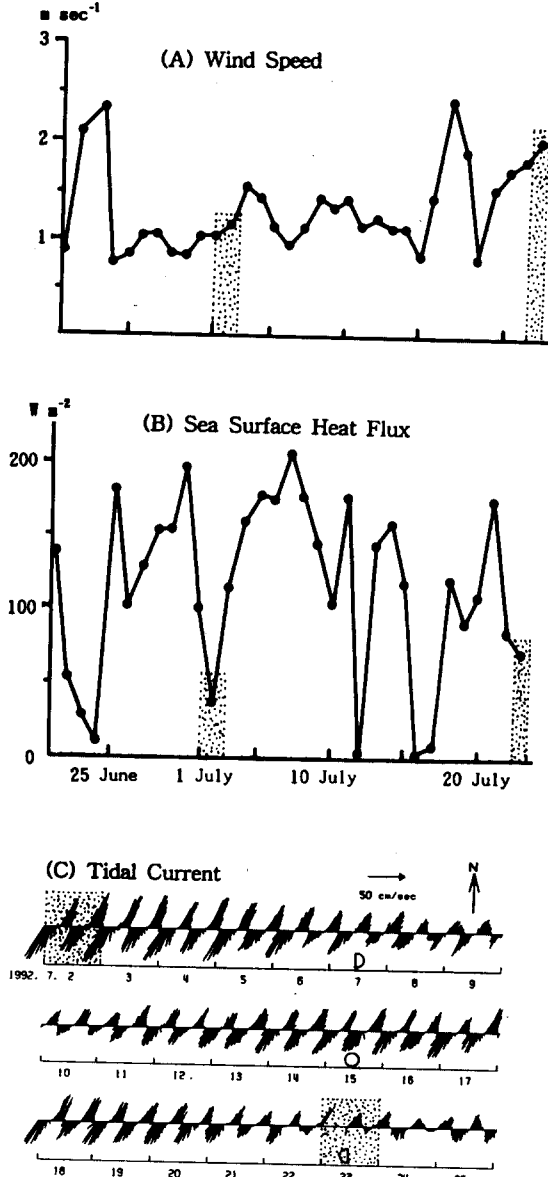


Fig. 4. Time variation of the wind speed, the heat flux through the sea surface and tidal current vector. ※ : Observation periods of hydrographic data.

(4)에 의한 계산 결과는 Fig. 6의 (A)에 나타내었다. 에너지는 관측 전후로 큰 변동이 있지만 대체적으로 10^{-5} 의 크기로 관측 기간 동안 거의 변동하고 있지 않음을 알 수 있다.

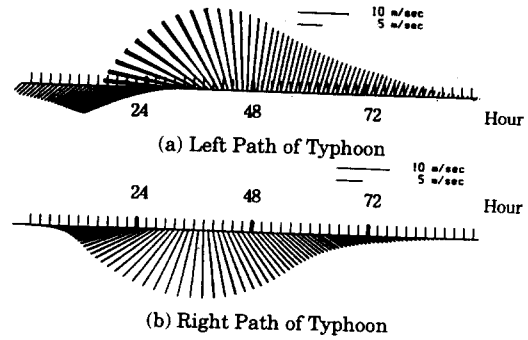


Fig. 5. Time variation of the wind vectors of typhoon model.

2) 태양에너지

태양열에 의한 에너지 변화를 알아보기 위하여 Simpson and Hunter(1974)가 제시한 다음의 식을 이용하였다.

$$\frac{dE}{dt} = \frac{agHQ_s}{2C} \quad (5)$$

이식을 이용하여 에너지를 계산한 결과는 Fig. 6의 (B)에 나타내었다. 태양 에너지의 경우도 관측 기간 동안 거의 큰 변동이 없으나, 그 크기는 대체적으로 10^{-4} 으로 바람 에너지에 비하여 약 10배정도 큼을 알 수 있다. 따라서 관측 기간 동안 태양 에너지에 의하여 발달된 성층은 바람에 의한 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다.

3) 조류 에너지

조류가 수괴의 연직 혼합을 일으키는데 필요한 에너지는 Simpson and Hunter(1974)에 따르면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dE}{dt} = \epsilon C_d \rho_w U^3 \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 계산된 결과를 Fig. 6의 (C)에 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 조석 에너지는 바람 에너지에 비해서는 약 10배정도 크지만 태양에너지와는 거의 비슷한 크기임을 알 수 있다. 그러나 관측을 처음 시작한 7월 1일 대조기의 경우는 조석 에너지가 태양 에너지보다 큰데 비하여 관측을 마지막으로 실시한 7월 23일 소조기의 경우는

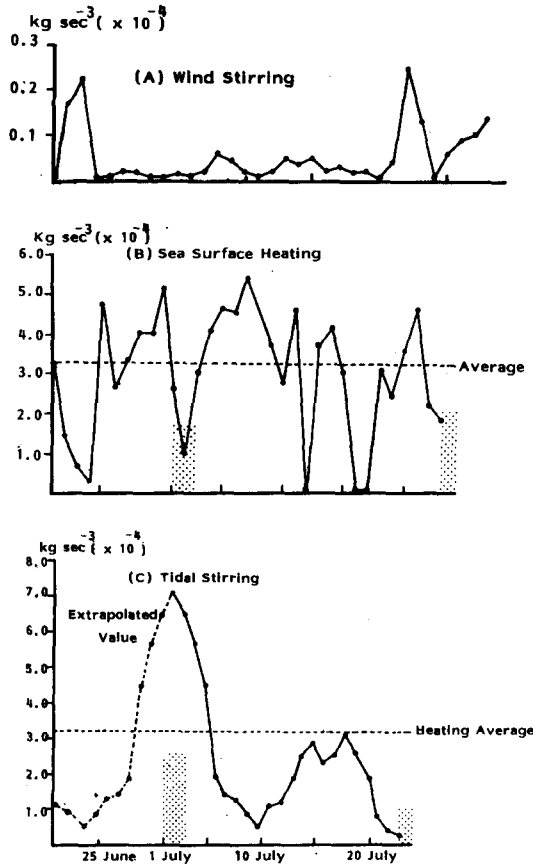


Fig.6. Time variation of the rate of energy of a water column based on Fig.4. \therefore : observation periods of hydrographic data.

태양 에너지보다 적음을 알 수 있다. 즉 대조기때의 조석 에너지가 소조기때의 에너지에 비하여 매우 큼을 알 수 있다. 그리고 대조기의 경우 태양 에너지보다 약2배정도 큼을 알 수 있다. 따라서 하계 득량만의 성층 변동은 조석에 의하여 결정됨을 알 수 있다.

4) 태풍 에너지

식(4)를 이용하여 바람에 의한 에너지의 변화를 살펴본 결과 조석 에너지와 태양 에너지에 비하여 매우 적음을 알 수 있다. 그러나 태풍과 같은 강한 바람이 동반될 경우 바람에 의한 수괴의 연직 혼합이 매우 강할 것으로 사료된다. 따라서 식(4)를 이용하여 Fig. 7에 나타낸 바와같이 득량만을 중심으로 모델 태풍이 우측을 통과할때와 좌측을 통과할

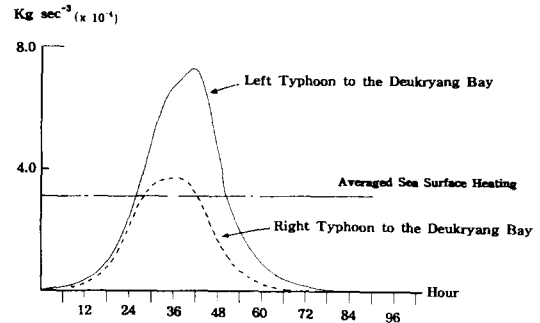


Fig.7. Time variation of the rate of energy of a water column based on Fig.5.

Table 1. List of Constants and Parameters

W : wind speed		data at Kohung Point
u : tidal current amplitude		data at mooring point
w : sea water density	1024kgm ⁻³	
a : air density	1.2kgm ⁻³	
kb : bottom drag coefficient	2.5 × 10 ⁻³	Simpson and Bowers(1981)
kc : bottom drag coefficient	6.4 × 10 ⁻⁵	Simpson and Bowers(1981)
ε : conversion efficiency from the energy loss of the tidal current to vertical tidal mixing energy(potential energy)		Lee(1994)
δ : conversion efficiency from the energy loss of the wind to the vertical mixing energy(potential energy)		Simpson and Bowers(1981)
g : gravitational accerleration	9.8m sec ⁻²	
β : coefficient of saline constraction	7.5 × 10 ⁻⁴	
Q : net heat flux through sea surfcae (positive downward)		
C _A : specific heat of water	3900Jkg ⁻¹ °C	
H : water depth	10m	

때에 득량만 내의 바람에너지의 변동에 관하여 살펴 보았다. 그 결과 태풍이 좌측을 통과할 경우 에너지는 8.0×10^4 로서 대조기때의 조류에너지와 거의 같은 정도의 에너지를 가지는 반면 태풍이 좌측을 통과할때는 4.0×10^4 로서 좌측을 통과할때에 비해서 약 1/2배임을 알 수 있다. 여기서 주목되는 것은 태풍 통과시의 에너지와 조류 에너지가 거의 같은 크기로 작용하는 것이다. 이러한 결과는 Simpson(1981)이 연안역에서 수괴의 연직 혼합에 영향을 주는 조석 에너지의 크기는 태풍 통과시의 에너지와 매우 유사하다는 결과와 잘 일치된다. 따라서 득량만의 수괴의 구조는 조석 주기 및 태풍과 같은 강한 바람에 의하여 상당히 급변할 수 있음을 잘 시사하고 있다.

6. 고 찰

득량만에서 발생하는 수괴의 연직 구조의 변동을 역학적으로 규명하기 위하여 Simpson and Hunter(1974)와 Simpson and Bowers(1981)의 에너지식을 이용하여 수괴의 연직 혼합과 관련된 바람, 태양 그리고 조류 에너지를 계산하여 보았다. 그 결과 바람에너지에 비하여 태양 에너지와 조류에너지가 약 10배정도 큼을 알 수 있었다. 그리고 태양 에너지의 경우 관측 기간 동안 큰 변동이 없는 반면 조류의 경우 대조기와 소조기때의 에너지가 약 10배정도 차이가 남을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼때 하계 득량만의 수괴의 연직 구조변동은 대·소조기 변동에 따른 조류의 세기에 의하여 결정됨을 잘 알 수 있었다.

그리고 태풍에 의한 에너지의 변동을 살펴보기 위하여 Fujita의 경험적인 태풍 모델을 도입하여 태풍이 득량만의 좌측과 우측을 통과할 때의 에너지의 변동을 살펴 보았다. 그 결과 태풍 에너지는 조류 에너지의 크기와 매우 비슷하며 특히 대조기때의 조류 에너지의 크기와 매우 유사함을 알 수 있었다. 여기서 주목되는 것은 득량만에서 연직 혼합을 일으키는 10-15m/sec의 바람 에너지의 크기와 30-40cm/sec 세기의 조류가 가지고 있는 조류에너지의 크기가 매우 비슷함을 알 수 있다. 따

라서 득량만의 경우 조류에 의한 수괴의 연직 혼합의 세기는 태풍 에너지와 거의 비슷함을 알 수 있다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 대조기때의 득량만의 조류 에너지는 거의 태풍 통과시의 바람 에너지와 거의 비슷함을 알 수 있었다. 이러한 연구는 Simpson(1981)의 결과와도 매우 유사하게 나타났다.

7. 사 사

이 연구는 1993년 한국과학재단지정 해양산업 개발연구소의 연구 지원비에 의하여 수행되었다. 그리고 이 논문에 대한 친절한 조언을 아끼지 않은 Ehime Univ.의 Yanagi 교수와 Takeoka 교수에게 감사드립니다.

참고문헌

- 洪鐵勳·尹宗煥(1992) : 對馬海峽の水位變動かに及ぼす颱風の影響について, 海の研究, 1(5), 225-249.
- Simpson, J. H. and J. R. Hunter (1974) : Fronts in Irish Sea. Nature, 250, 404-406.
- Simpson, J. H.(1981) : The shelf sea fronts : implications of their existence and behavior. Philosophical Transactions of Royal Society of London, A 302 : 531-546.
- Simpson, J. H. and D. Bowers(1981) : Models of stratification and frontal movement in shelf seas, Deep Sea Research 28A, 727-738.
- Gill, A. E.(1982) : Atmosphere-Ocean Dynamics, Academic Press, London, 662p.
- Elliott, A. J. and T. Clarke (1991) : Seasonal stratification in the northwest European shelf seas, Continental Shelf Research 11, 467-492.
- Samarasinghe, J. R. de Silva (1989) : Transient salt-wedges in a tidal Gulf : A criterion for their formation, estuarine, Coastal and Shelf Science, 28, 129-148.
- Takeoka, H, Akiyama, H. and T. Kikuchi (1993) : The Kyucho in the Bungo Channel, Japan "Periodic intrusion of oceanic warm water, Journal of Oceanography 49, 369-382.