

한반도 근해의 해류와 해수 특성

— 남해연안수 확장과 수온변화 —

나정열 · 한상규* · 조규대*

한양대학교 지구해양과학과 · *부산수산대학교 해양학과

A Study on Sea Water and Ocean Current in the Sea Adjacent to Korea Peninsula

— Expansion of Coastal Waters and Its Effect on Temperature Variations in The South Sea of Korea —

Jung-Yul NA, Sang-Kyu HAN* and Kyu-Dae CHO*

*Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University
Sengdong-gu, Seoul 133-791, Korea*

**Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan
Nam-gu, Pusan 608-737, Korea*

The temporal and spatial distribution of the coastal cold waters which was formed due to winter colling in the South Sea of Korea was analyzed by IR images from satellite and *in situ* data from shipboard observations. The coastal waters are known to be consisted of the Yellow Sea Coastal Waters(YSCW) and the South Korean Coastal Waters(SKCW). The former is driven around the Chuja-do and drifted into the Cheju Strait by residual currents, while the latter expands toward offsea by southward wind forcing. The expansion patterns of the SKCW were observed as sinking expansion or drifting expansion such that both were strongly dependent on the surface heat flux conditions. Under the condition of positive heat flux(warmer sea surface) or when the sea surface heat is lost to the atmosphere, the surface water started sinking and eventually expanded toward the open sea causing the cooling of the water column. For the negative heat flux the surface water was just drifted horizontally and expanded seaward and in this case only the surface layer of water was cooled.

서 론

겨울철 연안에서 대기냉각과 조석혼합으로 형성된 저온수의 분포 및 이동은 인공위성에 의한 해면수온 분포로부터 확인할 수 있다. 남해는 수심이

100 m 이내로 완만한 대륙붕으로 되어 있고(Fig. 1) 조석현상이 강할뿐 아니라 특히, 겨울철 강한 북서계절풍으로 인해 해수 전층의 혼합이 가속되어 소위 연안수를 형성하게 된다.

남해에 존재하는 이러한 연안수를 Gong(1971),

* 본 논문은 한국과학재단의 목적 기초 연구 과제인 “한반도 근해의 해류 및 해수특성”의 일부로써 수행되었다. 부산수산대학교 해양과학연구소 업적번호 제254호(Contribution No. 254 of Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Pusan.)

Kang(1974)은 그 형성 위치에 따라 남해연안수 (South Korean Coastal Waters, SKCW)와 서해남부 연안수(Yellow Sea Coastal Waters, YSCW)로 구분하였다. 이 연안수들은 기상요인, 육수유입, 해저지형, 대마난류수에 의한 영향에 의해 그 확장 범위의 계절적인 변동이 심하게 나타난다(Kang, 1974). 남해연안수는 겨울철 냉각과 수직혼합으로 인해 남해연안에서 형성되어 저온($<11^{\circ}\text{C}$)의 특징을 나타내며, 염분은 겨울철 강수량 감소와 증발량 증가로 인해 가을이후 계속 고염(33.8~34.2‰)이 되어 4월경에 최대가 된다(Cho, 1988). 남해연안수는 주로 바람의 영향을 받아 외해로 확장하는데 주로 거문도 부근과 여수만 남쪽의 소리도 부근의 일부 지역에서만 확장하고(Kang, 1974; Gong, 1976) 특히, 겨울철 냉각으로 인해 침강후 외해로 확장한다(Lim, 1976). 남해연안수의 침강확장은 Kim and Yug(1983)이 밝힌 바와 같은 남해의 수온역전 현상과도 관계가 있다. 이러한 연안수의 확장은 주로 수산진흥원 정선관측에 의거 분석한 결과로 외적인 요소에 대한 구체적인 설명이 없이 오로지 겨울철의 북서계절풍에 의해 외해로 밀려 나올 것이라는 추측 정도이었다(Kang, 1974; Lim, 1976).

Gong(1971), Kang(1974)과 Lim(1976)은 남해연안수가 겨울철에 침강하여 남해 저층에 여름철까지 지속적으로 존재한다고 하였다. 남해 및 제주도 부근의 해류관측 자료들에 의하면 Kuroshio의 지류는 전층이 지속적으로 북동-동류하고 있어(Chang, 1984; Kim, 1979; Kim, 1987; Kim and Chang, 1984) 남해연안수가 여름철까지 지속되기는 불가능할 것이다. 여름철 남해 저층에 존재하는 저온수는 Cho(1988)가 밝힌 바와 같이 겨울철에 형성된 남해연안수가 아니라 제주해협을 통하여 황해저층냉수가 유입된 것과 대한해협을 통한 동해고유냉수의 유입에 의한 결과이다(Lee, 1974). 또한 남해연안수는 그 형성과정 및 발달에서 대기의 영향을 크게 받기 때문에 짧은 시간에 많은 변동을 할 것이며 이러한 변동 과정은 연속 관측이 가능한 인공위성에 의한 해면수온 분포 파악으로 가능하리라 본다.

근래에 인공위성에 의한 해면수온 연속과측에 의하면 남해안의 저온수가 짧은 시간에 많은 변동을 하는 것을 볼 수 있다. 이 경우 남해연안수와 서해남부연안수의 남쪽으로는 확장(Fig. 2)은 시베리아 고기압이나 한랭전선 통과 후 더욱 강해진 것으로 나타나며(Fig. 2의 구름 분포) 이는 겨울철 강한 북서계절풍에 의한 영향을 받고 있음을 암시해 주고 있다. 또한 연안수들이 항상 확장하는 것이

아니라 외력이 작용할 경우 짧은 시간(수시간~수일)에 확장하고 변하는 것을 보여주고 있다(Fig. 2). 이는 Lee et al.(1984)가 1982년 초겨울에 5일간격으로 관측한 수온분포의 변화와 제주 측후소에서 바람이 밀접한 관계가 있음을 밝힌 것과 일치한다. 그러므로 남해연안수의 단주기 변동은 앞서 언급된 요인중에서 바람의 영향이 매우 크게 나타난다고 볼 수 있다. 또한 Fig. 2의 열적외선 영상에 의하면 흑산도 부근의 서해남부해역은 전 해역에 저온수가 분포하고 있고 남해연안에서는 거문도 부근과 소리도 외해 거제도 부근에 저온수가 분포하고 있다. 이러한 분포는 겨울철 강한 표면냉각에 의한 영향도 있지만 서해남부해역의 저온수형성은 전해역에서 강한 조석혼합이 일어난 결과이다(KORDI, 1986). 반면에 남해 연안은 일부 해역에서만 강한 조석혼합이 일어나 국지적인 저온의 연안수를 형성한다. 이 연안수가 북서계절풍의 영향을 받아 확장될 것이며 그 결과 남해연안수의 확장은 거문도와 소리도 사이와 거제도 부근 해역에서만 일어나는 것을 관측한바 있다(Kang, 1974; Lim, 1976).

본 연구의 목적은 겨울철 남해연안에 존재하는 남해연안수의 시·공간적인 분포 특성과 겨울철 강한 바람과의 관계를 규명하고자 한다. 또한 이에 따른 남해의 연안수와 난류수와의 혼합과정과 수온전선 변화를 파악하고 해면수온과 내부수온과의 관계를 밝히고자 한다. 이는 남해의 해수유동 파악 및 남해의 어장 연구, 연안퇴적물의 이동 연구 등에 많은 도움이 되리라 본다.

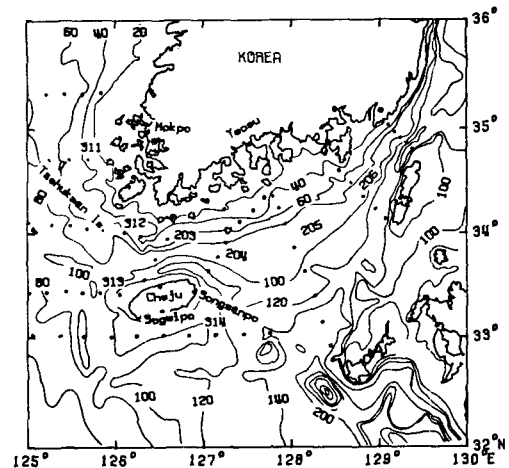


Fig. 1. Bottom topography, hydrographic stations and coastal weather stations of the study area.

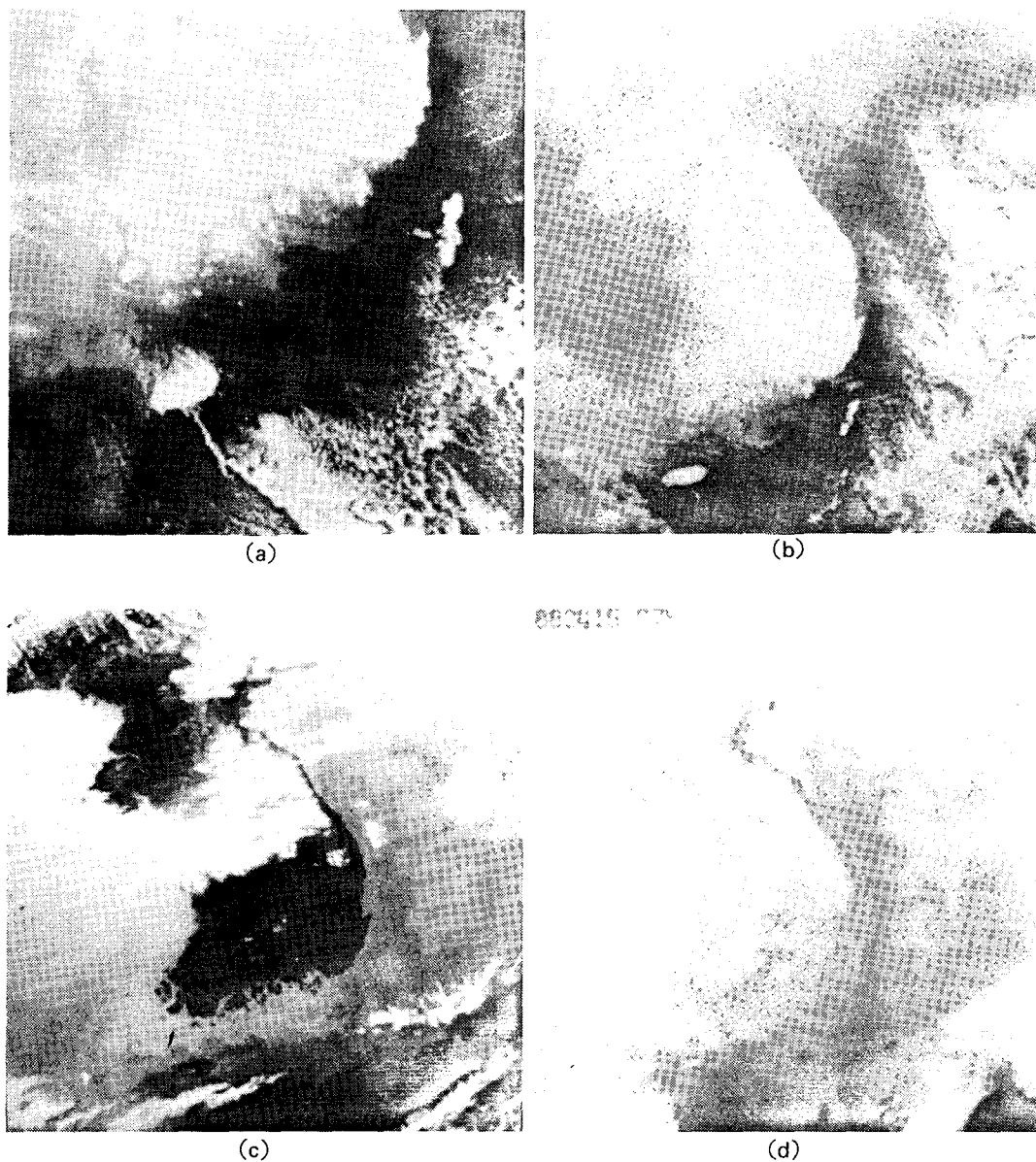


Fig. 2. Satellite infrared images(a) 1 Feb. 1988, (b) 10 Feb. 1988, (c) 13 Apr. 1988, (d) 15 Apr. 1988.

자료 및 방법

남해연안수의 시·공간적인 분포 및 확장에 관한 연구에 있어서 지금까지는 수진원의 격월 정선 관측에 의거 분석하였기에 단기간의 변화를 파악하지 못하였다. 본 연구에서는 겨울철 남해연안수의 시·공간적인 분포 특성을 파악하기 위하여 NOAA 인공위성 관측에 의한 해면수온분포를 이용

하였다. 남해의 저온연안수 분포는 인공위성 열적외선 영상에 의한 해면수온 분포로 쉽게 관측할 수 있다. 이 열적외선 영상에 의한 해면수온과 현장관측에 의한 수온과는 약 2~4℃ 차이는 있지만 (FRDA, 1988) 이는 절대온도 차이이므로 저온의 연안수분포 파악에는 별다른 지장이 없다. 따라서 인공위성 관측에 의한 단기적인 남해연안수의 시·공간적인 분포 파악과 동시에 수산진흥원에서

1988년 2월과 4월에 관측한 수온과 염분 자료와 비교하여 수직구조를 파악하였으며 중앙기상대의 연안측후소(목포와 여수 측후소)에서 1시간 간격으로 관측한 바람자료를 분석하여 남해연안수의 시·공간적인 변화에 바람이 미치는 영향을 파악하였다. 또한 대기와 바람에 의한 남해연안수의 관계를 명확히 하고자 1983~1987년 수산진흥원 정선관측에 의한 수직구조와 바람의 변동을 비교하였다. 내부수온 규명을 위하여 수산진흥원 누넌(1962~1988) 평균과 남해연안수 확장형태에 따른 수온변이를 비교하였다.

결 과

1. 남해연안수의 확장과 바람과의 관계

가) 1988년 2월의 경우

저온의 특징을 보이는 남해연안수의 분포는 인공위성을 통한 해면수온 분포로 쉽게 관측할 수가 있다. Fig. 2a의 해면수온 분포는 1988년 2월 1일 03시에 관측한 것인데 여수만 남쪽과 거제도 남쪽에서 외해로 확장하는 저온의 남해연안수 분포를 볼 수가 있다. 이러한 분포는 단시일에 변하는데 그 예로 2월 10일 영상(Fig. 2b)을 보면 거제도 남쪽의 남해연안수 확장은 거의 나타나지 않고 여수만 남쪽과 거문도 부근까지 분포함을 볼 수가 있다. 인공위성 관측에 의한 연안수의 분포는 같은 기간(10일~11일)에 수산진흥원에서 정선관측한 결과에도 잘 나타난다. 이로써 인공위성 관측에 의한 연안수의 분포와 선상 관측에 의한 분포가 일치함을 볼 수가 있으며 또한 내부수온 구조도 알 수가 있어 남해연안수의 수직구조 및 그 변화를 파악할 수가 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 Fig. 2b에 나타난 거문도 부근과 여수만 남쪽의 남해연안수는 11°C 이하의 특징을 가지며 염분은 34.0~34.2‰을 나타낸다. 수산진흥원 205정선(Fig. 1) 수직구조는 11°C 이하의 남해연안수가 해저면을 따라 외해로 뻗어 있고 외해에서는 상승한 모양을 보여준다(Fig. 4). 또한 염분의 수직구조는 34.2‰의 등염선이 11°C 등온선과 같은 형태를 이루고 있으며 연안의 표층과 외해의 저층에 34.0‰의 등염선이 따로 떨어져 있다(Fig. 4). 이러한 남해 저층의 저온·고염수는 남해연안수의 특징을 갖고 있어 연안으로 부터 이동되어 온 것을 추정할 수 있다. 이는 수온과 염분의 보존성을 고려할 때 남해연안수가 저층으로의 침강확장함을 나타낸다. 또한 등온선의 상승한 듯

한 모양은 남해연안수가 지속적으로 확장한 것이 아니라 어떠한 외력의 변화에 의해 간헐적으로 확장한 것을 나타낸다. 이러한 외력은 조류에 의한 영향도 있겠지만 조류는 주기도 짧으며 이동거리도 20km 이내일뿐 아니라 주로 동서방향으로 이동한다. 남해연안수의 변화에는 강한 북서계절풍의 세기와 변동이 중요한 외력으로 작용한다고 볼 수 있을 것이다.

바람의 영향을 파악하기 위해 1988년 2월에 목포와 여수 측후소에서 1시간 간격으로 관측한 바람을 분석한 결과 남해연안수의 확장과 바람과 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다(Fig. 5). 목포의 동서성분 RMS평균은 5.57 m/sec(sd=3.87)이고 남

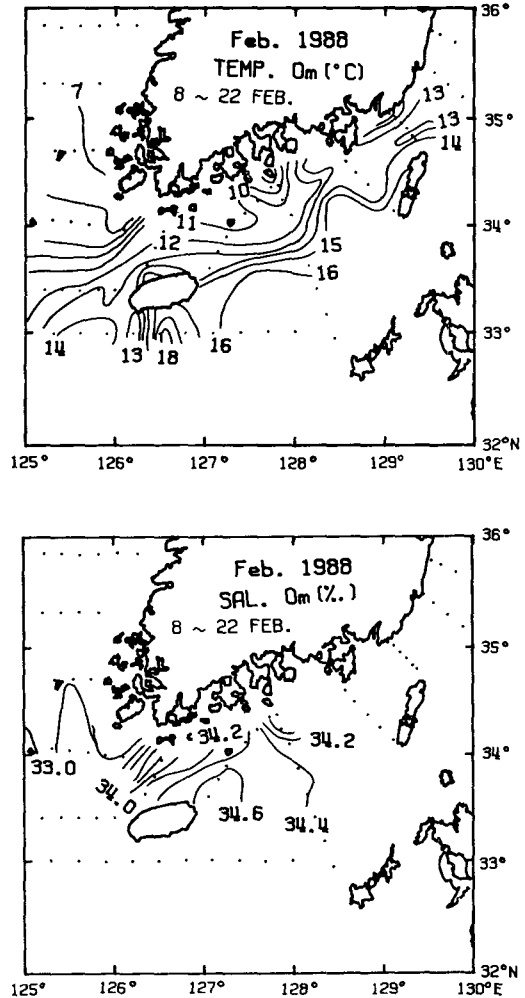


Fig. 3. Horizontal distribution of surface temperature and salinity in 8~22 February 1988.

북성분은 2.49 m/sec ($sd=1.83$)이고 여수의 동서와 남북 성분 RMS평균은 3.97 m/sec ($sd=2.76$), 3.72 m/sec ($sd=3.72$)로 목포측후소의 경우 동서성분보다 남북 성분이 우세한 것을 보여주고 있다. 특히, 시간적인 분포를 보면 인공위성 관측과 수산진흥원 관측 전인 7일 경에 10 m/sec 이상의 강한 북서풍이 불었고 7일 이후는 계속 북서풍이 불고 있다. 그 결과 취송류와 밀도차에 의해 남해연안수의 외해로의 확장이 가능할 것이다. 바람 영향에 의한 Ekman depth(D_E) (Pond and Pickard, 1983)는

$$D_E = \frac{4.3W}{\sqrt{\sin \Phi}}$$

여기서, W : wind speed (m/sec)

Φ : latitude

로 표시된다. 이 공식으로 10 m/sec 바람에 대한 Ekman depth를 구하면 약 58 m 가 된다. 이 깊이에 대한 spin-down time(T_s)은 Pedlosky(1986)의

$$T_s = \frac{D}{\sqrt{2A_v f}}$$

여기서 A_v : vertical eddy viscosity

(430 g/cm sec in 10 m/sec wind ; Schmidt, 1917)

f : coriolis parameter

에 의하면 약 3.4시간이면 된다. 또한 바람에 의한 표층수 이동속도(Pond and Pickard, 1983)는

$$V_0 = \frac{0.0127W}{\sqrt{\sin \Phi}}$$

에 의해 10 m/sec 의 바람에 대해 약 17 cm/sec 의 표층수 이동속도를 추산할 수 있다. 이 속도로 표층수가 이동하면 3일부터 4일동안 약 58.8 km 를 이동할 수가 있으며 밀도차에 의해 저층으로 침강하면서 확장할 것이다. 따라서 외해의 저층에 존재하는 연안수는 3일 경의 북풍에 의한 확장으로 인한 것이고 7일 이후부터 계속 확장하고 있는 것이 연안의 표층에 나타나는 것으로 볼 수 있다(Fig. 4).

남해연안수의 분포는 겨울철 강한 바람의 영향을 크게 받으며 북서풍이 강할 때 외해로 확장하며

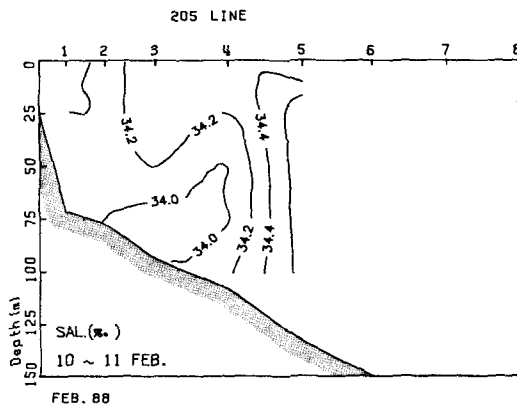
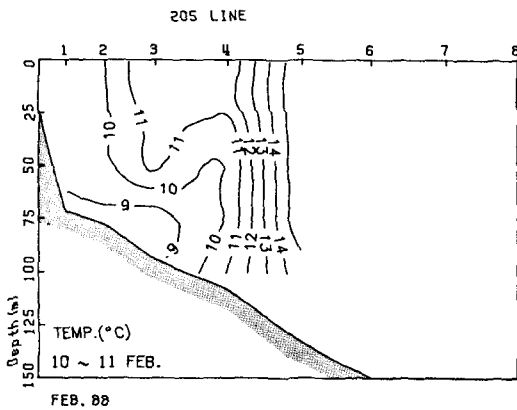


Fig. 4. Vertical section of temperature and salinity at Line-205 in 10~11 February 1988.

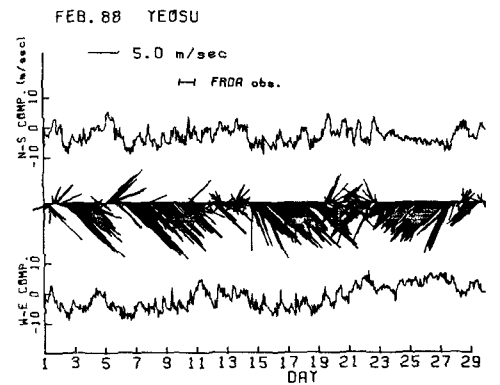
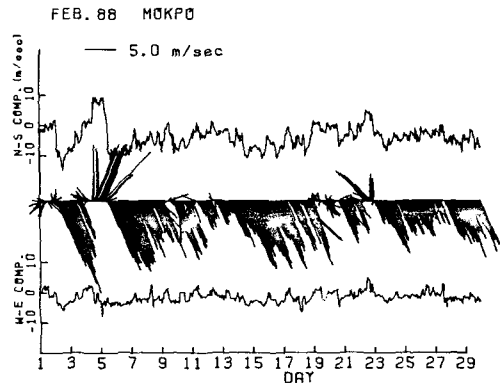


Fig. 5. Vector diagrams of hourly wind at Mokpo and Yeosu in February 1988.

밀도차에 의해 침강확장함을 볼 수 있다. 남해연안수의 침강확장은 1983년 수산진흥원 205정선관측 수직구조에서도 잘 나타난다(Fig. 6b, c). 이때는 한번의 남해연안수 침강확장을 볼 수 있는데 수산진흥원 정선관측(3~4일)전인 1~2일에는 강한 북서풍이 불었는데 수산진흥원 관측기간에는 거의

불지 않고 있다(Fig. 6a). 반면에 1985년 2월의 경우는 다른 해와 달리 북서계절풍이 지속적으로 불지도 않고 주기성도 약하게 나타난다(Fig. 7a). 이로 인해 남해연안수가 확장하지 못한 모양을 보여 준다(Fig. 7b, c).

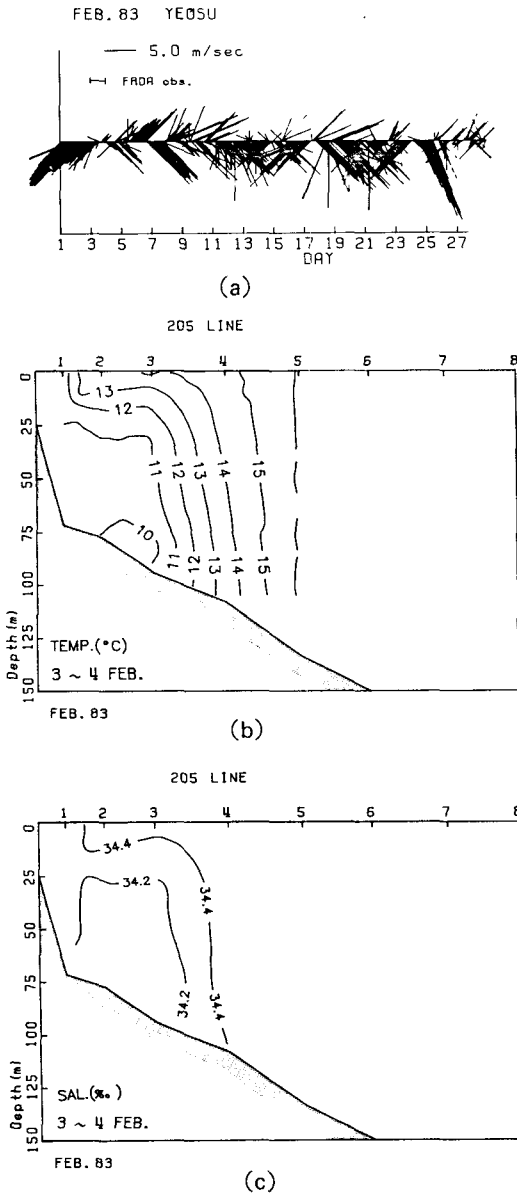


Fig. 6. Vector diagrams of hourly wind at Yeosu in February 1983(a). And vertical section of temperature(b) and salinity(c) at Line-205 in 3~4 February 1983.

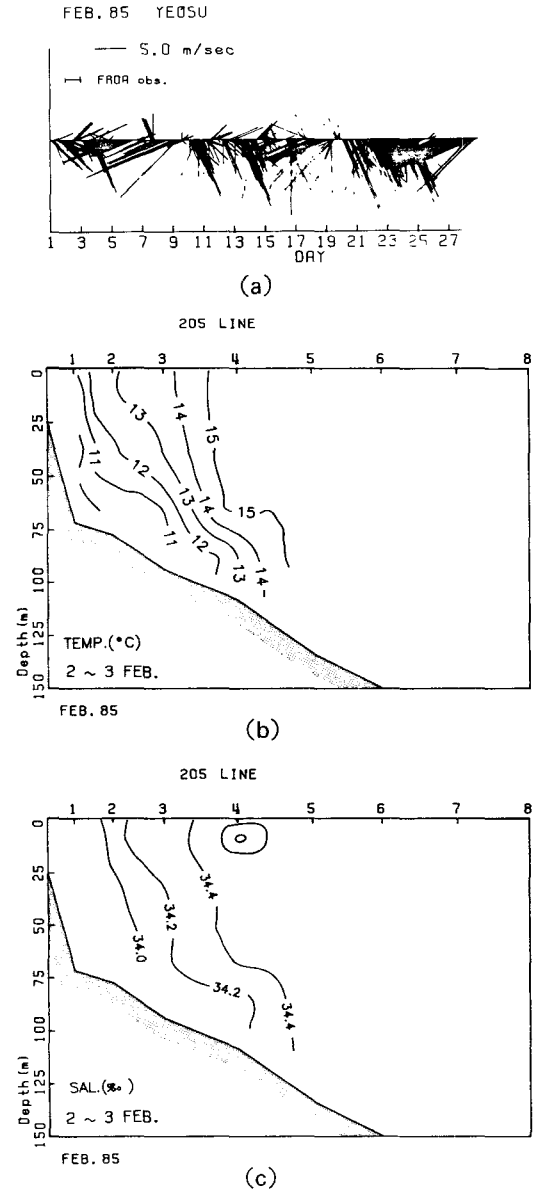


Fig. 7. Vector diagrams of hourly wind at Yeosu in February 1985(a). And vertical section of temperature(b) and salinity(c) at Line-205 in 2~3 February 1985.

나) 1988년 4월의 경우

남해연안수가 침강확장하는 경우 표층의 남해연안수 분포는 연안 가까이에서만 관측된다. Fig. 2c에서 보는 바와 같이 1988년 4월 13일의 경우는 저온수가 외해까지 분포하고 있으며 2일 후인 15일 영상에서는 남해연안수가 동쪽으로 이동한 것이 더욱 뚜렷이 나타난다(Fig. 2d). 이와같이 남해연안수가 표층에서 외해로 확장한 형태는 1988년 2월의 침강확장과는 다른 남해연안수 확장형태를 암시한다.

수산진흥원 정선관측에 의한 해면수온 분포는 인공위성 관측(Fig. 2c, d)에 의한 저온수 분포와 잘 일치하고, 남해연안수가 외해까지 분포함을 보여주고 있다. 반면에 염분분포는 저염수가 서에서 동쪽으로 이동하는 듯한 모양을 보여준다(Fig. 8). 수온의 수직구조는 연안에 11°C 이하의 저온의 연안수가 분포하고 정점4 부근의 표층에 저온수

(12.0~12.5°C)가 30m 정도의 두께로 분포한다. 염분의 수직구조에서는 정점4 부근의 저온수가 34.4‰ 이하의 염분을 나타내며, 이는 주위의 난류수보다는 저염으로 연안의 염분과 비슷한 성질을 나타낸다(Fig. 9). 즉, 남해연안수가 1988년 2월과 같이 침강확장하지 않고 표층에 떠서 외해로 밀려나간 형태를 볼 수 있다. 남해연안수의 표류확장은 여수측후소의 바람 변화로 설명할 수 있을 것이다. 여수 측후소 바람은 매우 불규칙하나 4월 7일경에 10m/sec 이상의 강한 북서풍이 불었고 수산진흥원 정선관측 기간이 10~11일에는 거의 불지 않는다(Fig. 10). 따라서 7일경의 북서풍에 의해 남해연안수가 확장할 수 있을 것이다. 즉 외해로 저온·저염수는 7일경에 강하게 분 바람으로 인해 외해로 60km 정도 밀려나간 결과이다.

남해연안수 표류확장은 1986년 4월의 경우는 미약하다(Fig. 11a, b). 이때는 북서풍의 지속적인 영

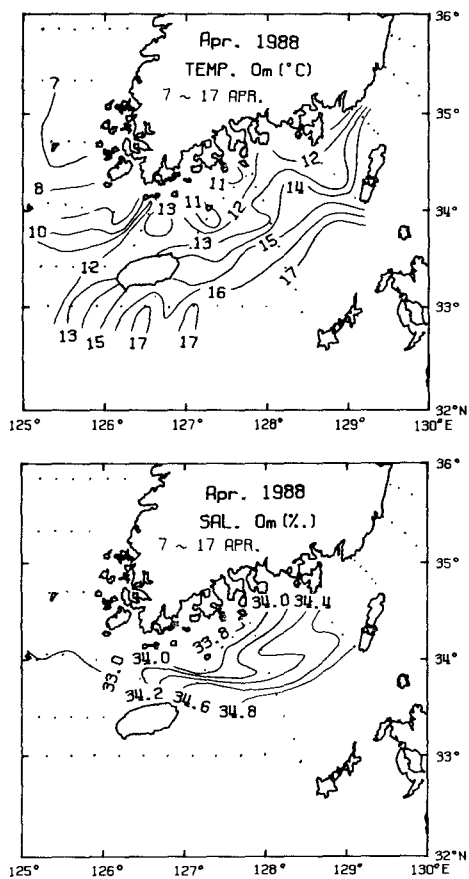


Fig. 8. Horizontal distribution of surface temperature and salinity in 7~17 April 1988.

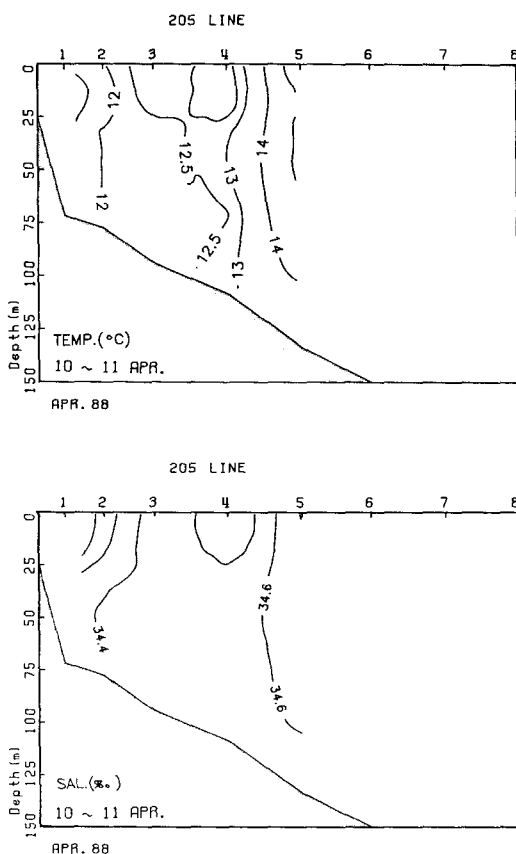


Fig. 9. Vertical section of temperature and salinity at Line-205 in 10~11 April 1988.

향을 거의 볼 수 없으며 남풍이 많이 나타나므로 짧은 북서풍의 영향으로 남하한 남해연안수가 외해로 확장한 후에 남풍에 의해 표층에서 연안으로 밀려 들어간 형태를 볼 수 있다(Fig. 11a). 한편 1984년 4월의 경우는 1988년 2월과 같이 침강확장한 것을 보여준다(Fig. 12a, b). Fig. 12a의 수온의 수직구조에는 정점2와 3의 저층에 10℃ 이하의 남해연안수가 따로 떨어져 있으며 표층에서는 난류수가 연안으로 밀려 들어오는 모양을 보여준다. Fig. 12c의 여수측후소 바람분포를 보면 수산진흥원 정선관측 전인 9일~11일 경에 북풍계열의 바람이 불었고 12일에는 남풍이 불고 있다. 즉, 9~11일의 북서풍에 의해 저층으로 확장하였고 12일에는 남풍에 의해 표층수가 연안으로 밀려 들어오고 있다.

2. 남해연안수의 확장과 수온전선 변화

남해를 균질한 해수로 가정하였을 경우 바람에 의한 마찰력의 영향을 받는 Ekman depth는 수십과 거의 같게 된다. 남해는 해수전층이 바람에 의한

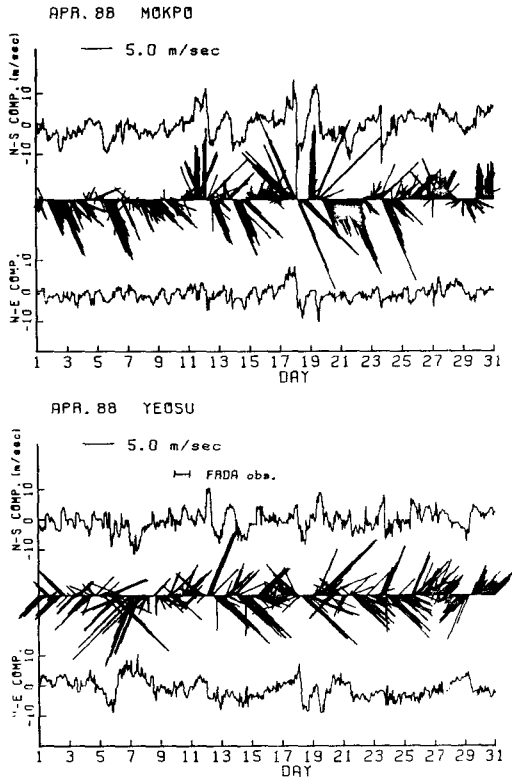


Fig. 10. Vector diagrams of hourly wind at Mokpo and Yeosu in April 1988.

마찰력의 영향을 받으며 표층해수는 바람방향의 45°가 아니라 바람방향과 거의 평행하게 이동하고 이동속도는 바람 속도의 약 3~4%가 된다(Neumann and Pierson 1966). 남해연안수는 11℃ 이하의 저온, 33.8~34.2‰의 고염의 특징을 보이며 겨울철 강한 북서풍과 밀도의 영향을 받아 외해로

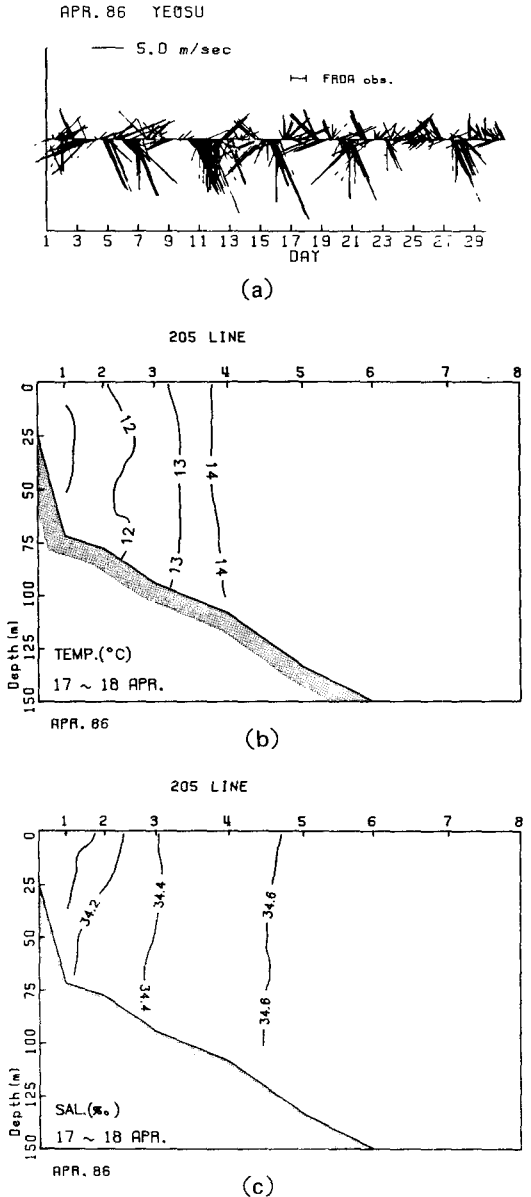


Fig. 11. Vector digrams of hourly wind at Yeosu in April 1986(a). And vertical section of temperature(b) and salinity(c) at Line-205 in 17~18 April 1986.

확장하며 확장형태는 침강확장과 표류확장으로 구분된다.

확장형태의 차이는 sigma-t 분포로 잘 알 수가 있는데, 침강확장하는 1988년 2월의 경우는 연안의 표층 sigma-t가 저층보다 높게 나타나며 4월의 경우는 표층이 낮게 나타난다(Fig. 13). 또한 1979

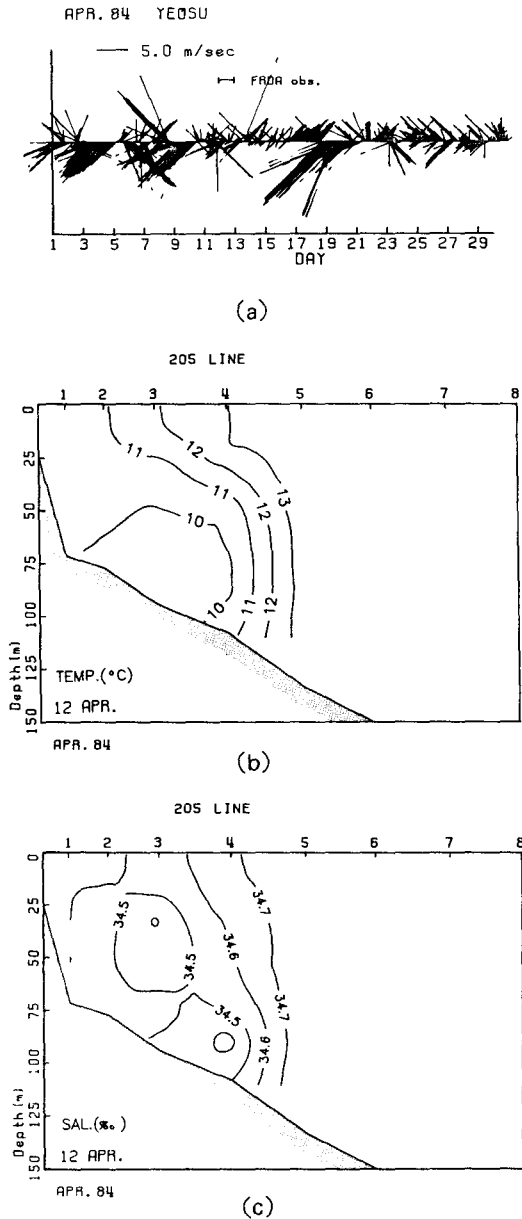


Fig. 12. Vector digrams of hourly wind at Yeosu in April 1984(a). And vertical section of temperature(b) and salinity(c) at Line-205 in 12 April 1984.

년~1987년 까지의 수진원 관측에 의한 sensible heat flux(H)를 bulk aerodynamic 공식(Garwood et al., 1981).

$$H = \rho_a C_p C_D W (T_s - T_a) \text{ (cal/cm}^2 \text{ sec)}$$

여기서 ρ_a =air density

C_p =heat capacity(0.2404 cal/g°C)

C_D =drag coefficient(1.3×10^{-3})

T_s =sea surface temperature

T_a =air temperature

을 이용하여 계산해 보면, 2월에는 전부 음의 값을 보인다(Fig. 14). 이로 인해 남해연안수의 밀도가 높아지고 해수면으로 부터 계속 열을 빼앗기기 때문에 침강확장이 일어난다. 4월의 경우는 sensible heat flux가 양의 값을 가지므로 남해연안수가 확장하는 동안 계속 열을 공급하므로 가벼워져 표류확장이 일어난다.

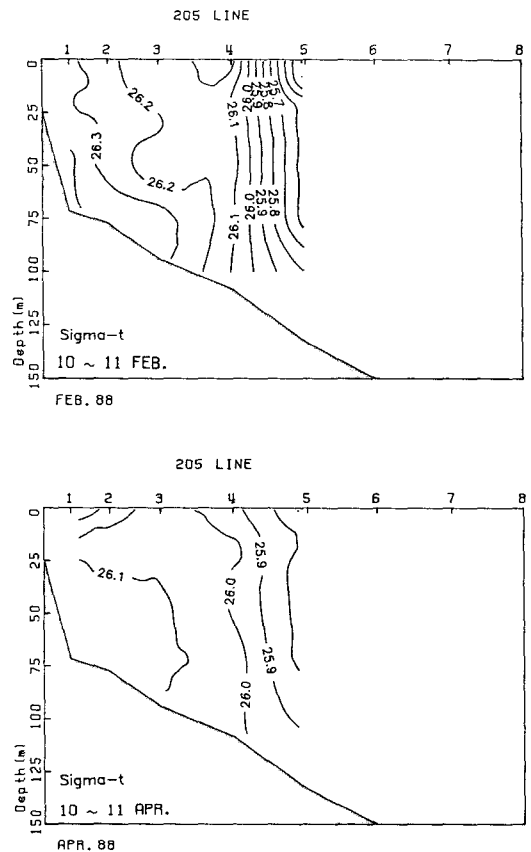


Fig. 13. Vector section of sigma-t at Line-205 in February and April 1988.

남해연안수의 확장과 바람의 변화에 따라 수온 전선의 위치 및 수직구조가 변화한다. 남해의 수온 전선 위치 변동에는 대만난류수 세력 확장에 의한 영향도 받겠지만 남해연안수의 확장 및 바람의 변화에 의한 영향이 더 뚜렷이 나타남을 볼 수 있다. 그 예로 남해연안수가 침강확장하는 1988년 2월의 수온전선은 남해연안수의 강한 확장과 우세한 북풍으로 인해 정점4와 5사이에서 강하게 나타난다(Fig. 4). 이 수온전선에서의 수평 수온변화율은 표층에서 0.1529°C/km, 50 m층에서 0.2121°C/km로 매우 급격한 변화를 보이며, 수평 염분변화율은 표층에서 0.0011‰/km, 50 m층에서 0.0262‰/km로 저층이 더 크게 나타난다(Table 1). 반면에 남해연안수가 멀리까지 확장하지 못한 1983년 2월과 전혀 확장하지 못한 1985년 2월의 경우는 수온전선이 약하게 나타나며(Fig. 6과 7), 그 위치로 연안에 가까이 존재한다. 이때의 수온전선에서의 수평 수온 변화율은 Table 1에서 보는 바와 같이 1983년 2월에 표층에서 0.0343°C/km, 50 m층에서 0.1017°C/km 이고, 1985년 2월에는 표층에서 0.0910°C/km, 50 m

층에서 0.963°C/km로 1988년 2월보다 작게 나타난다. 또한 침강확장하는 경우 수온전선에서 수온과 염분의 수평 변화율은 표층보다 저층이 더 크게 나타내며(Table 1), 수온전선 위치도 표층보다 저층에서 외해에 분포한다.

남해연안수가 표류확장하는 1988년 4월의 수온 전선은 계절적인 영향도 있겠지만 침강확장하는 때와 다른 형태를 나타내며 수온 전선이 비교적 약하게 나타난다. 1988년 4월의 수온전선은 정점4와 5사이에 나타나며(Fig. 9), 수평 수온변화율은 표층에서 0.1202°C/km, 50 m층에서 0.0768°C/km로 저층보다 표층이 더 크게 나타난다(Table 2). 수평 염분변화율 역시 표층이 더 큰 0.0212‰/km와 0.0104‰/km을 나타낸다. 1986년 4월의 경우는 표층의 수평 수온변화율이 0.0463°C/km, 저층이 0.626°C/km로 저층이 약간 크게 나타난다. 북풍계열의 바람이 약하게 불은 1986년 4월의 남해연안수 확장은 1988년 4월보다 약하게 나타난다. 이때는 수온전선도 약하게 형성되어 수평 수온변화율이 작게 나타나고 염분변화율은 비교적 크게 나타난다. 또한 남해연안수의 표류확장으로 인해 표층에서 수온과 염분의 수평 변화율이 큰 값을 가진다. 침강확장하는 1984년 4월의 경우는 저층에서 수평 수온변화율이 크게 나타난다(Table 2).

남해연안수가 외해로 확장하게 되면 밀려 나간 만큼의 물이 보충되어야 한다. 이를 보충하기 위해 침강확장하는 경우는 표층에서 외해의 난류수가 연안으로 들어오고, 표류확장하는 경우는 해저면을 따라 밀려 들어오게 된다. 이러한 남해연안수의 확장과 난류수의 보충으로 인해 남해연안수와 난류수 사이에 혼합이 발생한다. 남북단면상에서 볼때 남해연안수가 해저면으로 침강확장할때는 표층에서 외해의 난류수가 유입되어 반시계방향의 혼합이 일어나고, 표류확장시는 표층으로 남해연안수가 확장하고 저층으로 난류수가 유입되므로 시계방향의 혼합이 일어난다. 따라서 남해연안수의 확장 및 변동은 남해의 수온전선 위치와 그 구조에 커다란

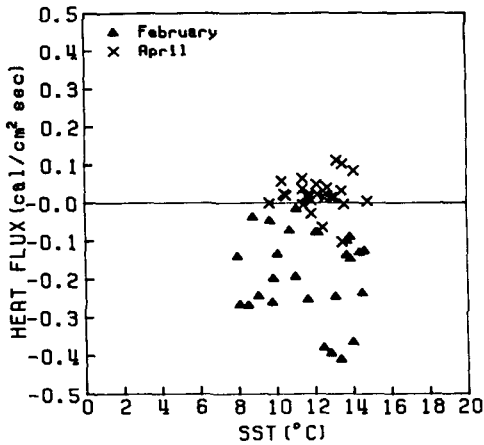


Fig. 14. Scatter diagrams of sensible heat flux versus sea surface temperature.

Table 1. Horizontal temperature and salinity gradients at thermal front in February

| Year | Depth (m) | Gradient of temp. (°C/km) | Gradient of sal. (‰/km) |
|------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 1983 | 0 | 0.0343 | 0.0009 |
| | 50 | 0.1017 | 0.0075 |
| 1985 | 0 | 0.0910 | 0.0115 |
| | 50 | 0.0963 | 0.0116 |
| 1988 | 0 | 0.1529 | 0.0011 |
| | 50 | 0.2121 | 0.0262 |

Table 2. Horizontal temperature and salinity gradients at thermal front in April

| Year | Depth (m) | Gradient of temp. (°C/km) | Gradient of sal. (‰/km) |
|------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 1984 | 0 | 0.0521 | 0.0052 |
| | 50 | 0.1267 | 0.0061 |
| 1986 | 0 | 0.0463 | 0.0103 |
| | 50 | 0.0626 | 0.0099 |
| 1988 | 0 | 0.1202 | 0.0212 |
| | 50 | 0.0768 | 0.0104 |

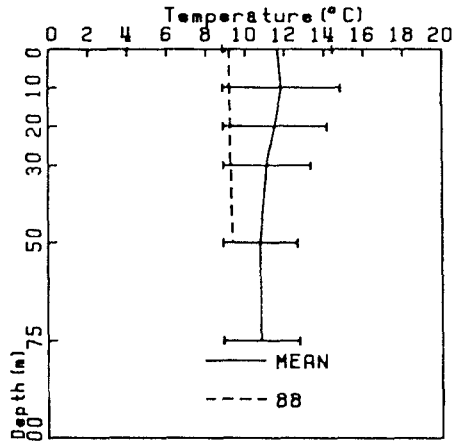
영향을 미침을 알 수 있다. 남해연안수가 강하게 확장할 경우 수온전선은 외해에 강하게 형성되고 약하게 확장할 경우는 연안 가까이에 약하게 형성된다. 또한 남해연안수의 침강확장시는 표층보다 저층에 강한 수온변화가 나타나며 표류확장시는 저층보다 표층에 강한 수온전선이 나타난다.

3. 내부수온구조

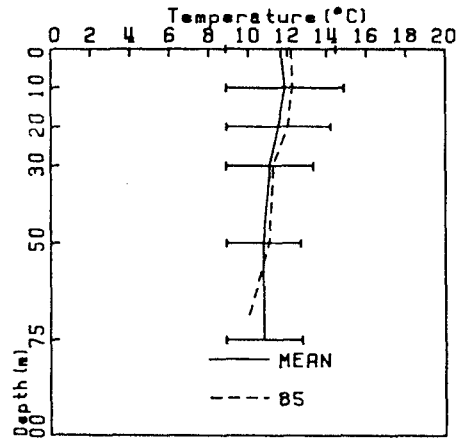
인공위성에 의한 해면수온분포 관측은 내부의 수온구조를 알지 못한다는 제약을 받고 있다. 따라서 해면수온분포와 내부수온 변화와의 관계를 규명하고 이에 따른 내부수온의 예측은 인공위성을 통한 해면수온 관측으로 해역별 수온구조와 해수유동을 파악하는데 많은 도움을 줄 것이다. 남해연안수가 침강확장 혹은 표류확장을 함에 따라 수온의 수직구조는 커다란 영향을 받는다. 따라서 해면수온에 의한 내부 수온구조를 파악하기 위하여 확장형태에 따른 수온의 수직적인 변화 특성을 고려해야 한다.

남해연안수 확장형태에 따른 수직구조를 수진원 205-2정점의 25년간 관측평균과 비교하여 보면 그 특징을 알 수가 있다. Fig. 15에서 실선은 25년간의 평균값이고 평균값 좌우변화는 표준편차를 나타내고 점선은 각 월별 관측에 의한 수직구조를 나타낸다. 이에 따르면 남해에서의 수직수온분포는 표층과 저층이 거의 같은 값을 나타내고 표준편차는 4월보다 2월이 크게 나타나며 표층이 저층보다 크게 나타난다. 남해연안수가 거의 확장하지 않는 1985년 2월의 경우는 평균수직 구조와 거의 같은 구조를 보여주는데 남해연안수가 침강확장하는 1988년 2월의 경우는 전층의 평균보다 훨씬 낮게 나타나고, 표류확장하는 1988년 4월의 경우는 30m까지만 평균보다 낮게 나타나고 그 이하층은 평균과 같은 구조를 보여준다(Fig. 15).

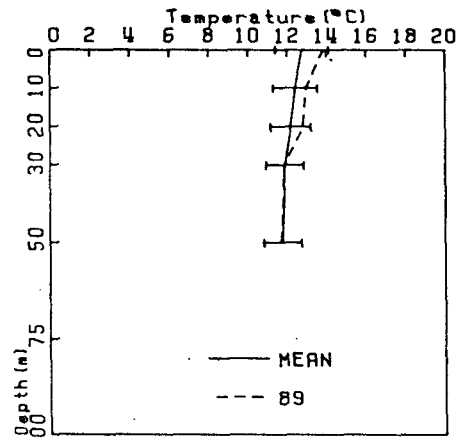
남해연안수의 확장은 남해에서 수온의 수직구조에 커다란 영향을 미치며 남해연안수의 수온은 지금까지 관측한 수온의 표준편차 하한값과 거의 일치함을 볼 수 있다. 또한 북서계절풍이 강하고 남해연안수의 확장이 활발한 2월의 경우의 표준편차는 4월보다 훨씬 크게 나타난다. 따라서 남해의 수온변화는 주로 남해연안수의 확장파 그 변동에 의한 것이고, 남해연안수의 확장 형태에 따라 수온의 수직구조가 결정됨을 알 수 있다. 그러므로 인공위성관측에 의한 해면수온분포로 그 내부구조를 결정하고자 할 경우 남해연안수 확장과 그 확장형태를 먼저 결정하면 내부구조 파악에 많은 도움을 주리라 본다.



205-2 65 ~ 89 FEB.



205-2 65 ~ 89 FEB.



205-2 65 ~ 89 APR.

Fig. 15. Temperature differences between mean and observations at Line-205 in Feb. 1988, Apr. 1988 and Feb. 1985.

결과 및 고찰

연안에서 겨울철 냉각에 의하여 형성된 저온의 연안수는 그 형성 위치에 따라 남해연안수와 서해남부연안수로 구분한다. 한국 남해는 수심이 100m 이내의 완만한 대륙붕으로 연안수가 외부적인 힘의 영향을 쉽게 받는다. 연안수의 시·공간적인 분포는 인공위성을 통한 열적외선 영상과 같은 기간선상관측 자료를 비교하면 쉽게 파악할 수가 있는데 남해연안수가 짧은 시간에 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 Kang(1974), Lim(1976) 등이 제시한 계절적인 변동보다 훨씬 짧은 것으로 연안수의 변화에 영향을 미치는 외부적인 힘 즉, 강한 바람이 1~4일 동안에 변화한 결과이다.

남해연안수는 남해연안에서 형성되어 거문도-소리도 사이와 거제도 남쪽에서 북풍계열의 바람에 의해 외해로 확장하며 밀도의 영향으로 인해 침강확장 혹은 표류확장을 한다. 남해연안수의 확장 및 변동에 영향을 미치는 외부적 힘으로 남해의 조류와 대마난류의 변동도 고려할 수 있겠으나 조류는 남해 연안에서 북북서-남남동류하지만 외해에서는 서-동류하고 주기가 12.4시간인 반일주조로 남해연안수의 확장 및 변동에 커다란 영향을 미치지 못할 것이며 또한 대마난류의 변동 역시 남해연안수의 단주기 변동에 커다란 영향을 미치지 못할 것이다. 남해연안수의 확장 및 변동과 남해의 해수유동을 정리하면 다음과 같다.

1. 남해연안수는 남해연안에서 형성되어 겨울철 10 m/sec 이상의 강한 북서풍에 의해 외해로 확장하며 바람의 변동에 따라 단시일 동안에 변동을 한다.
2. 남해연안수의 확장형태는 확장시의 기상조건 (sensible heat flux의 부호)에 따라 침강확장과 표류확장을 하는데, 침강확장시는 해저면을 따라 외해로 확장하고 표류확장시는 표층에서 30 m 정도의 두께로 외해로 확장한다.
3. 남해연안수의 확장은 남해의 수온전선에도 영향을 미치는데 남해연안수 확장이 강하게 일어날 경우 수온전선이 강한 변화를 보이고 표류확장시는 저층보다 표층에서 강한 수온전선의 변화를 볼 수 있다.
4. 남해의 내부수온구조는 남해연안수 확장에 의한 영향을 받으며 남해의 수온구조는 전층이 혼합되어 균질한 구조를 보인다. 남해연안수의 침강확장시 내부수온은 전층이 평균수온보다 낮게 나타나며 표준편차의 하한값과 거의 같다. 표류확장시는 표층의 30 m 정도만 평균보다 낮

게 나타나고 그 이하층은 평균과 비슷하게 나타난다.

인공위성을 통한 열적외선 영상에 의한 해면수온 관측으로 남해의 연안수 분포 및 시·공간적인 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 이 연안수들이 북풍계열 바람의 변화에 크게 영향을 받아 침강확장과 표류확장하는 시·공간적인 변화와 분포 특성을 알 수 있었다. 또한 남해연안수의 변동에 따른 난류수와의 혼합, 수온전선의 변화와 내부수온구조를 파악할 수 있었다. 이로써 인공위성에 의한 해면수온과 선상관측자료를 비교하여 인공위성 관측에 의한 내부수온 규명도 가능하리라 본다.

요 약

한국 남해연안 및 서해남부연안은 겨울철 강한 북서계절풍과 이에 동반된 냉기류 그리고 조석작용에 의해 수직혼합이 용이하며 이 혼합된 연안수는 그 형성 위치로 부터 외해로 이동되어짐이 인공위성 열적외선 영상으로 부터 쉽게 추적된다. 특히 이들 연안수들은 북서계절풍의 영향을 강하게 받아 서해남부연안수는 흑산도 부근에서 형성된 후 추자도 부근까지 남하하고 때때로 제주해협을 통과하여 남해로 유입된다. 남해연안수는 주기적인 북풍에 의하여 외해로 확장하는데, 확장형태에 따라 침강확장과 표류확장으로 구분할 수 있다. 침강확장은 남해연안수가 바람에 의하여 외해로 확장하는 동안 해수면에서 계속 냉각이 될 경우 밀도가 높아져 해저면으로 침강하면서 확장하는 경우이고, 냉각이 일어나지 않을 때는 표층에 떠서 외해로 확장된다. 이러한 확장형태에 따라 침강확장시는 그 연직적인 움직임이 난류수와 반시계방향의 혼합이 일어나고, 표류확장시는 시계방향의 혼합이 일어난다. 또한 남해연안수의 확장은 수온전선에도 영향을 미치는데, 침강확장시는 수온전선의 저층에서 급격한 수온변화가 나타나고 표류확장시는 표층에서 강한 변화가 나타난다. 확장형태에 따른 내부수온구조를 보면 침강확장시는 전층이 평균보다 낮게 나타나지만, 표류확장시는 표층에서만 평균보다 낮게 나타난다.

참 고 문 헌

- Chang, K. I., 1984. The structure of currents and its flow dynamics of the Jeju Strait. M. S. The-

- sis, Seoul National Univ., pp. 62(Korean).
- Cho, Y. K., 1988. A study on the bottom water and transport in the South Sea, Korea. M. S. Thesis, Seoul National Univ., pp. 55(Korean).
- FRDA, 1988. A study on application techniques of remotely sensed data(III). *Fish. Res. Dev. Agency Korea*, pp. 55(Korean).
- Garwood, R. W. JR., W. Fett, K. M. Rabe and H. W. Brandli, 1981. Ocean frontal formation due to shallow water cooling effects as observed by satellite and simulated by a numerical model. *J. Geophys. Res.*, 86(C11) : 11,000~11,012.
- Gong, Y., 1971. A study on the south Korean coastal front. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6(1) : 25~36 (Korean).
- Kang, C. J., 1974. A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, 12 : 107~121(Korean).
- Kim, B. K., 1979. A study on the currents in the Cheju Strait. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, 21 : 7~21(Korean).
- Kim, B. K. and D. S. Chang, 1984. A study on the currents in the southern waters of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, 33 : 7~20(Korean).
- Kim, H. J. and S. S. Yug, 1983. Inversion phenomena of temperature in the Southern Sea of Korea. *Bull. Korea Fish. Soc.*, 16(2) : 111~116 (Korean).
- Kim, S. H., 1987. A study on the current in the Cheju Strait. M. S. Thesis, Cheju National Univ., pp. 63(Korean).
- KORDI, 1986. Tidal front in the southwest area off Korea. Tech. Report, KORDI, BSPE 00058-93-1, pp. 106(Korean).
- Lee, C. K., 1974. A study on the currents in western channel of the Korea Strait. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, 12 : 37~108(Korean).
- Lee, J. C., J. Y. Na and S. D. Chang, 1984. Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19 (1) : 56~67.
- Lim, D. B., 1976. The movements of the waters off the south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 11(2) : 77~88.
- Neumann, G. and W. J. Pierson, Jr., 1966. Principles of physical oceanography. PRENTICE-HALL, London, pp. 191~197.
- Pedlosky, J., 1986. Geophysical fluid dynamics. 2nd. ed., Springer-Verlag, New York, pp. 710.
- Pond, S and G. L. Pickard, 1983. Introductory dynamical oceanography. 2nd ed., Pergamon Press, New York, pp. 329.
- Schmidt, W., 1917. Wirkungen der ungeordneten Bewegungen im Wasser der Meere und Seen, *Ann. d. Hydr. u. Marit. Meteorol.*, 45 : 367~381, 431~445(Berlin).

1990년 6월 26일 접수
1990년 9월 20일 수리