

석사학위논문

열수지로 본 겨울철 황해난류수의 북상

제주대학교 대학원

해양학과



1993년 12월

열수지로 본 겨울철 황해난류수의 북상

지도교수 방 익 찬

문 재 인

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

1993년 12월

문재인의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

제 주 대 학 교 대 학 원

1993년 12월

**Northward intrusion of Yellow Sea Warm Current
in winter on the viewpoint of heatbudget**

Jae-In Moon

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF NATURAL SCIENCE**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1993. 12.

목 차

List of Figures and Table

Summary	1
I. 서론	2
II. 열수지의 계절변화	6
III. 황해의 열수지와 황해난류수와의 관계	23
IV. 결론 및 토의	30
V. 참고문헌	32
감사의 말씀	



List of Figures and Table

Fig. 1. Schematic distribution of water masses in summer and winter on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea(Afer Kondo, 1985).	3
Fig. 2. Bottom topographic in the Yellow Sea and the oceanographic stations of FRDA and JMA.	5
Fig. 3. The monthly variation of solar radiation Q_s (ly/day).	7
Fig. 4. The horizontal distribution of sea surface temperature in February and August over 1981-1990.	9
Fig. 5. The monthly variations of Cloud amount for 1981-1990.	10
Fig. 6. The horizontal distribution of back radiation Q_b (ly/day) on February and August.	11
Fig. 7. The monthly mean variations of Wind speed(m/s) for 1981-1990	13
Fig. 8. The horizontal distribution of evaporation heat Q_e (ly/day) on February and August.	14
Fig. 9. The monthly variations of mean water temperature(T_w), air temperature(T_a) and the difference temperature($T_w - T_a$) at St.A, St.B, St.C($^{\circ}C$) for 1981-1990.	16
Fig. 10. The horizontal distribution of sensible heat Q_b (ly/day) on	

February and August.	17
Fig. 11. The horizontal distribution of Q_{sfc} (ly/day).	18
Fig. 12. The monthly variations of Heat Flux(ly/day).	20
Fig. 13. The monthly variations of Q_{sfc} (ly/day) along 124°E line for 1981–1990.	22
Fig. 14. The horizontal distribution for difference between December and February of mean sea surface temperature for 1981–1990.	24
Fig. 15. The horizontal distribution of heat flux for difference sea water temperature between December and February.	25
Fig. 16. The horizontal distribution of Q_{sfc} between December and February.	26
Fig. 17. The horizontal distribution of sea surface temperature for difference between calculated February and real February.	28
Table 1. Total heat flux.	27
Table 2. Total heat transport.	29



Summary

The total heat budget has been calculated with the meteorological and oceanographical data in the Yellow Sea and used to clarify the existence of Yellow Sea Warm Current.

In winter, the heat outflow from the sea surface is large in the southern central part of the Yellow Sea and relatively small in the northern part and coastal areas in the Yellow Sea. This is due to the distribution of warm water in the southern central part of the Yellow Sea.

The amounts of heat outflow and inflow range, respectively, $-200 \sim -800$ ly/day in winter and $100 \sim 400$ ly/day in summer. The largest value of inflow is shown in the southwestern coasts of the Korean Peninsula in June and the largest value of outflow is shown in the northwestern sea of Cheju Island in December. By such heat fluxes, sea water temperature get higher in summer and lower in winter, however, the decreasing temperature difference in winter is smaller compared to the total heat outflux through the sea surface.

Between December and February, the total heat outflux from the sea surface is -11×10^{19} cal/cm², while the total heat loss by decreasing temperature -6.5×10^{19} cal/cm². Therefore, the difference of two values is 4.5×10^{19} cal/cm² and must be supplied by advection. The only place to supply warm waters is the southern central Yellow Sea, which means the existence of the Yellow Sea Warm Current. To apply the amount of heat, the estimated speed of Yellow is about 5 cm/sec, if Yellow Sea Warm Water flows into the Yellow Sea with 300km width and 70m depth.

I. 서론

황해는 한반도와 중국대륙으로 둘러싸인 반폐쇄 해역(Enclosed sea)으로 제주도 서안과 양자강 하구를 잇는 선을 경계로 동중국해와 접해 있으며, 황해중앙골을 중심으로한 양향성 대륙붕(Double Shelf)으로 형성된 천해역이다. 이러한 황해의 해수특성에 변화를 줄 수 있는 요인은 여러가지 요인을 들 수가 있으며, 특히 계절변화를 야기시킬 수 있는 요인으로는 계절풍에 의한 해수순환과 동중국해와 접해있으므로 상호 해수교환에 의한 해수특성의 변화, 그리고 대기와 해양간의 열교환 과정을 들 수가 있다. 황해에서의 해수순환은 Uda(1934)에 의해 제시되어진 이래 많은 연구가 선행되어져 왔으며, 그 중 가장 특징적인 현상이라 할 수 있는 것은 황해저층냉수와 황해난류수이다(Fig. 1).

지금까지 황해 해수순환과 수괴의 분포에 대한 뚜렷한 정설은 없으나 황해저층냉수의 남하에 대해서는 많은 연구가 수행되었다(Asaoka and Moriyasu, 1966; Nakao, 1977; 양 등, 1984; Lie, 1984; Park, 1985; 윤, 1986; 윤 등, 1991 등). 그러나 황해난류수에 대해서는 황해로의 유출입이 가능한 역학이 제시되고 있음에도(Park, 1986; Pang, 1987; Hsueh and Pang, 1989; 김, 1990 등) 불구하고, 유입 여부에 대해서는 이견이 있어 현재는 황해난류수의 복상에 대한 긍정적인 견해(Byun and Chang, 1988 등)와 부정적인 견해(Nakao, 1977; Lie, 1985 등)로 제시되어지고 있다. 또한 황해난류의 복상가능성은 제주도 주변 해역과 동중국해에 존재하는 고온고염의 대마난류에 대한 연구에서도 제기되어지고 있다(Park, 1986; Pang, 1987; Byun and Chang, 1988;

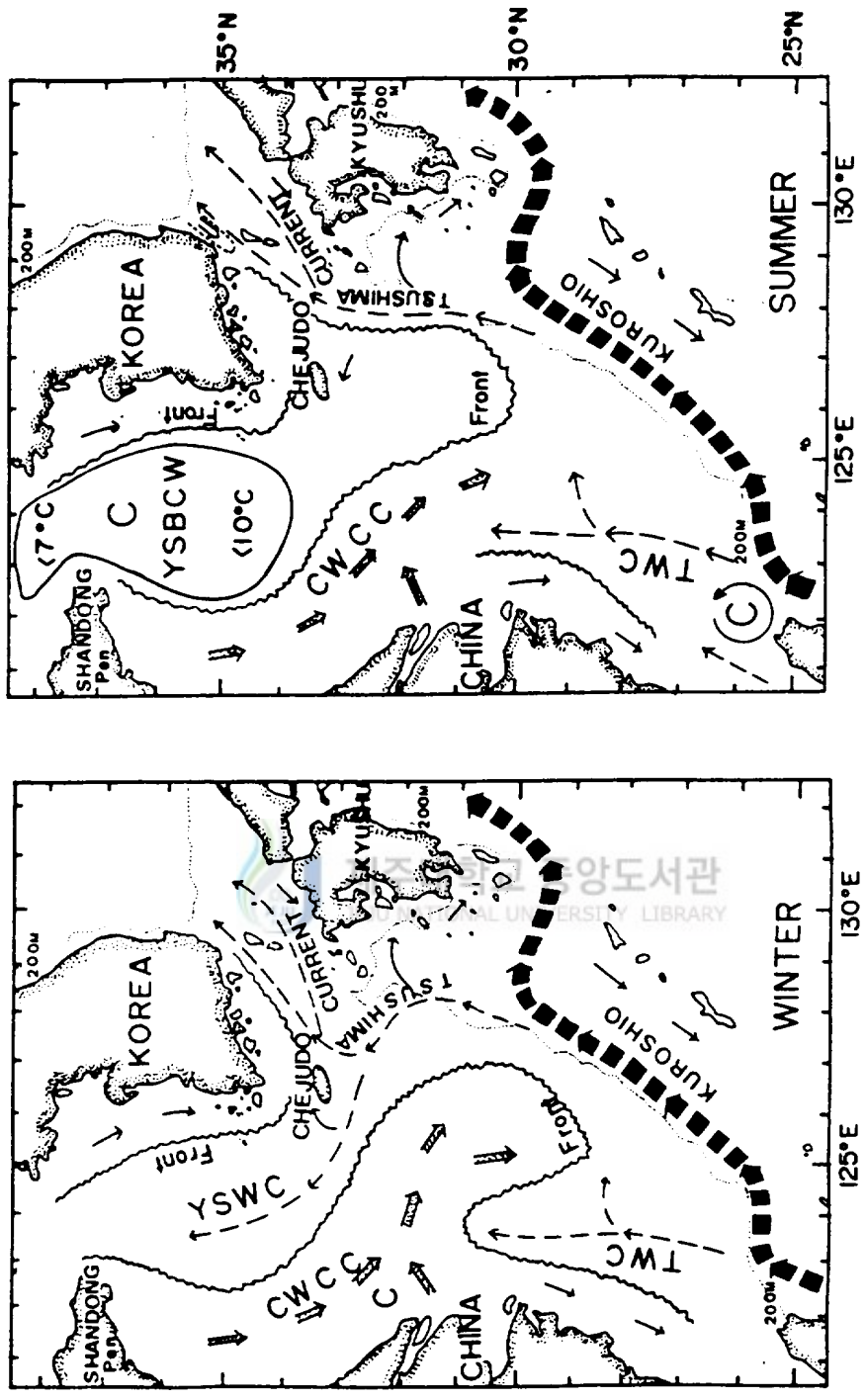


Fig. 1. Schematic distribution of water masses in summer and winter on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea (After Kondo, 1985).

Hsueh and Pang, 1989; 방과 김, 1989, 1990, 1991; Pang etc., 1992 등).

그 중 대기와 해양간의 열교환에 대한 이론적인 연구는 Sverdup(1937)에 의해 시도 되었고, Jacobs(1942, 1951), Haney(1971, 1974), Bunker(1976), and Kondo(1964, 1976), Wyrтки(1965), Manabe(1957), Ninomiya(1968, 1972) 등이 연구하였다. 국내에서는 한(1970, 1972), 민(1974), 봉(1976), 한과 장(1978), 강(1983, 1984, 1985), 김(1991), 이와 안(1987)이 우리나라 주변해역에서 해양의 열수지를 계산하였으나 난류의 복상을 추정하거나 황해냉수와의 관계를 연구하였을 뿐 황해난류와 연관하여 보고되어진 것은 아직 전무한 실정이다. 이러한 현상을 밝히기에는 해상에서의 기상자료의 불확실성과 대부분의 해양관측이 우리나라 연안해역에 국한되어 있어 지금까지 조사 보고된 것은 국지적인 것에 불과하다.

따라서 본 연구는 황해 전 해역에서 열수지식을 이용하여 해수표면을 통한 대기와 해양간의 열수지를 계산하여 황해의 열을 지배하는 요인을 검토하고, 황해의 총 열수지에 의한 황해난류수의 복상을 제시하여 보고자 한다.

본 연구에 사용된 기상자료는 1981년부터 1990년까지 10년간 우리나라 기상청 발행 기상연보와 인쇄일기도에서 황해 연안 기상대의 기온, 중기압, 운량, 일사량, 그리고 풍속자료는 1000hPa 풍속자료를 수집 월평균하여 황해에 그대로 적용하였고, 수온자료는 국립수산진흥원 발행 해양조사연보에서 황해의 정선해양관측자료 중 표층수온자료와 일본 해양기상청 발행 인공위성 자료인 Monthly Weather Report에서 우리나라 관측점외의 황해자료를 위경도 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 간격으로 관측된 값을 사용하였다. Fig. 2는 황해의 해저지형과 연구에 사용된 관측 및 계산된 지점들이다.

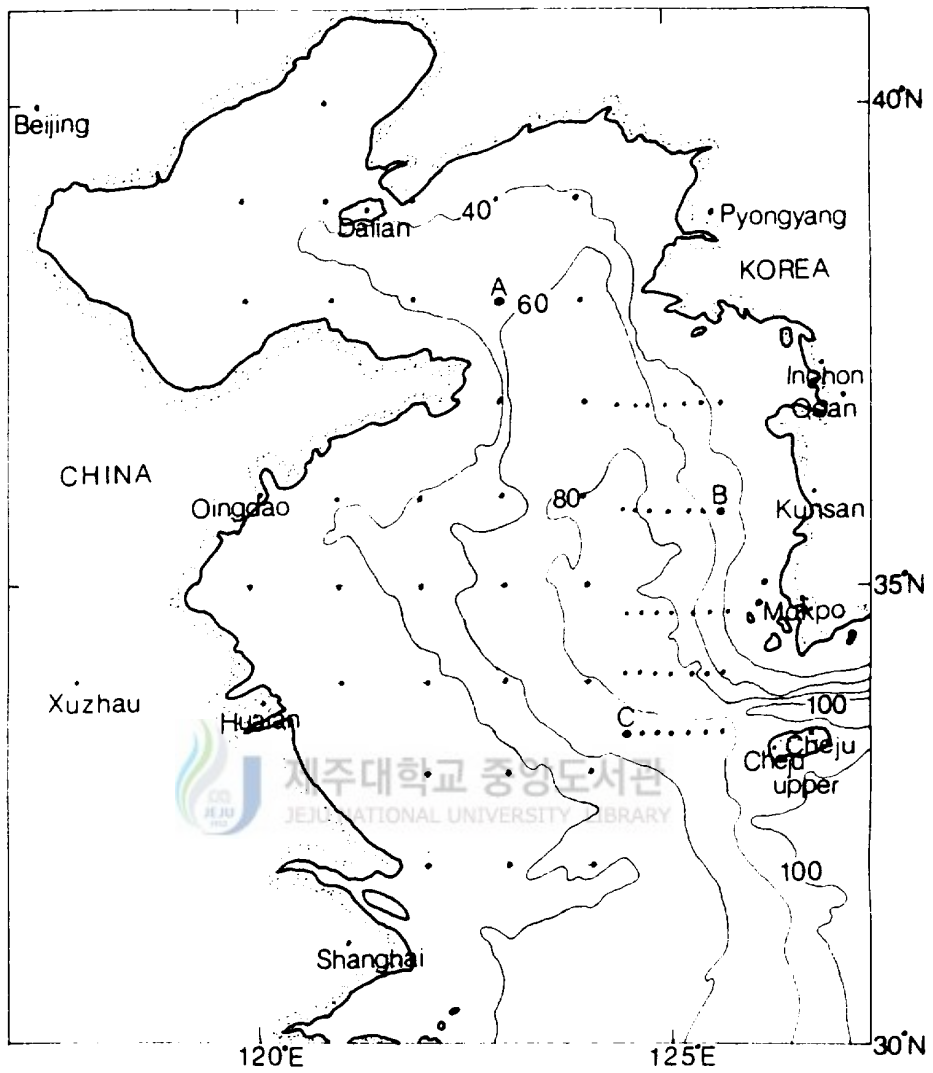


Fig. 2. Bottom topographic in the Yellow Sea and the oceanographic stations of FRDA and JMA.

II. 열수지의 계절변화

해양과 대기가 열적 평형 상태에 있을 때, 해양의 열수지는

$$\begin{aligned} QT &= Q_s + Q_b + Q_e + Q_h + Q_v \\ &= Q_{sfc} + Q_v \end{aligned}$$

로 표현될 수 있다(Pickard and Emery, 1982).

여기서 Q_s 는 해수 표면에 도달하는 태양복사량(Solar radiation), Q_b 는 해면의 장파복사량(Long-wave radiation), Q_e 는 증발열량(Evaporation heat), Q_h 는 현열 방출량(Sensible heat), Q_v 는 해류에 의한 수송열량(Advective heat)이고, Q_{sfc} 는 해수표면을 통하여 대기와 교환되는 열교환량($Q_s - Q_b - Q_e - Q_h$), QT 는 해양의 총 열수지이다. 따라서 해수온도를 좌우하는 열량 QT 는 해수표면을 통하여 대기와 교환되는 열교환량(Q_{sfc})과 해류에 의한 수송열량(Q_v)에 의해 좌우된다. 그러나 만일 해류의 유출입이 없다면, 수온 변화는 태양복사 에너지에 의한 확산에 의해서 변화할 것이다(이와 김, 1989). 그러므로 해수온도가 태양복사열에 의해서만 황해의 수온이 유지된다면 해류에 의한 열수송량(Q_v)는 필요없다. 따라서 해수표면을 통해 방출되는 열량으로 황해내부의 열을 유지할 수 있을지 의문이 생긴다.

해수면에 도달하는 태양복사량 Q_s

해수면에 유입되는 태양복사량은 해상에서 관측된 값이 없으므로 황해 연안 기상대에서 실제 관측된 일사량 값을 사용하였다. Fig. 3은 각 위도별 Q_s 의 월평균 변화로 연중 6월에 최대인 330

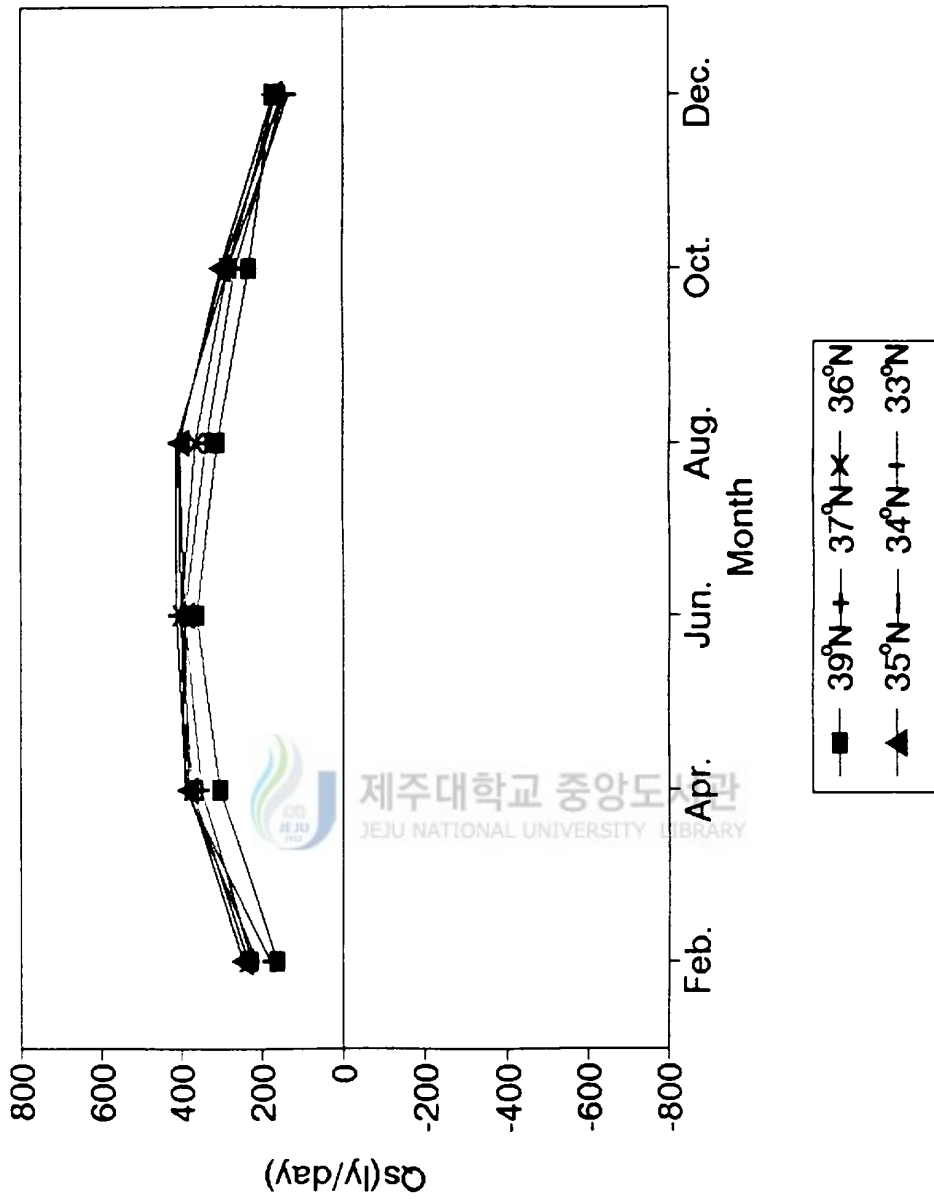


Fig. 3. The monthly variations of solar radiation Q_s (ly/day).

ly/day이고 최소는 12월에 160 ly/day인 계절적 변화를 보이나 위도에 따른 차이는 거의 없다.

해면의 장파복사량 Q_b

해수면에 의한 반사는 해수의 온도가 비교적 낮기 때문에 장파(10 μ)복사를 하게된다. 해면의 장파복사량(Q_b)은 Kraus and Rooth(1961)의 식

$$Q_b = \epsilon \sigma T_w^4 (0.39 - 0.058 E_a^{1/2}) (1 - 0.65 N^2)$$

을 인용하였다. 여기서 ϵ 은 해수표면의 반사율, σ 는Stephan-Boltzmann 상수, T_w 는 해수표면온도(°K), E_a 는 해수면 위 대기의 수증기압(hPa), N 은 운량(1/10)이다. Fig. 4는 평균표면수온의 분포도로 겨울철에 제주 서부해역에서 황해 중앙해역 쪽으로 주변해수에 비해 상대적으로 고온인 해수가 확장하고, 여름철에는 연안해역에 비해 황해 남부해역에서 중앙해역으로 폭넓게 고온인 해수가 분포하고 있다. 평균 운량의 계절변화는 겨울에 0.4-0.5(1/10)이고 여름에는 0.6-0.7(1/10)로서 겨울보다 여름에 구름의 양이 많은 분포를 보여주고 있다(Fig. 5). 구름의 양은 태양으로 부터 입사되는 복사 에너지와 해면의 반사량에 커다란 영향을 미친다(조, 1968).

따라서 해면의 장파 복사량은 표면수온과 대기의 수증기압, 운량에 따라 결정되므로 해면의 장파 복사량 Q_b (Fig. 6)는 황해 전해역에서 겨울철에 120 ly/day ~ 190 ly/day이고, 여름철에는 50 ly/day ~ 150 ly/day정도로 전해역에서 거의 일정하게 분포한다. 이와 같이 겨울철에는 열량 방출이 크게 나타나고, 여름철에는 열량 방출이 적은 계절변화를 보인다.

증발열량 Q_e

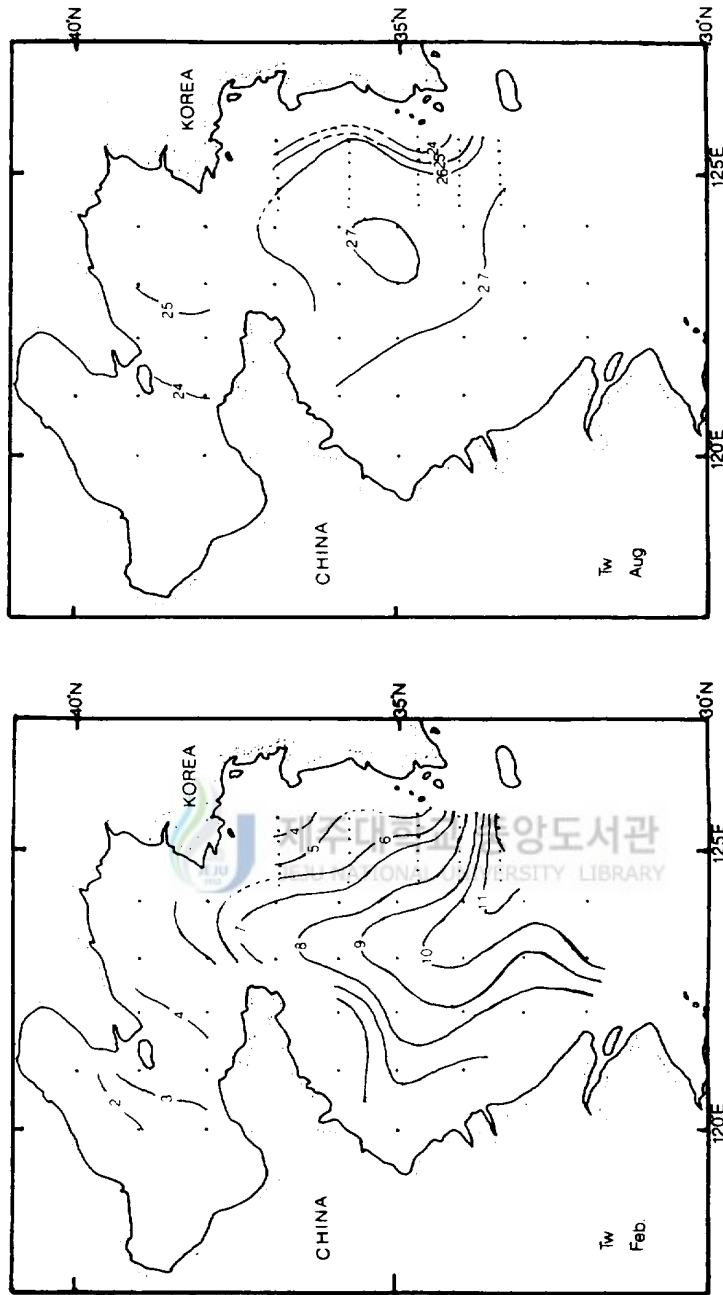


Fig. 4. The horizontal distribution of mean sea surface temperature($^{\circ}$ C) in February and August for 1981-1990.

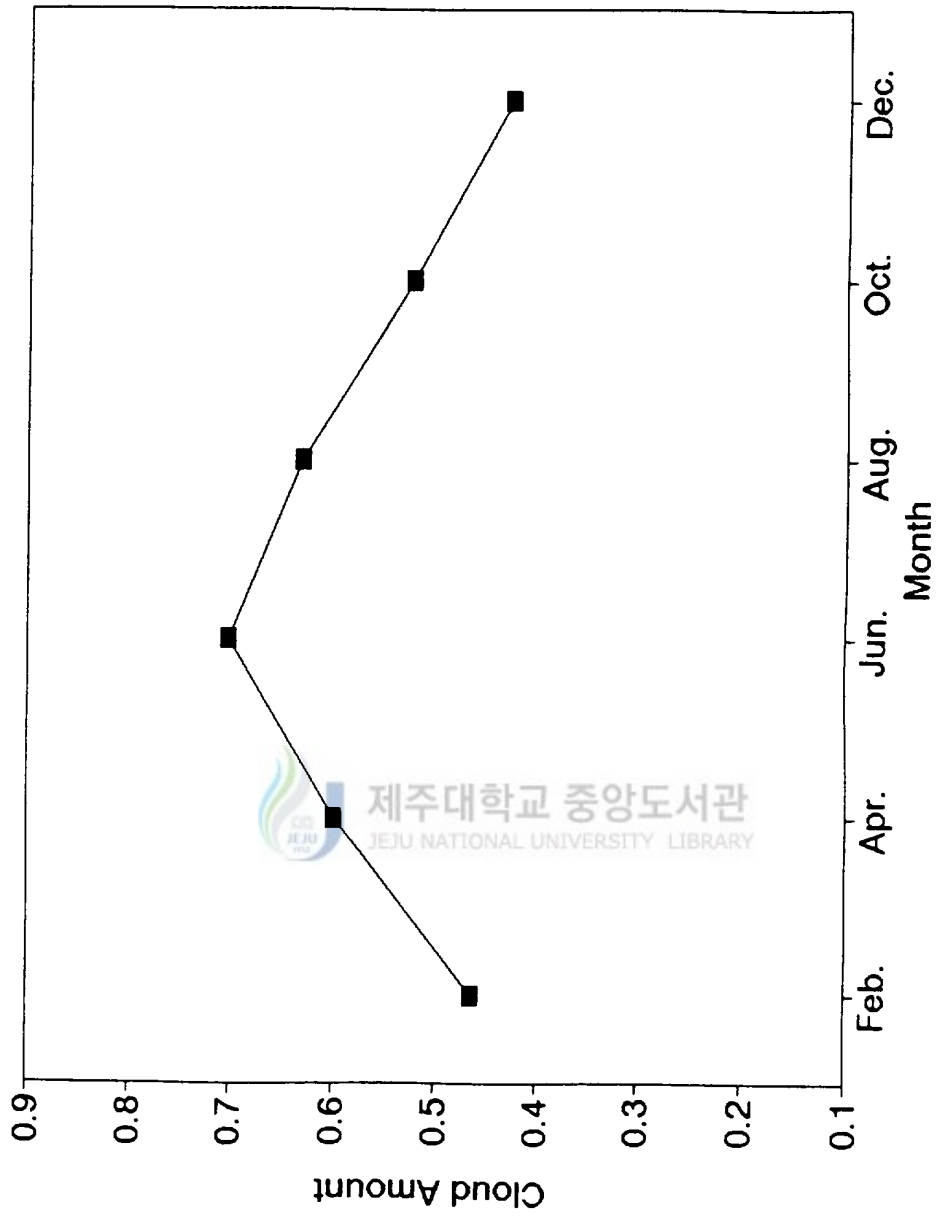


Fig. 5. The monthly variations of Cloud amount for 1981-1990.

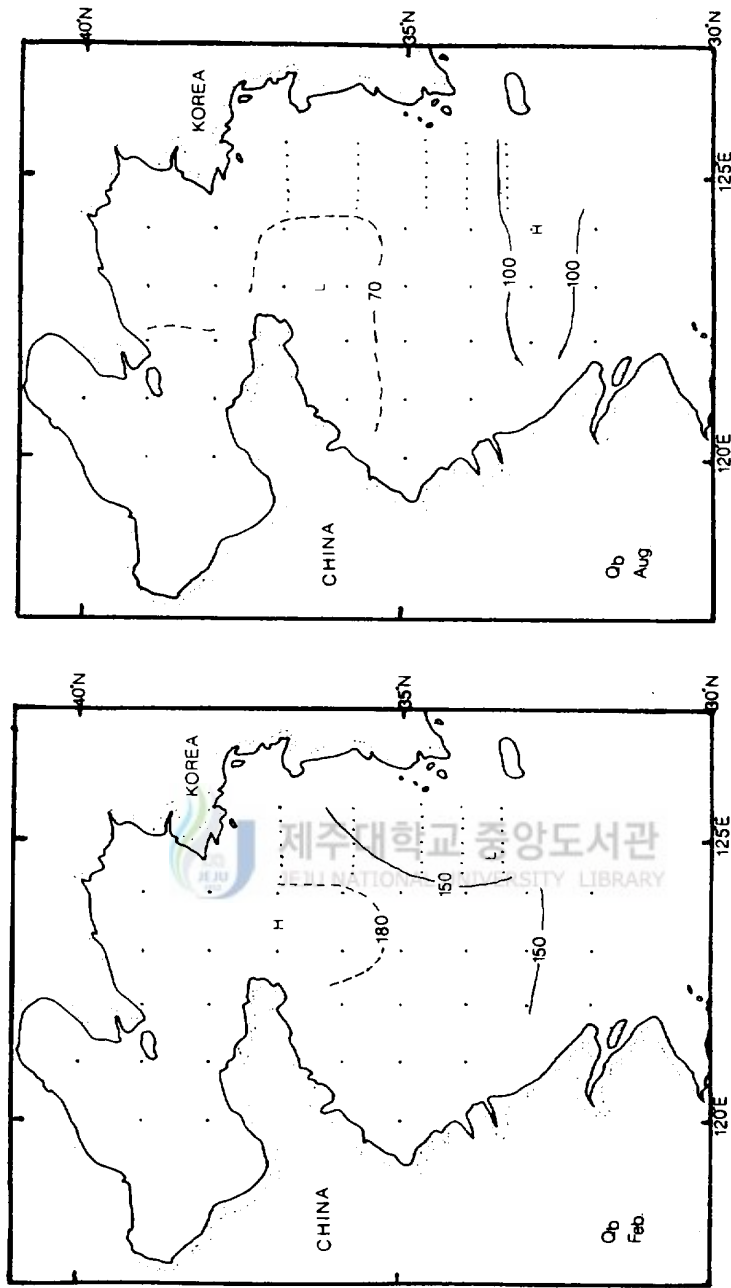


Fig. 6. The horizontal distribution of back radiation Q_b (ly/day) on February and August.

$$Q_e = (0.622 / P)L \rho_a D_e W(E_w - E_a)$$

을 사용하였다. 여기서 P는 대기압(1013hPa), L은 단위Mass 당 증발잠열(589K/Kg), ρ_a 는 공기의 밀도(1.225Kg/m³), D_e 는 증발의 무차원상수로서 Dalton number(1.5×10^{-3} , Gill, 1982), W는 풍속(m/s)으로서 지형에 의한 마찰의 영향을 적게받는 1000hPa면의 월 평균자료를 사용하였는데, 겨울철은 5.5m/s ~ 6.5m/s, 여름철에는 3.0m/s ~ 3.5m/s로서 겨울철이 여름철에 비해 바람의 세기가 강하다(Fig. 7). 바람의 세기는 증발의 속도에 큰 영향을 미친다(Smith, 1980). E_w 는 수온 T_w 에서의 포화 수증기압(hPa)으로서

$$\log_{10} E_w = (0.7589 + 0.03477 T_w) / (1 + 0.00412 T_w)$$

에 의해 계산하였다(Gill, 1982). 해수의 증발은 해수표면과 대기에서의 수증기압 차와 바람의 세기에 따라 결정되므로 증발열량 Q_e 의 분포(Fig. 8)는 겨울철과 여름철의 차이가 현저하게 나타나게 된다. 즉 겨울철에는 제주 서부해역에서 황해 남부해역에 걸쳐 300 ly/day이상이 방출되고 있으며 200 ly/day이상의 많은 방출은 황해 남부해역에서 중국 산둥반도쪽으로 설상의 분포를 보여주고 있다. 여름철에는 대체적으로 우리나라 연안해역(50 ly/day ~ 100 ly/day)보다 황해 중앙해역과 남부해역(150 ly/day ~ 190 ly/day)에서 많은 열량이 방출되고 있으나 해양과 대기의 포화 수증기압 차가 적기 때문에 지역적인 열량의 차이는 겨울철에 비해 크지 않다. 최대 방출량은 약 400 ly/day로 제주 서부해역에서 나타나고 있으며 최소 방출은 황해 북부해역에 분포하고 있다.

해양의 대표적 난류인 KUROSHIO해역에서 겨울철(12 ~ 2월)에 Q_e 값은 400 ~ 500 ly/day이고 연평균 약 300 ly/day정도로 매우 높게 나타나고 있다(Jacobs, 1951).

현열 방출량 Q_h

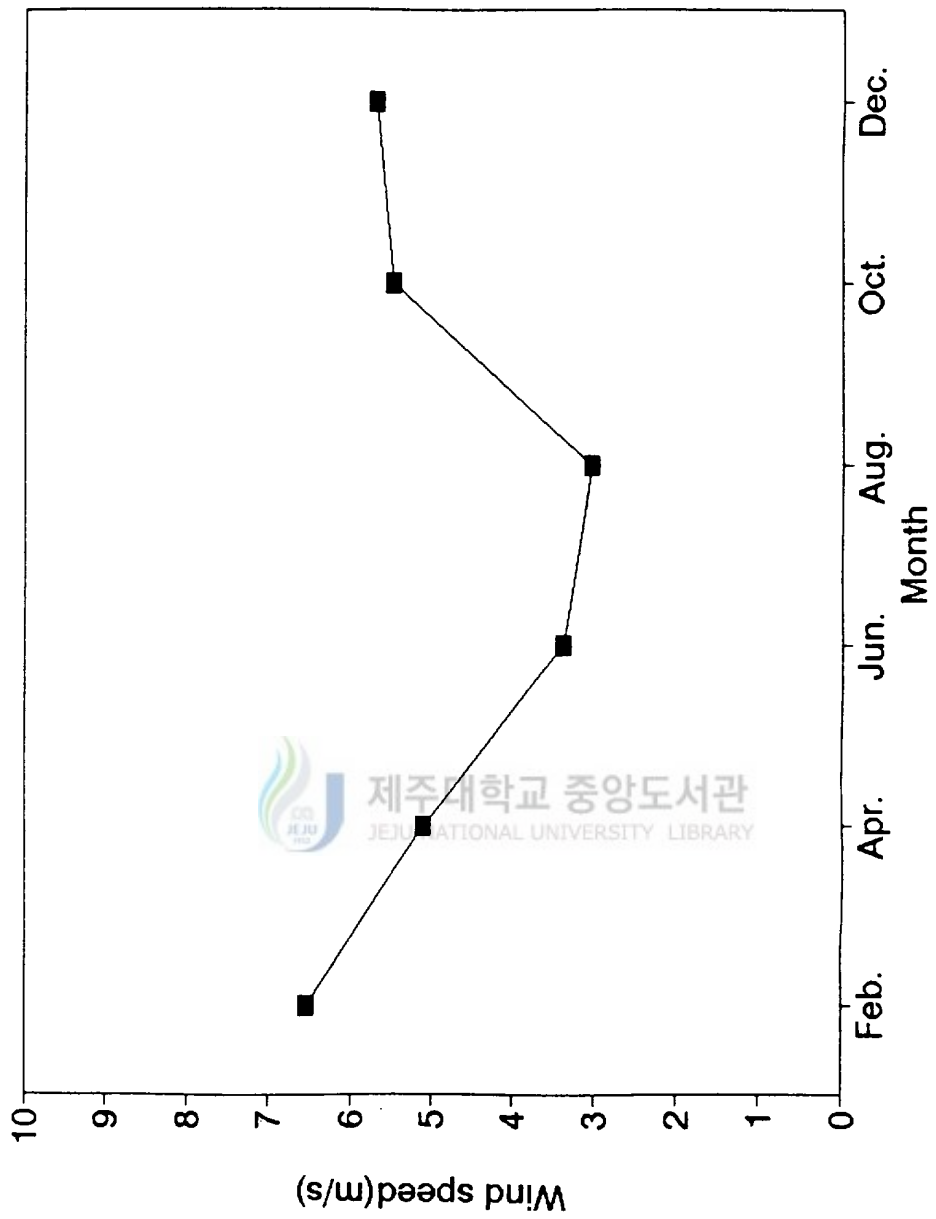


Fig. 7. The monthly mean variations of Wind speed(m/s) for 1981-1990.

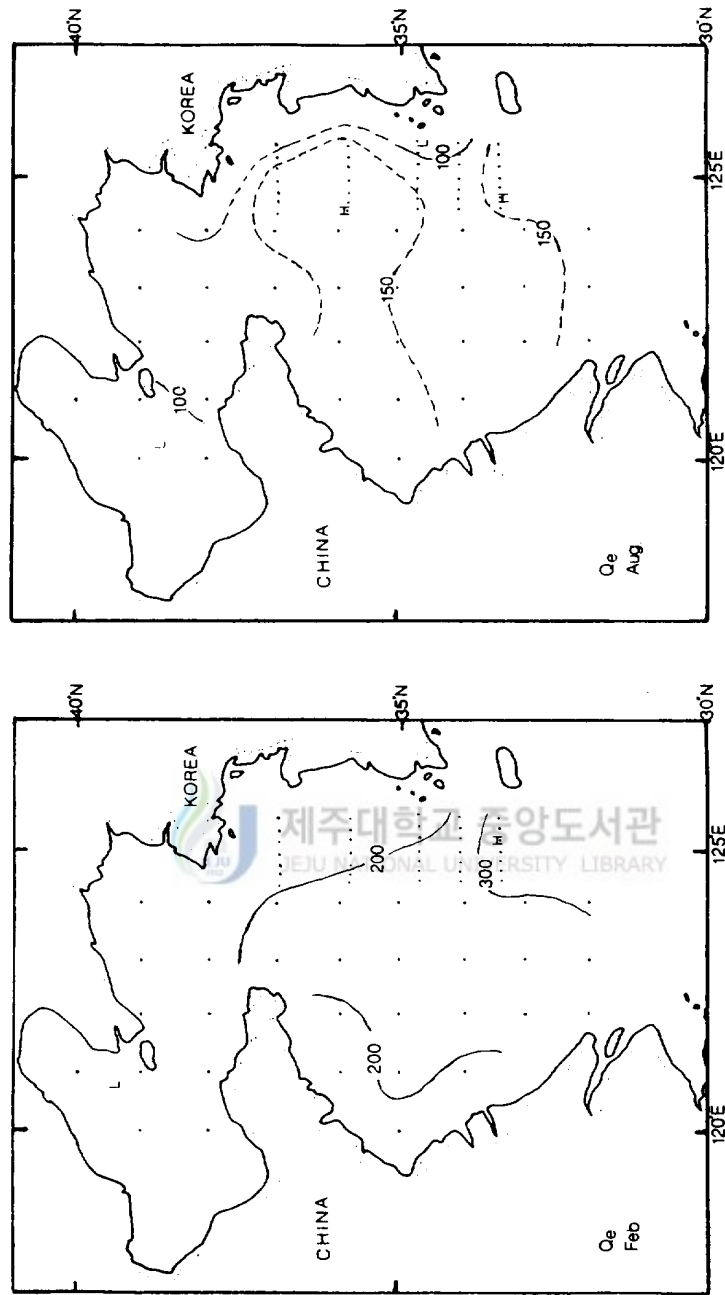


Fig. 8. The horizontal distribution of evaporation heat Q_e (ly/day) on February and August.

현열 방출량(Sensible heat) Q_h 는 Haney의 식(1971)

$$Q_h = \rho_a C_a C_h W(T_w - T_a)$$

을 사용하였다. 여기서 C_a 는 공기의 Specific heat, C_h 는 Heat conduction의 무차원 상수로서 Stanton number(1.10×10^{-3} , Smith, 1980), T_a 는 기온(°K)이다. Fig. 9는 황해 전 해역을 북부해역(A), 중부연안해역(B), 남부해역(C)로 구분하여 수온, 기온 그리고 수온과 기온의 차의 계절변화를 나타낸 것이다. 수온과 기온은 모두 전 해역에서 2월에 최저, 8월에 최고온도가 나타나고, 수온과 기온의 차는 황해 북부와 중앙연안해역이 남부해역보다 그 변동폭이 더 크게 나타나며, 북부해역과 중부연안해역은 2월, 8월, 10월, 12월, 남부해역은 2월, 4월, 8월, 10월, 12월에 수온이 기온보다 높게 나타나고 그 차는 12월에 가장 큰 차이를 보인다. 이것은 해양과 대기간의 계절적인 열전달 경로를 짐작할 수 있게 한다.

현열 방출량 Q_h 는 풍속, 수온과 기온의 차에 의해 결정되므로 Q_h 의 분포 패턴(Fig. 10)은, 겨울철에는 황해 연안해역과 Bohai만에서는 60 ly/day ~ 140 ly/day정도 방출되고, 황해 남부해역과 중부해역에서는 150 ly/day ~ 180 ly/day의 현열이 방출되고 있다. 그러나 여름철에는 황해 전 해역에서 -30 ly/day ~ 약 20 ly/day정도의 분포를 보인다. 황해에서 가장 적게 현열이 방출되는 해역은 여름철에 흉도 부근 해역이며, 최대 방출해역은 겨울철 황해 중앙해역으로 겨울철과 여름철의 열량방출이 큰 계절적 변동을 한다.

해수표면을 통한 열교환량 $Q_{stc}(Q_s - Q_b - Q_e - Q_h)$

황해에서 해수표면을 통해 교환되는 열수지(Fig. 11)의 변화 경향은 2월에 황해 전 해역에서 열량이 방출되고 있으며, 제주 서부해역에서 (500 ly/day) 황해 중부해역을 따라 황해 북부 Bohai만 입구까지 300 ly/day이상의 열량이 방출되고 있고, 4월에는 열량방출이 적어져서 황

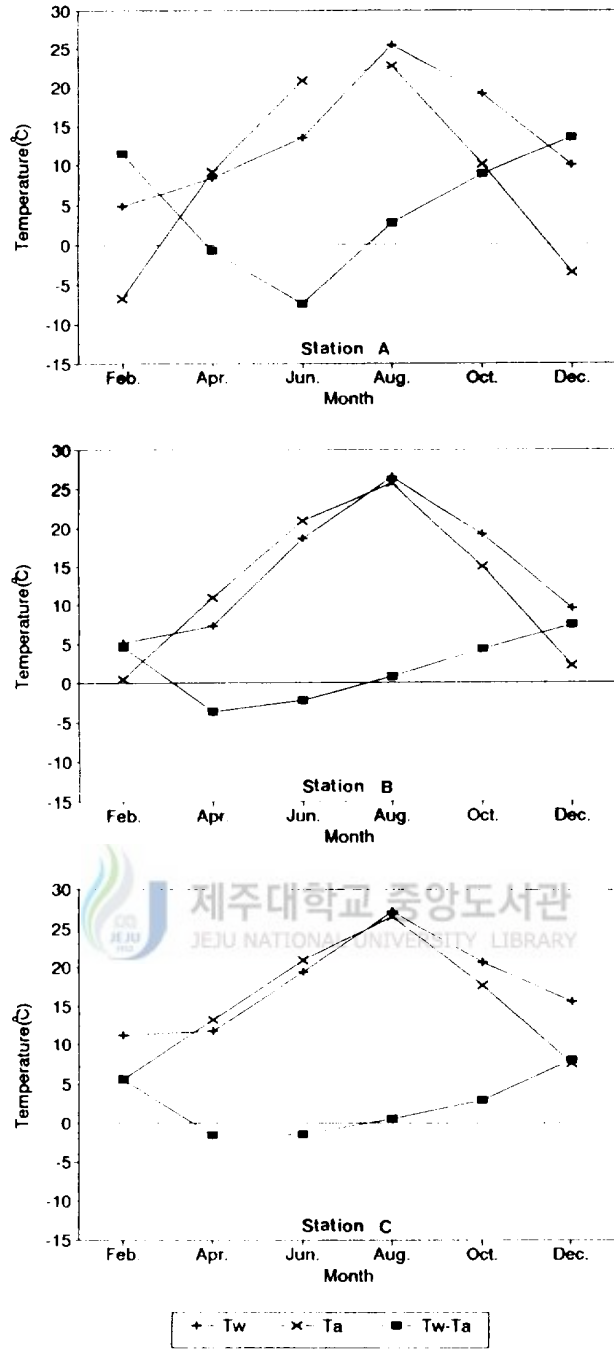


Fig. 9. The monthly variations of mean water temperature(T_w), air temperature(T_a) and the difference between sea and air temperature($T_w - T_a$) at St. A, St. B, St. C for 1981-1990.

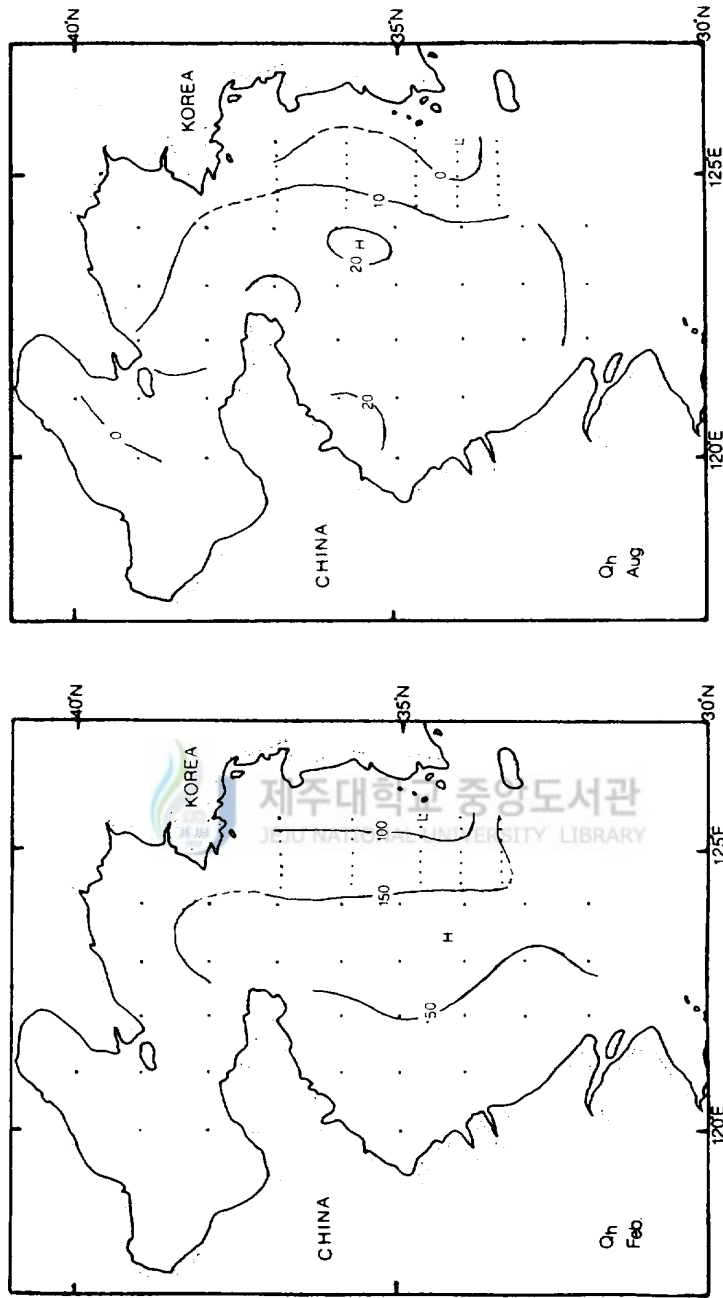


Fig. 10. The horizontal distribution of sensible heat Q_h (ly/day) on February and August.

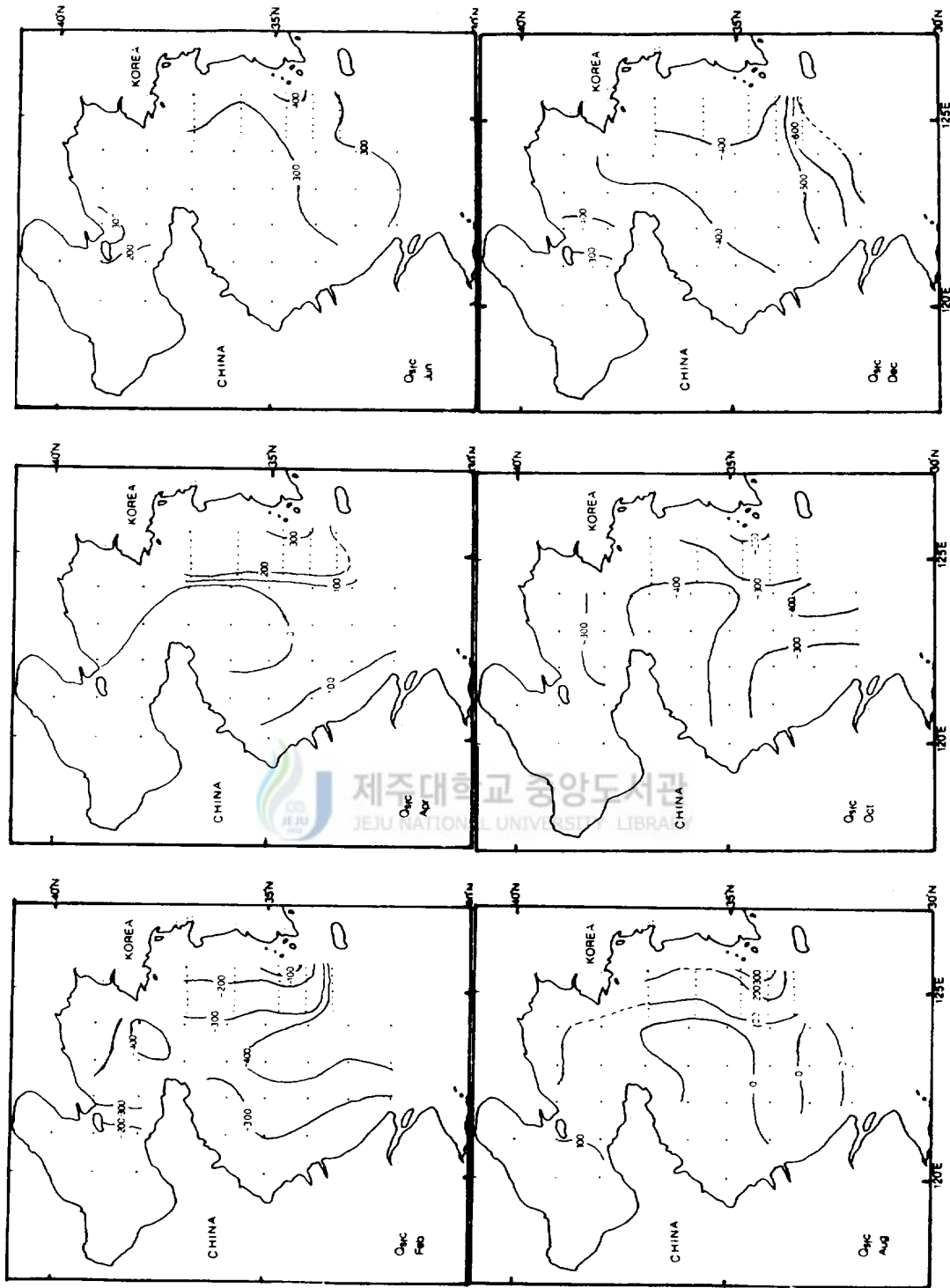


Fig. 11. The horizontal distribution of $Q_{r,c}$ (ly/day).

해 중앙해역에서만 약간의 열량이 방출되고 있다. 6월에는 전 해역에서 열량이 유입되고 있으며, 8월에는 다시 중부해역에서 열이 방출되기 시작한다.

즉 여름철에는 우리나라 연안해역에서 황해 남부해역에 걸쳐 열량이 유입되고 있고 중부해역에서는 연중 계속 열이 방출되고 있으나 6월에만 200 ly/day ~ 300 ly/day 정도의 열이 유입되고 있다. 10월부터는 400 ly/day의 열량이 황해 남부 중앙해역과 산동반도 남부해역에서 방출되며, 12월에는 황해 전 해역에서 약 400 ly/day의 열량이 방출되고 있으며 500 ly/day ~ 700 ly/day 이상의 열량방출이 일어나고 있는 해역이 황해 남부해역에서 황해 북부해역으로 확장하는 분포경향을 보인다. 황해에서 가장 많은 열량을 방출하고 있는 해역은 12월에 제주 서부해역으로 700 ly/day 이상이 빼앗기고 있다.

Jacobs(1951)에 의하면 겨울철(12, 1, 2월)에 KUROSHIO해역에서 900 ly/d 이상이 방출된다고 계산하였다.

황해 열수지의 변화

황해 열수지의 계절적인 변화를 알아보기 위해 황해를 북부해역(A), 중부연안해역(B), 남부해역(C)으로 구분하여 각 열량들의 변화를 분석하였다(Fig. 12). 해면을 통해 대기와 교환되는 열량(Q_e , Q_b , Q_c , Q_h)은 모두 월변화를 한다. 태양복사량 Q_e 는 거의 모든 해역에서 겨울보다 여름에 많이 유입되고 있고, 해면의 장파 복사량 Q_b 는 다른 열량들에 비해 변화폭이 작고(100 ~ 200 ly/day), 2월과 12월에 높고, 8월에 최소치가 나타난다. Q_e 는 겨울철이 여름철보다 많이 방출되고 있으며 북부해역(약 200 ~ 400 ly/day 정도)보다 남부해역(400 ~ 500 ly/day)에서 방출되는 열량의 변화폭이 크다. 이것은 북부해역보다 남부해역에서 수온과 기온에 대한 수증기압 차가 크고 풍속도 크기 때문이다. Q_b 는 수온과 기온의 차에 의해 방출열량이 변화하므로 4, 6월보다 2,

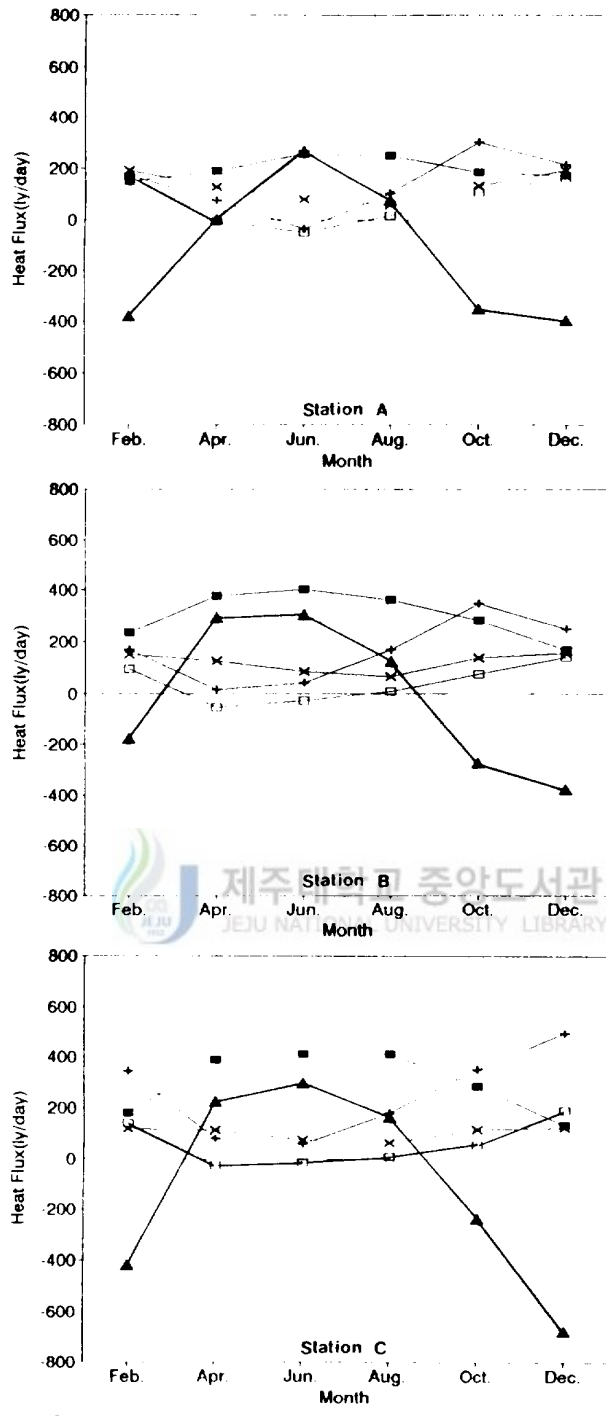


Fig. 12. The monthly variations of Heat Flux(ly/day).

8, 10, 12월에 해양에서 대기로 열량이 많이 방출하고 있다.

따라서 황해에서 대기과 교환되는 열교환량(Q_{sf})의 변화경향은 북부해역과 중부연안해역에 비해 남부해역에서 변화폭이 더 크게 나타나고 있다. 즉 6월에는 전 해역에서 약 +300 ly/day정도가 유입되고 있으나 2, 10, 12월에는 열량이 방출되고 있고, 특히 12월에는 북부와 중부연안해역보다 남부해역에서 많은 열량을 대기과 빼앗기고 있다. 열수지의 최대치는 6월에 나타나고 있으며 북부해역에서 +280 ly/day, 중부연안해역과 남부해역은 +300 ly/day로 열을 얻고 있고, 최소치는 12월에 북부해역이 -350 ly/day, 중부연안해역이 -380 ly/day이나 남부해역에서는 -680 ly/day정도로 열량이 가장 많이 방출되고 있다.

Fig. 13은 황해에서 열량방출이 많은 황해중앙 124°E선에서 각 위도별 Q_{sf} 의 월변화이다. 황해의 Q_{sf} 는 고위도에서 저위도로 갈수록 전체적으로 변동폭이 크고 여름철보다 겨울철에 그 차가 크게 나타나고 있다. 각 월별 Q_{sf} 는 2월에 점차 방출량이 적어지고 4월에 대기로부터 열량이 약간씩 유입되어 6월에 가장 많이 유입되고 8월에 유입량이 감소하며, 10월에서 2월까지의 해양에서 대기과 열량이 방출되고 있으며 12월에 가장 많이 방출되고 있음이 보인다. 즉 여름철에는 +값으로 대기과 부터 열이 유입되고 겨울철인 10월, 12월, 2월에는 -값으로 해양에서 대기과 열이 방출되고 있다. 이와같이 황해로 유입되는 해수의 흐름이 없이 해수표면을 통해 태양복사 에너지의 열량만 유입된다면, 황해에서의 열수지는 유입되는 열량보다 방출되는 열량이 많기 때문에 황해의 수온을 유지하기가 불가능할 것이다. 특히 겨울철에 방출되는 막대한 량의 열량은 단지 수온의 변화만으로는 설명할 수 없다.

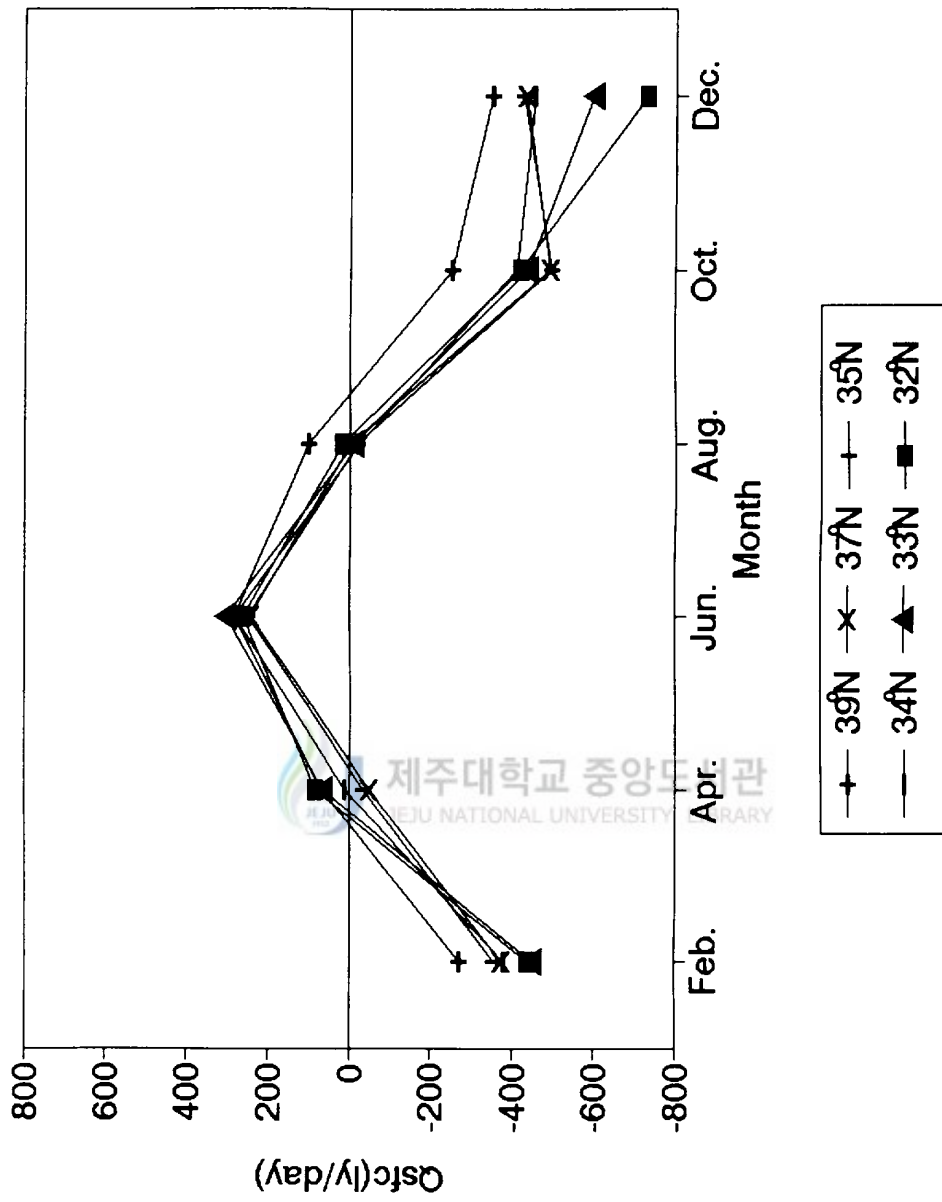


Fig. 13. The monthly variations of Q_{stc} (ly/day) along 124°E line for 1981-1990.

Ⅲ. 황해의 총 열수지와 황해난류수의 관계

황해의 총 열수지는 황해 해수표면을 통해 대기와 교환되는 열량과 황해로 유출입되는 해류에 의해 결정된다. 겨울철 황해에서 해수표면을 통해 방출되는 열량은 황해의 수온 변화만으로는 설명되지 않는다. 왜냐하면 겨울철에 수온하강에 의한 방출열량보다 많은 양의 열이 해수표면을 통하여 방출되고 있기 때문이다. 이러한 방출열량은 난류수에 의하여 공급되어야만 한다.

Fig. 14는 12월과 2월사이의 표층수온변화의 분포로서 황해 연안해역과 북부해역에서 4 ~ 6℃정도의 차이가 있고, 중앙해역에서는 3℃이하로 연안과 북부해역에 비해 수온이 적게 떨어지고 있다. 이것은 황해중부해역으로 고온의 해수가 유입되어 해수의 온도를 유지하고 있기 때문에 수온이 적게 떨어지고 있는 것으로 보인다.

따라서 겨울철 황해에서 난류에 의해 얼마만한 열량이 공급되어야 황해의 수온이 유지될 수 있는지 알아보기 위해, 겨울철 황해에서 열수지에 의해 해수표면에서 대기로 방출되는 열량과 수온변화에 따른 열량의 방출량을 비교하여 보았다. Fig. 15는 겨울철(12월에서 2월사이)동안에 해수표면을 통하여 방출되는 열량으로서 황해 북부해역과 연안해역에서는 25,000cal/cm²이하가 방출되고 있으나, 황해 중부해역에서는 25,000cal/cm²이상이 방출되고 제주 서부해역과 황해 남부에서는 약 30,000 ~ 45,000 cal/cm²이상이 방출되고 있다. 그러나 겨울철 해수 전 층에서 수온의 감소에 의해 방출되는 열량(Fig. 16)은 황해 중서부 해역과 연안해역에서 20,000cal/cm²이하의 열량방출이 있으나, 제주 서부해역에서 황해 중앙권을 따라 북부해역으로 약 20,000 ~

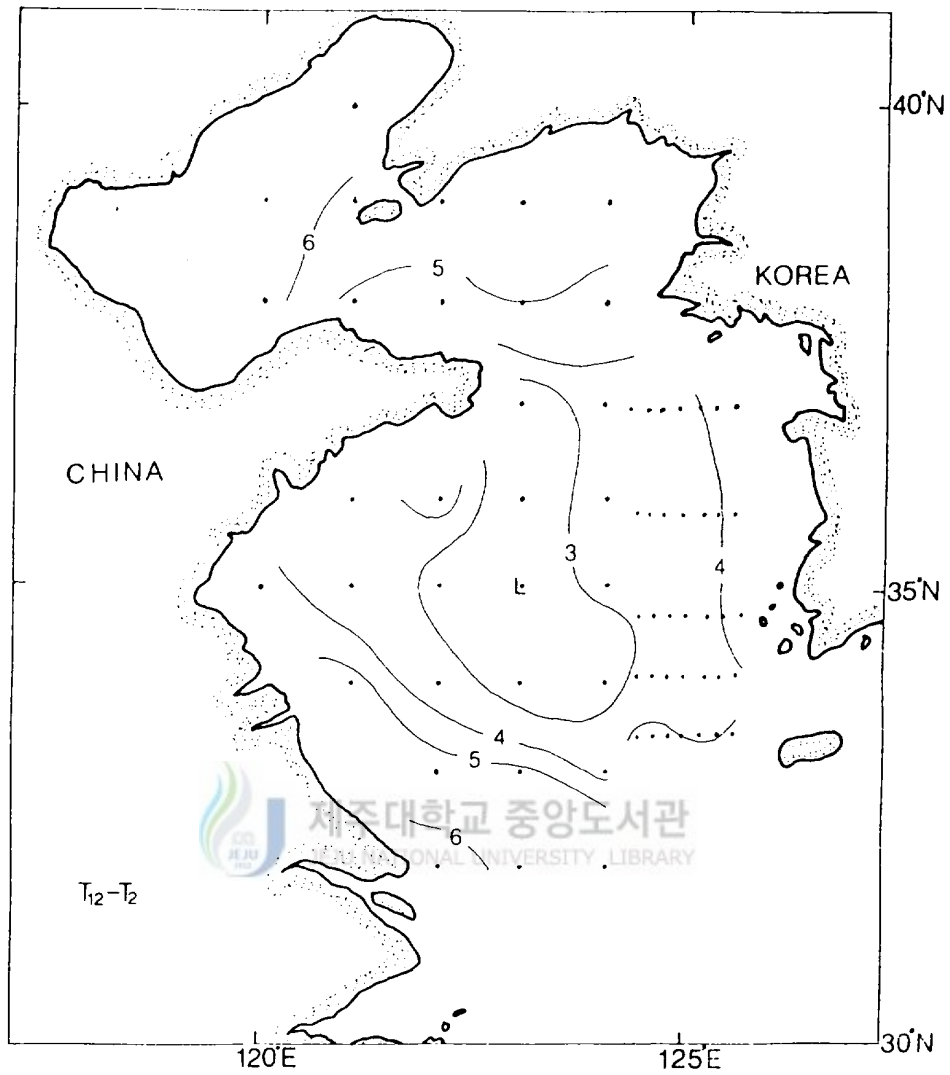


Fig. 14. The horizontal distribution for difference between December and February of mean sea surface temperature for 1981-1990.

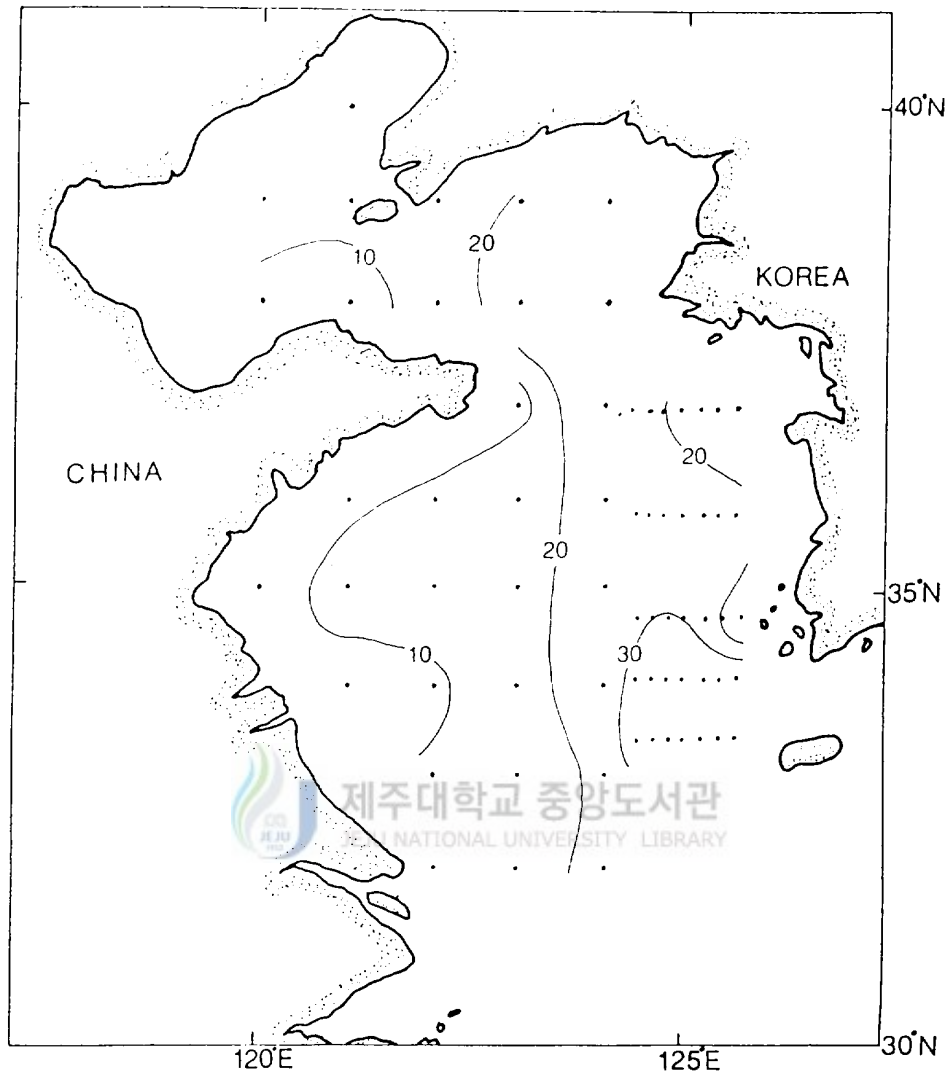


Fig. 15. The horizontal distribution of heat flux for difference sea water temperature between December and February.

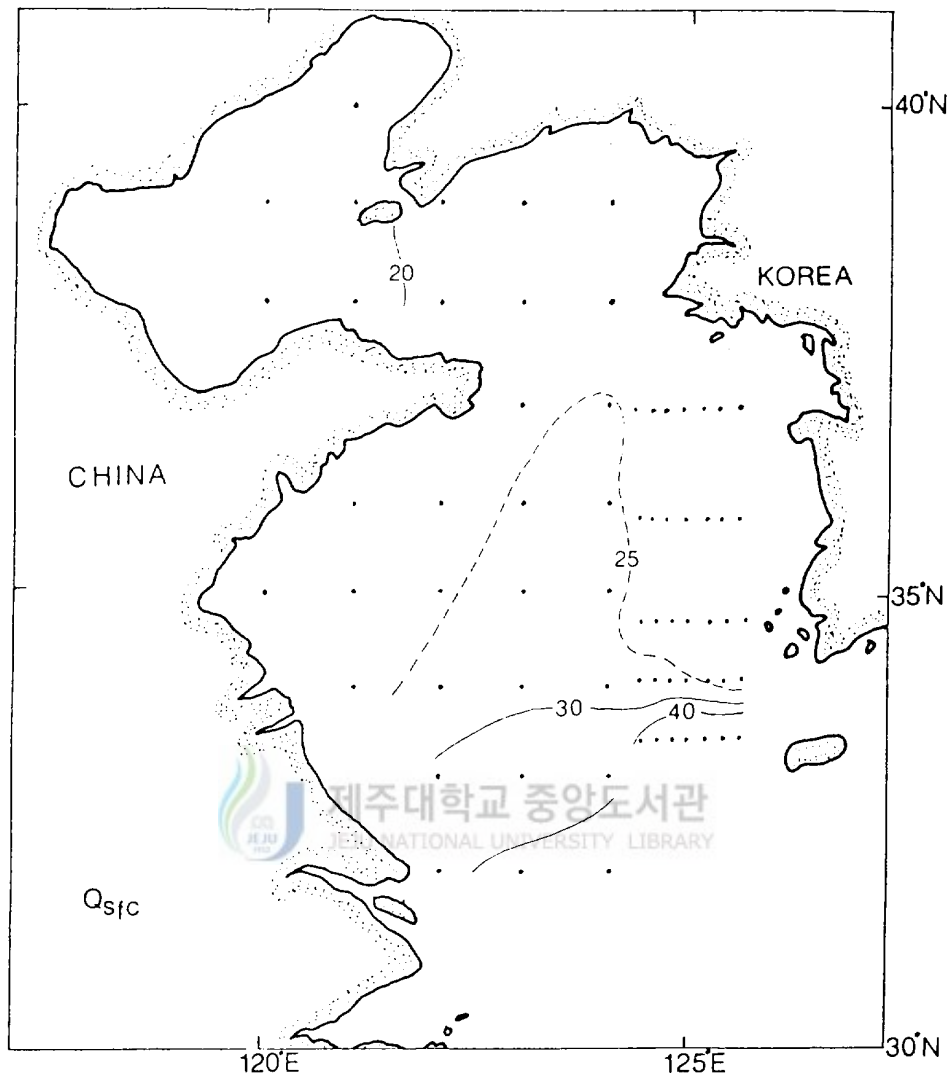


Fig. 16. The horizontal distribution of Q_{sfc} between December and February

35,000 cal/cm³가 방출되고 있다. Fig. 17은 겨울철 황해에서 Q_{sf}에 의한 수온의 변화를 나타내는 분포도이다.

따라서 고온의 황해난류수의 유입이 없이 대기와의 열교환에 의해서만 수온이 변화한다면 황해의 수온은 제주 서부해역과 황해 중서부해역에서 2월의 실제 수온보다 약 1~5℃ 이상이 더 떨어져야 할 것이다(Fig. 17). 그리고 황해의 동부해역에서 남북으로 1℃이하의 열량의 유입이 있는 것은 수심이 깊은 반면 해수 표면을 통해 방출되는 열량이 서부해역에 비해 적게 방출되기 때문이다. Table 1.은 황해 각 지점에서 해수표면을 통해 대기로 방출되는 열량(Q_{sf})과 수온변화에 의해서 방출되는 열량(Q₁₂₋₂), 그에 따른 2월 수온의 변화를 비교한 것이다.

Table 1. Total heat flux.

	Q _{sf} (cal)	Q ₁₂₋₂ (cal)	T _w (℃)
ST. A	-23,937	-29,070	+0.90
ST. B	-22,751	-22,640	-0.02
ST. C	-40,672	-33,255	-0.99

지점 A와 B에서보다 남부해역인 지점 C에서의 열량방출이 많다. 따라서 2월 실제 수온에 비해 지점 A에서는 +0.90℃, 지점 B에서는 -0.02℃이나 황해 남부해역인 지점 C에서는 -0.99℃의 차이를 보인다.

그러면 황해의 총 열수지를 계산하기 위해, 황해를 제주 서안에서 양자강 하구를 잇는 선을 경계로 본다면 전체 면적은 약 4×10¹¹m²이고, 황해 평균 수심은 55m이므로 황해 전체의 체적은 약 2.2×10¹³m³ 정도이다(이와 김, 1989).

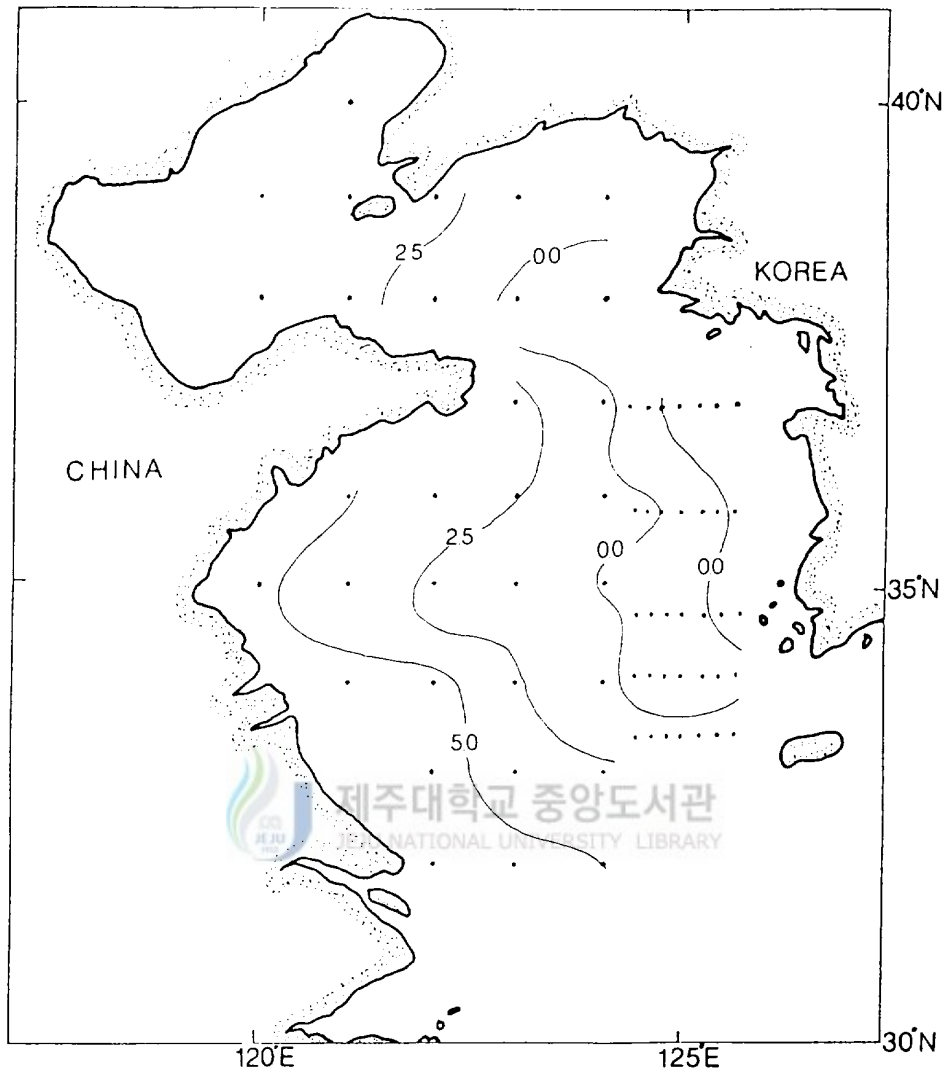


Fig. 17. The horizontal distribution of sea surface temperature for difference between calculated February and real February.

Table 2. Total heat transport.

Surface area(m ²)	Volume(m ³)	Q _{sfc} (cal)	QT(cal)	Q _v (cal)
4×10 ¹¹	2.2×10 ¹³	-11×10 ¹⁹	-6.5×10 ¹⁹	+5.5×10 ¹⁹

그러므로 겨울철(12~2월) 해수 표면을 통해 방출되는 열량(Q_{sfc})은 평균 26,800cal/cm²이므로 황해 전 해역에서 방출되는 열량은 11×10¹⁹cal이다. 그러나 수온 변화에 의한 손실열량은 6.5×10¹⁹cal이다. 따라서 그 차인 5.5×10¹⁹cal는 난류수에 의해 유입되어야 한다(Table 2). 12월 황해입구에서 14~15℃의 물이 황해로 유입되어 황해를 순환하는데는 2개월이상이 걸리므로 12월 황해입구의 수온과 2월 황해내부수온의 차이가 황해난류수에 의한 열의 공급이므로 14~15로 유입되어서 황해를 순환하는데 약 8℃가 떨어진다(JMA, 1991). 겨울철(12~2월)에 황해난류수가 50m 등수심선을 경계로 폭 300Km×평균수심 70m로 유입된다면, 이러한 열을 공급하여 주기 위해 황해난류수는 약 5cm/sec의 유속으로 유입되어야 한다.



IV. 결론 및 토의

황해에서도 해수표면을 통하여 대기과 교환되는 열량 중 태양으로부터 유입되는 열량(Q_s)은 6월에 최대, 12월에 최소로 유입되고 해면에서부터 유출되는 장파복사(Q_b), 현열방출량(Q_h), 증발열량(Q_e)은 여름철보다 겨울철에 많이 방출하고 있다. 황해에서 해수표면을 통해 방출되는 열량(Q_{sc})의 분포는 겨울철에 제주 서부해역에서 황해 중앙해역에 걸쳐 열량방출이 크고, 황해 북부해역과 연안해역에서는 열량방출이 적다. 이것은 겨울철에 제주 서부해역에서 황해 중앙해역에 걸쳐 고온의 해수가 분포하기 때문이다. 고온수에 의해 황해중부해역에서는 4월, 6월, 8월에 대기로부터 유입되는 열량에 비해 2월, 10월, 12월에 방출되는 열량이 훨씬 크다. 따라서 이 해역의 열수지 계절변화는, 여름철에는 열유입량이 전해역에 걸쳐 비슷하기 때문에, 겨울철에 방출 열량이 상대적으로 적은 북부해역과 중부연안해역보다 큰 변동폭을 갖게 된다.

황해의 열수지 양을 보면 겨울철에는 200 ~ 800 ly/day의 많은 열량이 해수표면을 통하여 방출되고 있고 여름철에는 모든 해역에서 100 ly/day ~ 400 ly/day 정도의 열량이 유입되고 있다. 최대유입열량은 6월에 우리나라 서남연안에서 400 ly/day 정도이고 최대방출열량은 12월에 제주 서부해역에서 -700 ly/day 이상이다. 해수표면을 통해 유출입되는 열량으로 인해 황해의 수온은 계절변화하여 여름철에는 높아지고 겨울철에는 낮아지나, 겨울철에 낮아지는 수온변화량은 유출되는 열량에 비해 작게 나타난다.

이와 같이 겨울철에 해수표면을 통해 방출되는 열량은 수온하강에

이와 같이 겨울철에 해수표면을 통해 방출되는 열량은 수온하강에 의한 열손실보다 훨씬 크다. 12월과 2월 사이에 황해 전체 해수표면을 통해 방출되는 열량은 $-11 \times 10^{19} \text{ cal/cm}^2$ 인데 비해, 수온하강으로 인한 손실열량은 $-6.5 \times 10^{19} \text{ cal/cm}^2$ 이다. 따라서 이 두 차이인 $4.5 \times 10^{19} \text{ cal}$ 의 열량이 해류에 의해 공급되어야 한다. 고온의 해수는 황해남부 해역의 황해난류수 밖에 없기 때문에 이것은 겨울철에 황해난류수가 북상하여야 한다는 것을 보여준다. 이러한 열을 공급하기 위해서는 황해난류수가 폭 300km 깊이 70m로 황해로 유입된다면 2개월(12~2월) 동안에 약 5cm/sec의 속도로 북상하는 것을 의미한다. 이것은 수치모델에서 예상한 황해난류수의 북상유속 약 5cm/sec(Pang etc., 1992)와 잘 일치하고 있다.

황해에서의 열수지 계산은 여러 연구자들에 의해 계산되어졌다. 그러나 그 계산방식이나 사용된 자료가 부족하거나 황해 동부해역에 치중된 경향이 많다. 따라서 정확한 해상자료의 확보와 그에 의한 황해에 맞는 열수지 계산식에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에 사용된 기상자료는 황해 연안기상대의 기상자료를 황해상에 적용하였고, 황해서부 및 북부의 자료는 표면수온(Skin Temperature)자료를 사용하였기 때문에 실제자료에 비해 변화경향이 다소 높은 경향이 있다. 추후 보다 정확한 자료에 의해 보정해 주어야 할 필요가 있다고 본다. 특히 열수지 계산에 사용되는 바람자료는 열량 변화에 크게 작용하는데, 선행된 연구에서는 해상외의 바람자료가 관측된 값이 없으므로 실제자료를 이용하지 않고 수치모델결과의 계산결과치를 이용하거나 어느 한 관측지점의 관측값만으로 유추해서 사용한 것이 많았다. 그러나 본 연구에서는 마찰의 영향을 적게받는 1000hPa면의 바람자료를 사용하였기 때문에 선행된 연구의 계산결과와 다르게 나타날 수도 있다.

VI. 참고문헌

- 기상청, 1981-1990. 기상연보.
- 기상청, 1981-1990. 고층기상월보.
- 기상청, 1981-1990. 인쇄일기도.
- 국립수산진흥원, 1981-1990, 해양조사연보.
- 일본해양기상청, 1981-1990, Monthly Weather Report.
- Asaoka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the circulation in the East China sea and the Yellow sea in winter(Preliminary report). *Oceanogr. Mag.*, 18, 73-81.
- 봉종현, 1976. 한국연안의 표면해수와 대기간의 열교환. *한국해양학회지*, 11, 43-50.
- Bunker, A.F., 1976. Computations of surface energy flux and annual air-sea interaction cycles of the North Atlantic Ocean. *Monthly Weather Review*, 104, 1122-1140.
- Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima Current Water at entrance of the Korea Strait in Autumn. *Prog. Oceanog.*, 21, 295-306.
- Cho, H. K., 1968. Radiation balance over Korea. *J. Kor. Meteor. Soc.*, 4, 8-12.
- Gill, A.E., 1982. *Atmosphere-ocean dynamics*, Academic Press, 30PP.
- 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. *Korean Met. Soc.*, 6, 83-87.
- 한영호, 1972. 1월의 동해 남서해역에서의 열수지와 대한해협 의 냉수괴. *한국해양학회지*, 7, 19-23.

- , 장선덕, 1978. 동계의 열수지와 황해냉수와의 관계. 한국 어업기술 학회지, 14, 2-14.
- Haney, R.I., 1971. Surface thermal boundary condition for ocean circulation model. *J. Phys. Oceanogr.*, 1, 241-248.
- , 1974. A numerical study of the response of an idealized ocean to large scale heat and momentum flux. *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 145-167.
- Hsueh, Y. and I.C. Pang, 1989. Coastally trapped long waves in the Yellow sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 612-625.
- Jacobs, W.C., 1942. On the energy exchange between sea and atmosphere. *J. Marine Research*, 1, 37-66.
- , 1951. Large scale aspects of energy transformations over the ocean. *Compendium of Meteorology. Amer. meteor. Soc.*, 1057-1070.
- Japan Meteorological Agency, 1991. The Marine Report.
- Kang Y.Q., 1983. On the temperature differences across ground and sea surfaces in Korea. *J. of Korean Met. Society*, 19, 88-95.
- , 1985. Seasonal variation of heat content in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Society of Korea*, 20(3), 1-5.
- 김태희, 1990. 황해와 동중국해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 석사학위논문, 40P.
- 김영의, 1991. 동해 해수 순환의 수치실험 연구. 서울대학교 박사학위논문, 210P.
- Knauss, J., 1978. *Introduction to Physical oceanography*. Prentice-Hall.
- Kondo, J., 1964. Evaporation from the Japan Sea in winter moonsoon season. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5 Geophys.*, 15, 67-75.
- , 1976. Heat balance of the East China Sea during the air-

- mass transformation experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 382-393.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishery grounds in the East China Sea I, Characteristics of the mean temperature and salinity distribution measured at 50m and near the bottom. *Bull. S-eikai Reg. Fish. Res. Fish. Res. Lab.*, 62, 19-66.
- Kraus, E.B., and C. Rooth, 1961. Temperature and steady state vertical heat flux in the ocean surface layers. *Tellus*, 13, 231-238.
- 이경택, 김구, 1989. 난류적 확산에 의한 황해 하층의 염분변화. *인하대학교 황해연구*, 2, 21-29.
- Lie, H.J., 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea(Hwanghae). *J. Oceanol. Society of Korea*, 19, 187-194.
- , 1985. Wintertime temperature and salinity characteristics in the south-western Hwanghae(Yellow sea). *J. Oceanog. Soc. Japan*, 41, 281-291.
- Lie, H.C. and An, H.S., 1987. A Study on the Heat Budget in the South Eastern Area of the Yellow Sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 22, 217-227.
- Manabe, S. 1957. On the modification of air mass over Japan Sea when the outburst of cold air predominates. *J. Meteor. Soc. Japan*, 35, 311-326.
- 민경덕, 1974. 동계황해상의 열 및 수증기 수치해석과 이들이 시베리아기단의 변질에 미치는 영향. *한국기상학회지*, 10,
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China sea and the Yellow sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ. Spec.*, Nov., 199-366.
- Ninomiya, K., 1968. Heat and water budget over the Japan Sea and the Japan Islands in winter season. *J. Meteor. Soc. Japan*, 46, 343-372.

- , 1972. Heat and water budget over the East China Sea in the winter season. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50, 1-17.
- Pang, I.C., 1987. Theory of coastally trapped waves and its application in the Yellow sea. Ph. D. Thesis, Florida state Univ., 128P.
- , Rho, H. K. and Kim, T. H., 1992. Seasonal variations of water mass distribution and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju island. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25, 151-163.
- 방익찬, 김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환. 제주대학교논문집, 28, 61-73.
- , 1990. 황해와 동지나해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 논문집, 31, 49-61.
- , 1991. 황해난류수와 황해저층냉수. 제주대학교 논문집, 32, 43-53.
- Park, Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21, 12-21.
- , 1986. A simple theoretical model for the southern Yellow sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21, 230-210.
- Pickard, G. L. and Emery W. J., 1982. Descriptive physical oceanography. Pergamon Press., 249PP.
- Smith, S. D., 1980. Wind stress and heat flux over the ocean in gale force winds. *J. Phys. Oceanogr.*, 10, 709-726.
- Uda, M., 1934. The results and simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fisher. Exp. st.*, 5, 57-190
- Wyrcki, K., 1965. The average heat balance of the North Pacific Ocean and its relation to ocean circulation. *J. Geophys. Res.*, 70,

4547-4559.

양성기, 조규대, 홍철훈, 1984. 1981년 하계 황해 저층냉수의 이상 저수온
현상. 한국해양학회지, 19, 125-132.

윤용훈, 1986. 황해저층냉수의 특성규명과 남하증거. 제주대학교 석사학
위논문, 55P.

윤용훈, 박용향, 봉종현, 1991. 황해저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명.
한국 지구과학회지, 12, 25-37.



감사의 말씀

본 논문을 지도하여 주신 방익찬교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 논문을 심사 하여주신 고유봉교수님, 양성기교수님, 항상 관심과 조언을 아끼지 않으신 윤정수교수님, 최영찬교수님, 이준백교수님께 감사드립니다.

연구기간 동안 토론과 조언을 준 김태희, 박원배, 김수정, 고방연학형과 여러 선배님들, 그리고 충고와 격려를 해주신 종현형께 고마움을 표합니다. 또한 업무에 바쁘신 가운데도 도움과 격려를 준 기상대 직원들께 고마움을 표합니다. 특히 기후자료과 직원들과 자료정리에 도움을 준 부산기상청 김명준씨에게 고마움을 표합니다.

끝으로 곁에서 늘 용기와 격려를 준 사랑하는 아내 경은과 항상 사랑과 정성을 다해 용기를 주신 가족들에게 이 작은 결실을 드립니다.

