

한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선

양영진 · 김상현 · 노홍길
 제주대학교 해양과학대학

A Study on the Temperature Fronts observed in the South-West Sea of Korea and the Northern Area of the East China Sea

Young Jin YANG, Sang Hyun KIM and Hong Kil RHO
 College of Ocean Sciences, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

SST (Sea Surface Temperature) fronts which were found in the South-West Sea of Korea and the northern area of the East China Sea were examined in order to clarify their positions, shapes, seasonal changes and the formation mechanism. For this study used SST data rearranged from the SST IR image during 1991 to 1996 and oceanographical data obtained by National Fisheries Research and Development Institute. Temperature front in the Cheju Strait was analyzed by the data obtained from a fisheries guidance ship of Cheju Provincial Government.

The coastal frontal zone in the South-West Sea of Korea and the offshore frontal zone in the northern area of the East China Sea can be divided into several types (Type of Winter, Summer, Spring, Autumn and late Autumn).

Short term variations of SST fronts have a tendency not to move to any great extent for several days. The location of the frontal zone in the southwestern sea of Cheju Island changes on a much large scale than that of the one in the southern coast of Korea. The frontal zone, formed every year in the southern sea of Korea, approaches closer to the coastal area in winter, and moves closer to the south in spring and autumn. The frontal zone of the southwestern sea of Cheju Island moves in a westerly direction from the east, and reaches its most westerly point in the winter and its most easterly point in the summer related to the seasonal change of the Tsushima Current. Additionally, the frontal zone of the southwestern sea of Korea becomes extremely weak in March, April and November.

SST fronts are formed every year around the line connecting Chuja Island to Yeoseo Island or to Chungsan Island in the Cheju Strait. A Ring-shaped tidal mixing front appears along the coastal area of Cheju Island throughout the year except during the months from November to January. Especially, in May and October, fronts are formed between the coastal waters of Cheju Island and the Tsushima currents connecting the frontal zone of the coastal region in the southern sea of Korea with that of the southwestern sea of Cheju Island.

Key words: temperature fronts, South-West Sea of Korea, northern area of the East China Sea, Cheju Island, ring-shaped tidal mixing front

서 론

한국 남·서해 및 제주도 근해에서 동계에는 대마난류 및 황해난류, 황해냉수, 한국 남·서해 연안수 등이 출현하고 하계에는 고온·저염의 중국대륙연안수가 표층을 점유하면서 중·저층에는 황해저층냉수, 한국 남·서해 연안수, 대마난류수 등 (Nakao, 1977; Kim and Rho, 1994; Rho, 1985; Kim, 1995; Zhang et al., 1996)이 출현하여 이러한 이질수괴들이 시기와 계절별로 서로 상접하여 복잡한 해황을 형성한다. 그러므로 이들 해역에 출현하는 고온·고염의 난류세력과 저온·저염의 냉수세력 및 연안수들 사이에서 수온·염분 전선이 형성되며 이들 전선은 위치나 형상의 시·공간적 변화가 예상된다. 또 서로 다른 이질수괴가 부딪치는 전선역에는 와동현상이 발달하고 전선의 굴곡과 장벽효과 등으로 어류의 분포와

회유에 영향을 미치고, 어장형성기구의 해명 및 색이장, 성육장, 월동장으로 이동하는 어군들의 이동경로 추정에도 중요한 지침이 될 수 있다.

어장학적으로 매우 중요한 전선연구는 Nakao (1977), Cho (1986) 등의 대마난류수와 중국대륙연안수 사이에서 형성되는 전선에 관한 것과 한국 남해역과 한국 남서해역, 제주도 주변해역에서 형성되는 전선에 관해서는 Gong (1971), Zheng and Klemas (1982), Lee (1983), Lee et al. (1984), Cho (1986), Yang (1994), Yang (1998) 등이 있다. 한국 남서해역을 중심으로 한 전선과 어장에 관해서는 Gong (1971), Rho (1985), Cho (1986) 등의 여러 연구가 있다. 또한 Uda (1959), Kondo (1969), Gong and Son (1982), Park and Choi (1995) 등은 전선의 유무를 수치적으로 판단하여 제시하였다.

그럼에도 불구하고 한국 남·서해 및 동중국해 북부

해역에 형성되는 전선에 관하여는 그 구체적인 연구가 이루어져 있지 않다. 따라서 최근에 인공위성을 이용한 광역의 표층수온 동시 관측 시스템 개발에 의해 비록 표층수온전선에 한정되기는 하지만 국립수산진흥원으로부터 표면수온자료가 발표되고 있고, 또 제주해협에서 선박을 이용한 월별관측이 시행됨으로써, 이러한 자료들을 이용하여 한국 남·서해 및 동중국해 북부 해역에 형성되는 전선대의 위치 및 그 형상, 장·단기적 변동상황, 전선 형성기구 등에 대해 종합적이고 구체적인 연구를 실시하여 어·해황 예보의 정도 향상에도 필요한 기초자료를 제공하려고 했다.

재료 및 방법

연구대상해역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 한국남해, 한국서해의 남서부해역, 동중국해북부해역을 포함한다. 본 연구에서는 1991년부터 1996년까지 이 해역에 대한 국립수산진흥원의 인공위성 화상자료로부터 분석된 표면수온 자료를 사용하였다.

전선은 수온, 염분 등과 같은 환경요인의 수평경도가 급한 해역을 지칭하는 것으로 수평경도의 크기가 정해져 있는 절대값 개념이 아니고 등치선의 분포가 다른 해역

에 비해 조밀한 곳을 뜻하는 상대적 개념으로 사용하는 경우가 많지만 본 연구에서는 기준이 되는 수온수평경도 ($\Delta t(^{\circ}\text{C})$)를 다음 식에 의해 구해 전선역을 판정하는 기준으로 삼았다.

$$\Delta t(^{\circ}\text{C}) = \frac{t_2 - t_1}{\ell} \quad (t_1, t_2 \text{는 양 지점의 수온, } \ell \text{은 양 지점간의 거리})$$

그러나 해역의 환경특성에 따라 등온선의 분포가 비교적 조밀한 한국남서해, 제주해협 및 대한해협의 경우는 연안형의 전선대로 분류하여 수온수평경도가 $0.186^{\circ}\text{C}/\text{mile}$ 이상 되는 곳을, 등온선분포가 비교적 완만한 동중국해의 경우는 외해형의 전선대로 분류하여 수온수평경도가 $0.106^{\circ}\text{C}/\text{mile}$ 이상인 곳을 전선역으로 구분하여 이들 전선역의 중앙부를 전선이라고 표시하였고, 또한 계절별 차등은 두지 않았다. 이러한 수온전선의 구분기준에 관해 Uda (1959)의 경우 수온의 수평경도가 $0.05 \sim 0.5^{\circ}\text{C}/\text{mile}$ 이상인 곳, Gong and Son (1982)은 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{mile}$ 이상인 불연속대를, Park and Choi (1995)는 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{mile}$ 이상인 곳을 수온전선으로 보았다.

특히 제주해협에 대한 전선형성상태를 파악하기 위하여 Fig. 2와 같이 설정된 해양관측 정선을 따라 제주도청 소속 어업지도선인 삼다호 (250G/T)에 의해 1995년 1월

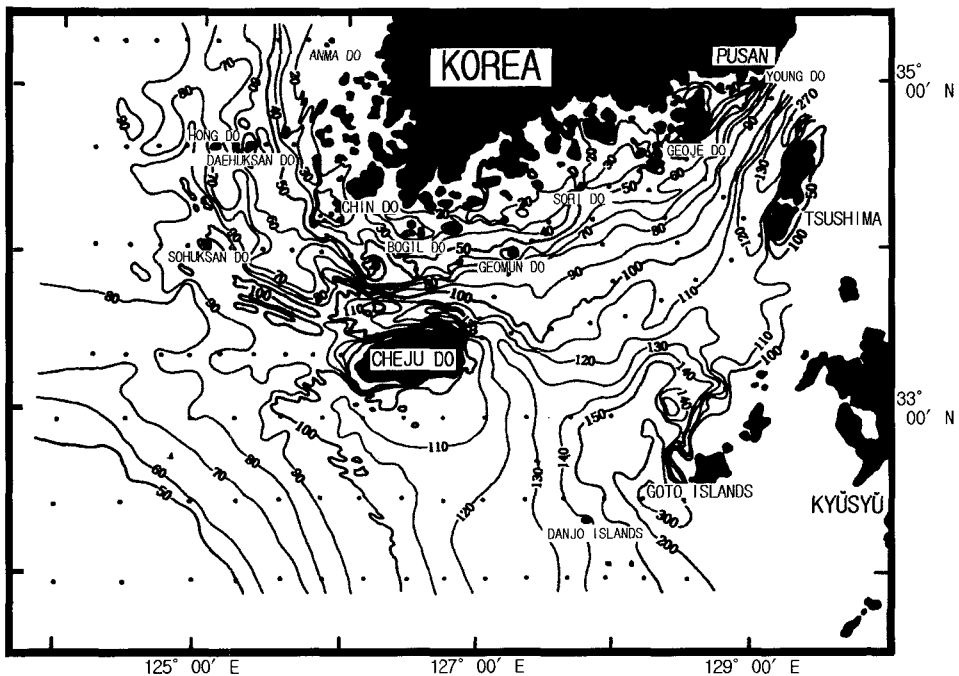


Fig. 1. Bottom topography of the study area. Depths are in meters.

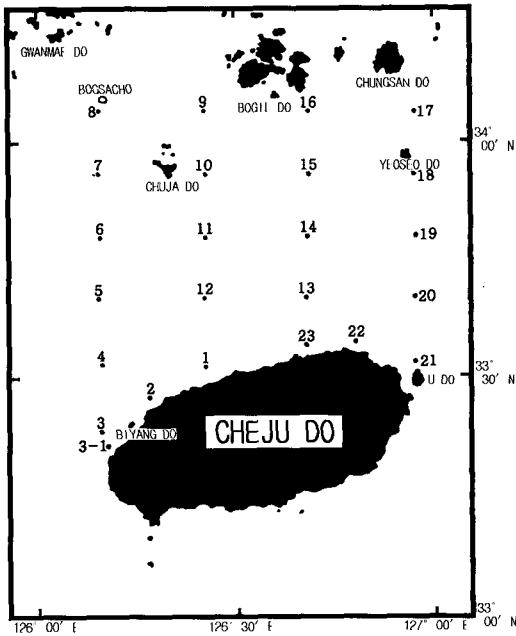


Fig. 2. Oceanographic stations in the Cheju Strait.

부터 1996년 12월까지 매월 조사한 CTD (SBE-19, Sea Bird Co.) 수온자료를 활용하였다.

결 과

1. 전선의 출현해역과 변동특성

1) 연별 전선출현 특성

Fig. 3의 a~f는 인공위성에 의해 관측된 표층수온자료로부터 구해진 전선역의 중심위치를 1991년에서 1996년까지 연별로 나타내고 있다. 전선이 집중적으로 분포하고 있는 곳은 소흑산도 부근에서 제주해협과 대한해협 서수도로 이어지는 해역으로 이 전선역은 연별 변화가 거의 없이 매년 같은 해역에서 나타나고 있으며 분포범위의 북쪽한계는 연안천해역(약 50 m 이천해역)으로 대체로 소흑산도, 추자도, 보길도, 청산도, 소리도, 거제도 등을 잇는 선 부근이며 (Fig. 1. 참조) 남쪽한계는 대마도 남단에서 제주도 동쪽을 잇는 선과 제주도 서쪽 33.5°N 부근 해역으로 추정된다.

또 다른 전선 밀집역은 소흑산도에서 홍도를 잇는 선의 이동해역인 한국 남서 연안 천해역이다. 이 전선역은 연별 전선 출현율이 1991~1993년은 낮고 1994~1996년은 높아 해에 따라 출현 상황이 한국남해의 전선역 보다는 다소 변화가 있지만 매년 출현하고 있다. 그러므로 소흑산도에서 홍도를 잇는 선의 이동해역인 한국 남서

연안역과 소흑산도, 제주해협, 대한해협 서수도를 연결하는 한국 남해 연안역에는 “L” 자형의 전선대 (이하 연안형 전선)가 형성되고 있다. 이러한 연안형 전선역 이외에 제주도 서쪽 33°30'N, 124°E 부근해역에서 남~남동 방향으로 길게 뻗은 “\” 형태의 전선 (이하 외해형 전선)이 있다. 이 해역의 전선대는 연별로 출현 위치나 그 폭이 변동하는 것 같다. 이처럼 전선 형성 위치가 연별로 변동이 큰 것은 제주도 서쪽 및 남쪽 해역에 출현하는 대마난류수 및 중국대륙연안수의 연별 세력변동이 크기 때문인 것 같다. 그리고 연안형 전선대와 외해형 전선대는 제주도 서쪽해역에서 서로 마주쳐 “ ” 형태로 연결되기도 하나 1991년, 1993년에는 거의 단절된 경우도 있는데, 이것은 동계 이 해역에서 황해난류수가 황해 중앙부를 향하여 설상으로 확장되는 것과 깊은 관계가 있다고 사료된다.

상기 주요 전선대외에 제주도 주변 연안역에서도 삼주위를 완전히 둘러싼 환형 (Ring-shaped)의 형태로 거의 매년 나타나고 있으며, 특히 1994년, 1996년에 보다 뚜렷하다. 또 연안형 전선대의 남쪽한계인 대마도 남단에서 제주도의 우도부근까지 이어지는 전선이 제주도 동쪽 및 남쪽을 거쳐 남서단에 이른 후 남쪽방향으로 뻗은 형태의 전선대도 매년 출현하고 있다. 전선 출현율은 낮지만 일본 오도열도 주변에도 1992년, 1995년, 1996년에 전선대가 출현했다.

2) 전선의 월변동

연구대상해역의 연별 전선 분포상태는 이 해역에 전선이 자주 출현하는 곳을 파악하는데 도움이 되지만 계절별 특성을 파악할 수 없는 단점이 있다. 따라서 Fig. 4와 같이 1991년부터 1996년까지 6년 동안의 월별 전선위치를 나타내어, 이 월별 분포도로부터 동계 (1~3월), 춘계 (4~6월), 하계 (7~9월), 추계 (10~12월)로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

동계 (1월~3월): 연안형 수온전선대와 외해형 전선대가 잘 나타나고 있다. 동계의 특성은 한국 남해 연안에서 소흑산도 서쪽까지 연중 가장 긴 동서 방향의 전선대가 좁은 범위에 집중적으로 출현하며 그 위치도 연중 가장 연안쪽에 치우쳐 있다. 또 소흑산도와 추자도 사이의 제주해협 북서해역에서 전선이 크게 사행하는 현상이 보인다. 이러한 전선 사행현상은 거문도 부근과 소리도 남동쪽에서도 나타나지만 전자보다 약하다. 제주도 남서쪽 해역의 외해형 전선대도 비교적 좁은 폭으로 뚜렷하게 출현하지만 연안형 전선대와는 연결되지 않는다. 이처럼 양 전선대가 제주도 서쪽해역에서 서로 연결되지 않는 것은 동계 특징으로 주목된다.

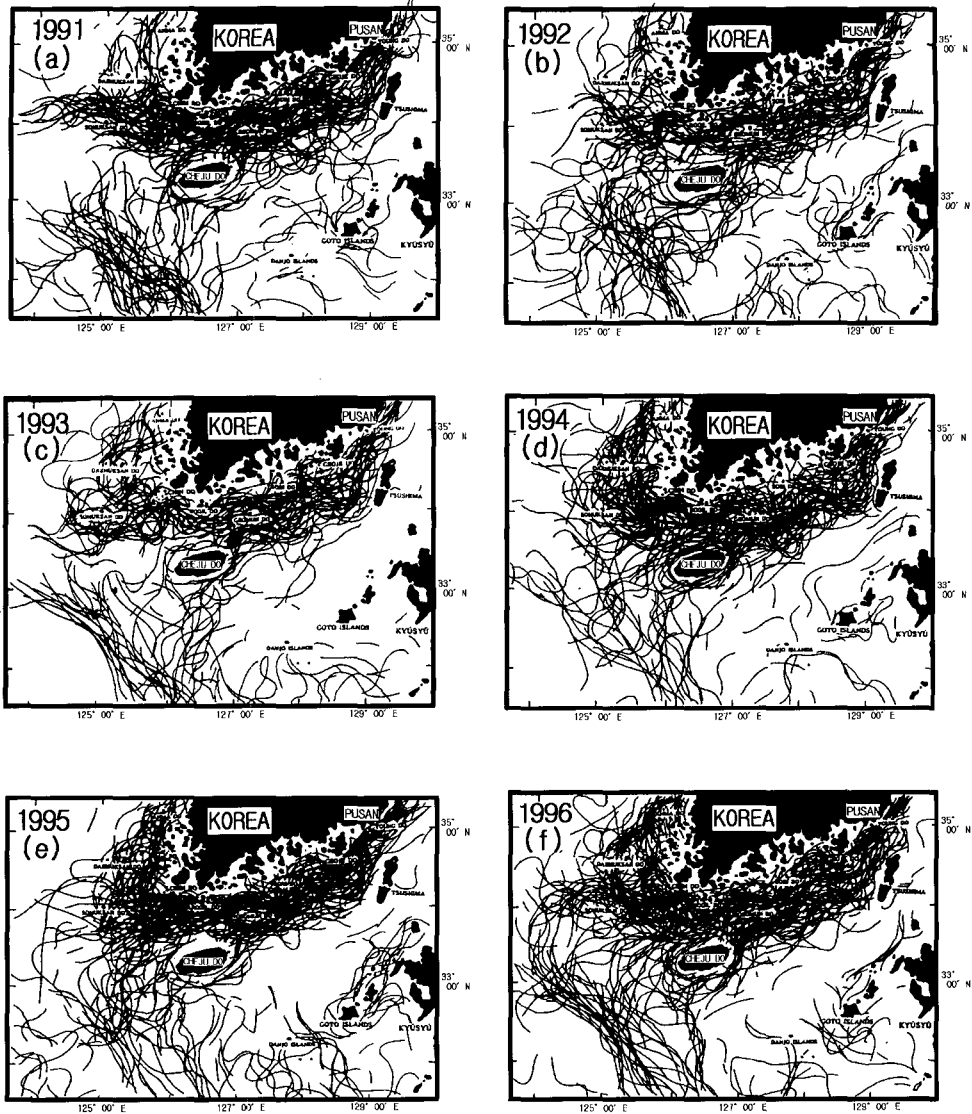


Fig. 3. Yearly contours of temperature fronts at the sea surface.

춘계(4월~6월): 4월은 연안형 전선대와 외해형 전선대의 폭이 동계에 비해 넓어지고 제주도 남쪽 32°N, 127°E 부근에서 오도열도를 향한 해역에 외해형 전선이 출현하는 것을 제외하면 동계 상황과 거의 유사하다. 그러나 5월이 되면 연안형 전선대는 남쪽, 즉 외해쪽으로 이동하여 대한해협 서수도의 중앙부에서 제주도 동쪽을 연결하는 선 부근에 좁은 폭으로 뚜렷이 형성되고 이 전선은 제주해협 동쪽입구에서 양분된다. 그 중 하나는 제주도 남쪽을 돌아 외해형 전선과 이어지고, 또 다른 하나는 제주해협을 거쳐 제주도 서쪽을 돌아 외해형 전

선대와 연결된다. 이러한 전선대는 32°N 부근에서 126°~127°E 사이를 따라 북쪽으로 형성되는 외해형 전선대와 한국 남해 연안에 형성되는 연안형 전선대가 제주도 서쪽 및 남서쪽 해역에서 마주쳐 “자” 형태의 전선대가 만들어진다. 또 한국남해 연안전선대는 제주해협 북서해역에서 5월부터 한국 서해 연안역에 형성되는 남북방향의 명료한 전선대와 연결되면서 한국 남·서 연안에서 “L” 자형의 연안형 전선대를 형성한다. 그러므로 1월~4월까지 연안형 전선대와 외해형 전선대가 황해난류수의 확장 때문에 제주도 서쪽 해역에서 서로 마주치

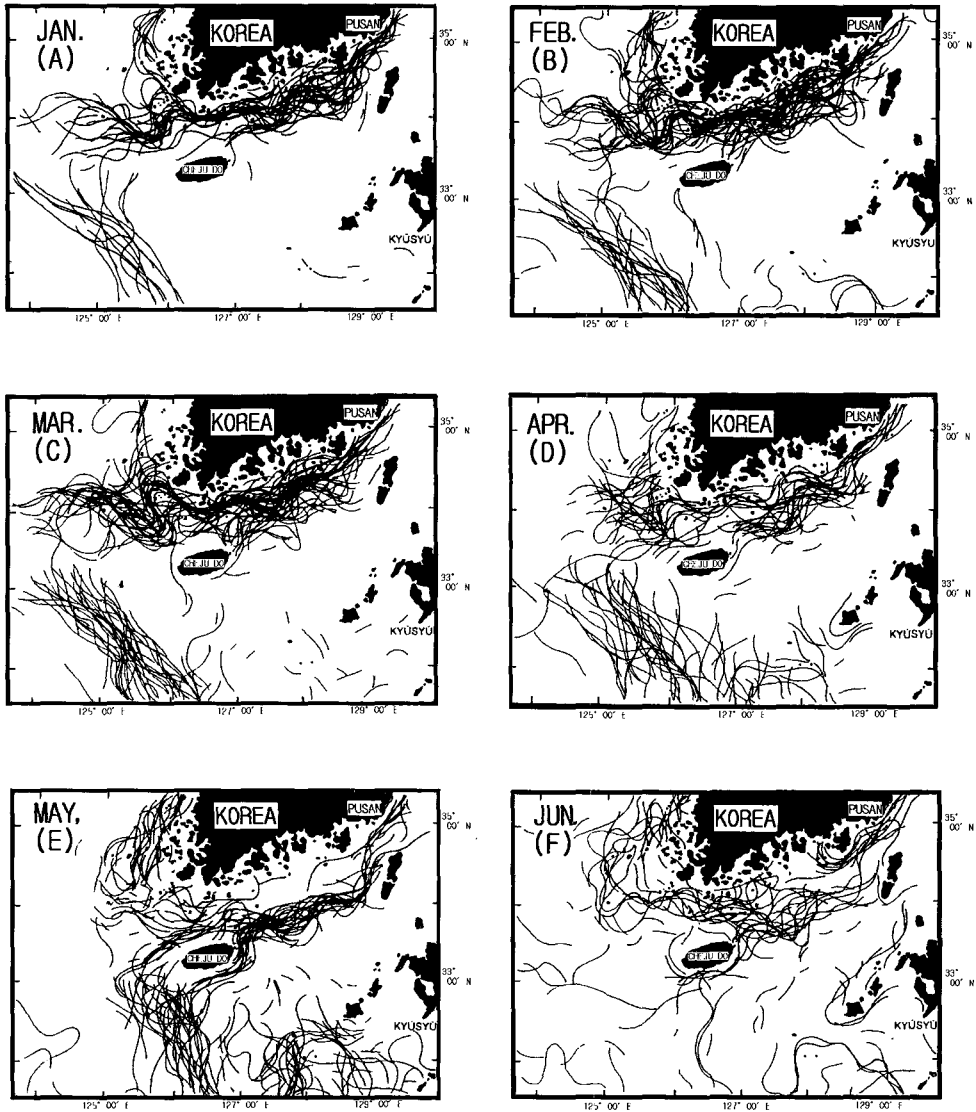


Fig. 4. Monthly contours of temperature fronts at the sea surface.

않던 것이 5월부터 이 전선대가 동쪽으로 이동하여 남북 방향의 전선이 된다. 한편 일본 오도열도 남서 해역에도 4월부터 나타나기 시작한 외해형 전선대가 연중 가장 뚜렷하게 형성되고 있다.

6월은 1월부터 5월까지 나타났던 외해형 전선대가 없어지는 것이 특징이고 한국 남·서해 연안의 "L" 자형의 연안형 전선대만 나타난다. 그러나 이 "L" 자형 전선대도 형성위치의 분산 폭이 넓어지므로 전선의 밀집도가 동계보다 약해진다. 또 오도열도 남서쪽의 전선대도 소멸되므로 연구대상해역 중 한국 남·서 연안역을 제외한

전해역의 표층에는 수온전선이 출현하지 않는다. 이와 같은 현상은 중국대륙연안수의 확장과 태양복사에너지의 증가에 의한 표층수온 상승으로 전해역의 표층수온이 거의 같아지기 때문이다.

하계(7월~9월): 하계에도 6월과 같이 한국 남·서 연안 외측에 형성되는 "L" 자형 연안 전선대는 뚜렷하게 나타나지만 제주도 연안역과 9월의 제주도 남서 해역 전선대 출현을 제외하면 34°N 이남해역에는 뚜렷한 외해형 전선대가 출현하지 않는다. 그러나 이 "L" 자형 연안 전선대도 7월과 8월은 거문도 부근에서 제주해협을

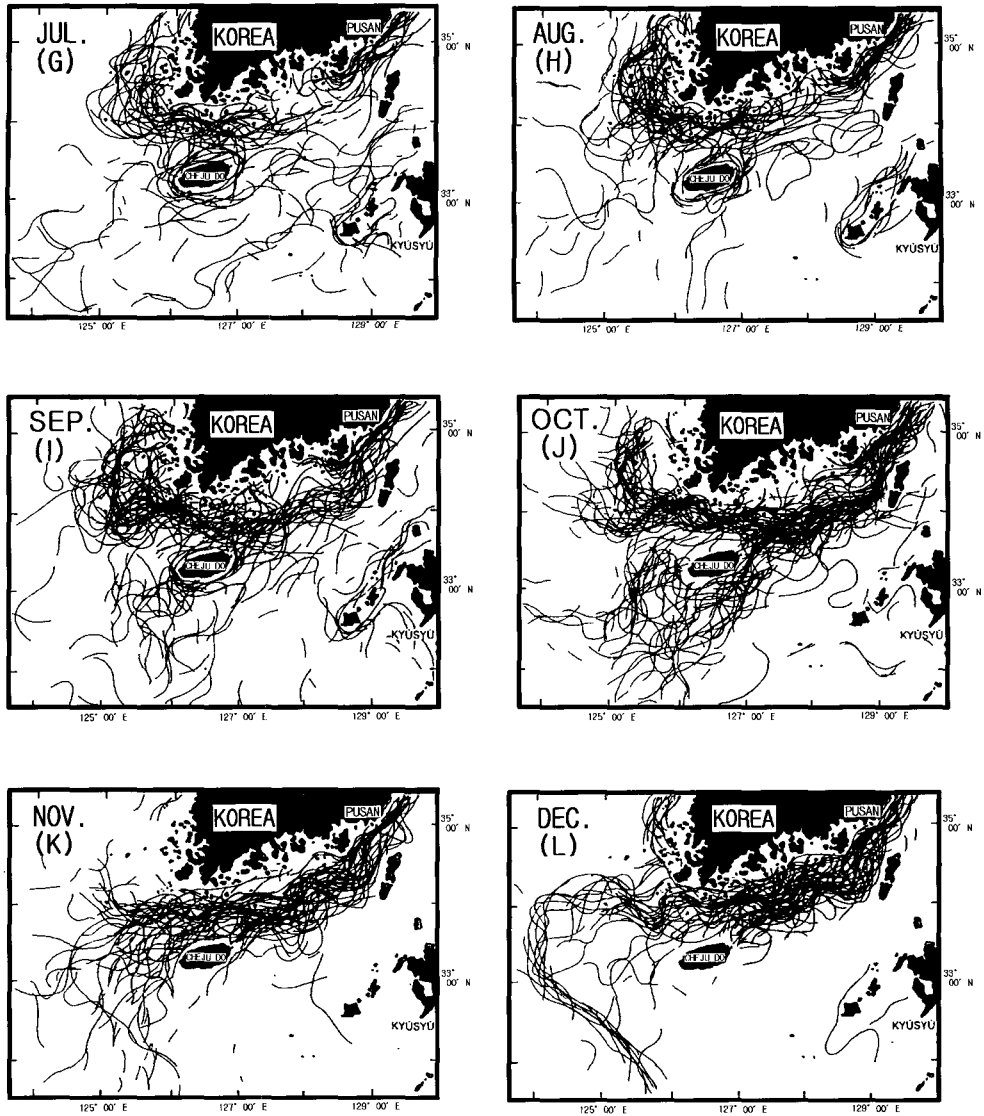


Fig. 4. Continued.

거쳐 한국 남서해 연안역을 잇는 해역과 부산 연안에서 거제도 연안역까지의 해역에는 전선대가 명료하게 형성되지만 거문도와 거제도 사이에는 전선대가 소멸되거나 약화되다가 9월이 되면서 다시 대한해협 서수도에서 한국 남서 연안역까지 한국 남·서 전 연안역에 명료한 연안형 전선대가 형성되는 월별 변화가 있다. 또 제주도 연안을 둘러싸는 환형의 약한 전선대가 형성되는데 이 환형 전선은 제주도 연안역의 조석전선에 의해 형성되는 전선이라고 판단된다. 또한 오도열도 주변해역에서도 이러한 전선역이 출현하는 것으로 나타났다. 그리고, 9월이 되면 6월부터 8월까지 소멸되었던 제주도 남서 해역의 외해형 전선대가 다시 형성되기 시작한다.

추계(10월~12월): 10월의 전선대 출현 양상은 대체적으로 9월과 비슷하지만 한국 남·서해 연안 "L" 자형 연안 전선대의 전선밀집도가 높아져 전선대의 주축이 명료해지며, 이 주축의 위치가 7, 8월의 하계보다 외측에 나타나고 이러한 경향은 특히 한국 남서 해역에서 뚜렷하다. 그러므로 10월은 한국 남서 해역의 경우 대흑산도와 홍도를 통과하는 좁은 폭의 연안형 전선대가 남북방향으로 형성되어 소흑산도 동쪽에서 한국 남해 연안형 전선대와 연결되고 있다.

또 9월부터 형성되기 시작한 제주도 남서쪽 연안에서 남서방향으로 형성되는 외해형 전선대가 10월에는 더욱 전선밀집도가 높아지며 제주도 동쪽과 남쪽에도 연중

가장 뚜렷한 전선대가 형성되어 5월과 같이 한국 남해 연안역 전선대와 제주도 남서쪽의 전선대를 연결하고 있다.

11월은 3월과 4월처럼 한국 남서 연안역에 전선대가 출현하지 않는 것이 특징이며 대한해협 서수도에서 제주 해협을 거쳐 제주도 서쪽에서 방향을 남쪽으로 바꾸어 32°N, 125°E 부근까지 이어지는 “ ” 자형의 명료한 전선대가 나타나고 있다.

12월은 한국 남서 연안에 다시 남북방향의 연안 전선대가 나타나며 한국 남해 연안 전선대는 11월과 같지만 이 전선대가 34°N 선을 따라 소록산도 서쪽 124°E까지 연장된 후 방향을 남쪽으로 바꾸어 제주도 남서 해역에 좁은 폭으로 동계와 같은 외해형 전선대가 형성된다. 즉 11월의 제주도 서쪽에 나타난 남북 방향의 전선대가 12월이 되면서 제주도 서쪽해역에 출현하는 대마난류수의 분포범위 확장 때문에 전선대가 124°E 부근까지 서쪽으로 크게 이동하면서 북서-남동 방향으로 전선대가 변하는 과정이 잘 나타나 있다. 그러므로 12월의 전선대 양상은 대체적으로 동계와 같지만 연안형 전선대와 외해형 전선대가 제주도 서쪽에서 서로 연결되어 있는 것이 차이점이라 할 수 있다.

이상의 월별 전선대 분포 유형은 1월부터 4월까지 한국 남·서 연안역에 나타나는 동계형으로 한국 남·서

연안해역의 “L” 자형 연안형 전선대와 제주도 남서해역의 빗금형(\)의 외해형 전선대가 제주도 서쪽해역에서 연결되지 않고 “느” 자의 “-”를 비스듬히 세운 형상()의 동계형과 6월부터 8월까지 한국 남·서 연안역에만 나타나는 “L” 자형 연안역 전선대의 하계형, 그리고 5월과 9월, 10월에 나타나는 한국 남·서해 연안해역의 “L” 자형 연안형 전선대와 제주도 남서해역의 외해형 전선대가 제주도 주변에서 서로 마주쳐 “Y” 자가 왼편으로 누운 것과 같은 삼거리모양()의 춘·추계형의 전선대 및 11월, 12월에 나타나는 연안형 전선대와 외해형 전선대가 제주도 서쪽에서 마주쳐 “ ” 자 모양이 되는 늦가을형으로 대별된다. 이들 중 연안형의 전선대는 주년 출현하지만 동·하계에는 연안역에 접근하고, 춘·추계는 외해쪽으로 이동하며 시기에 따라 전선밀집도의 강약이 있다.

3) 전선의 단기적 변동

Fig. 5는 1993년 1월, 1996년 4월, 1994년 7월과 1996년 10월에 표층수온 전선의 한달 간 변화상황을 나타내고 있다. 4계절 모두 출현하고 있는 한국 남해 연안역 전선은 1월과 7월의 동·하계에는 연안에 접근하여 형성되고 4월과 10월의 춘·추계에는 외해쪽에 형성되는 경향을 나타낸다. Fig. 6은 인공위성 화상자료에 의해 구한 많은 표층수온 자료 중 수일간의 전선위치 변화를 파악하기

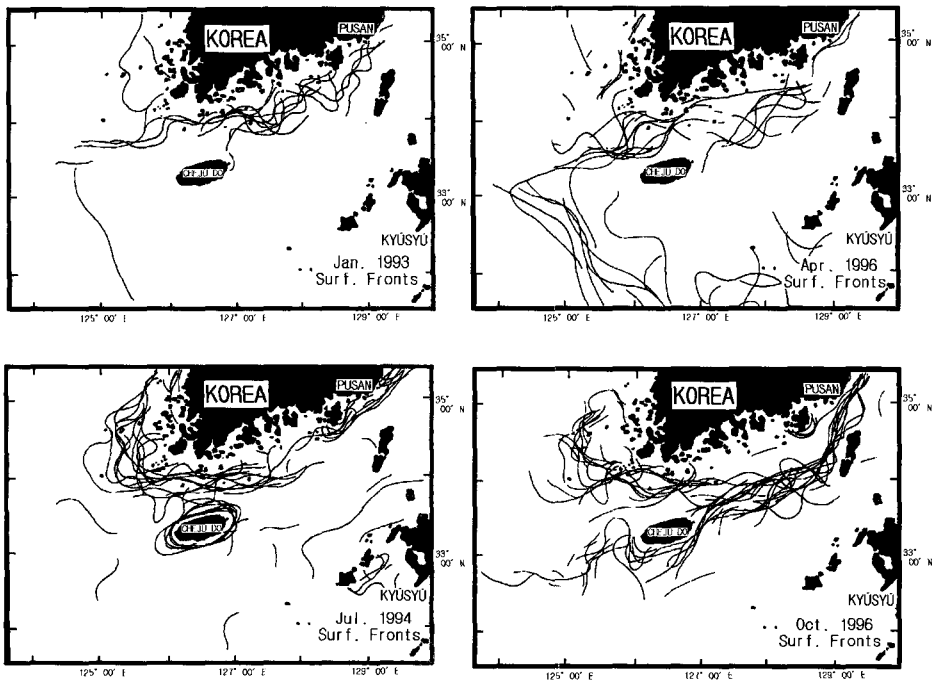


Fig. 5. Daily variations of sea surface fronts for the months (Jan. 1993; Apr. 1996; Jul. 1994; Oct. 1996).

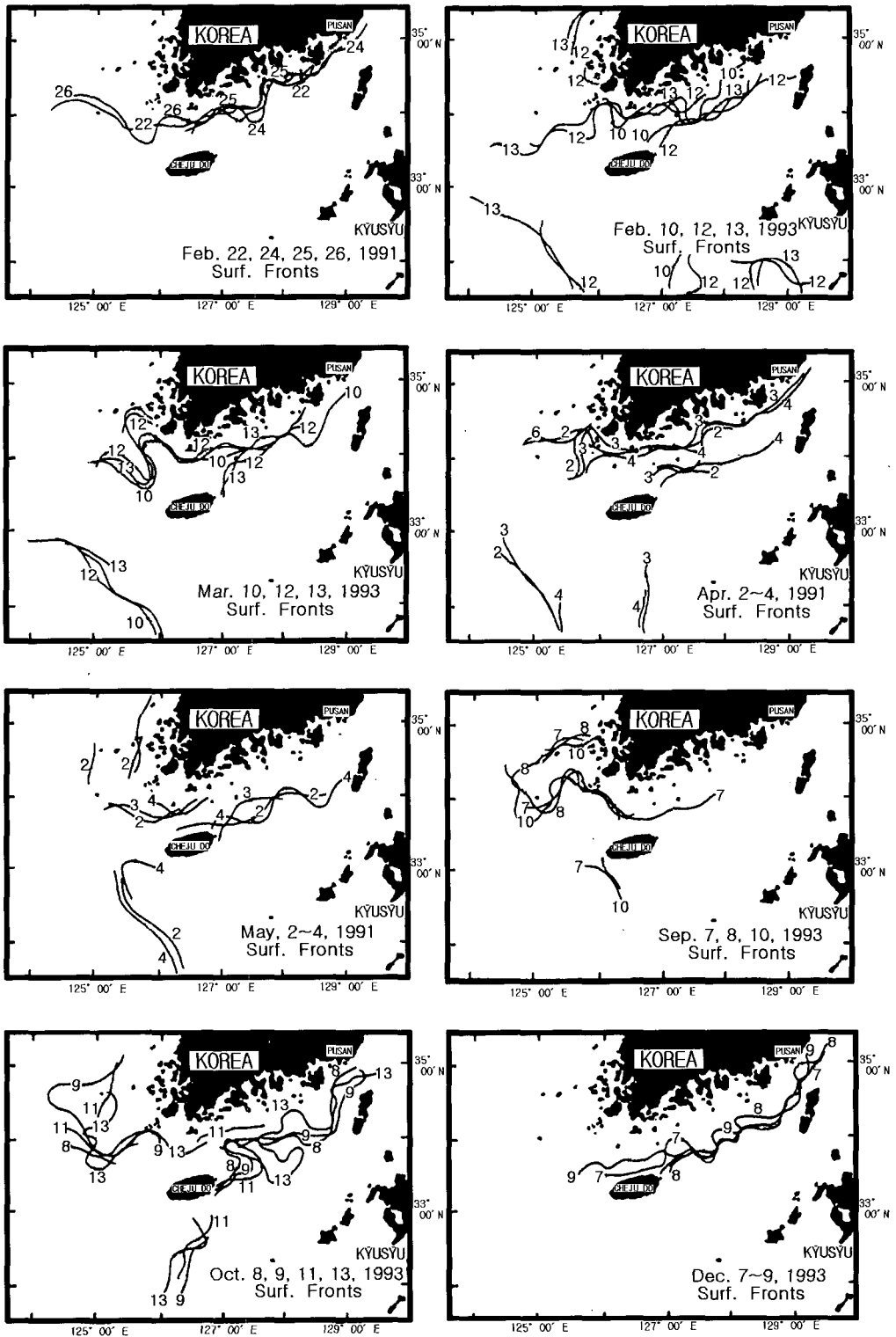


Fig. 6. Short term variations of sea surface fronts.

위하여 전선의 일변화를 나타낸 것이다. 이들 자료는 연속된 일자의 표면수온자료가 없어 3~6일 간의 전선위치 변동상태를 정리하여 나타낸 것으로 수일 이내의 짧은 기간동안에는 대체로 전선의 위치가 크게 이동하지 않고 10 mile 이내의 좁은 범위 내에서 변하고 있는 것이 일반적인 경향으로 나타났지만, 1993년 10월 8일~13일까지의 경우와 같이 수일 이내에 30~60 mile 정도의 단기 변화가 나타나는 예도 있으므로 이러한 단기변동에 대한 많은 연구가 필요하다. 이러한 단기변동 경향은 연구대상 해역에 형성되는 전선의 위치가 수일 이내에는 크게 이동하지 않으므로 전선역에 형성되는 어장은 일주일 정도의 지속성이 있고 또 한국 남해 연안역 전선대의 어장보다 제주도 남서해역 전선대의 어장위치 변화가 심할 것을 시사하고 있다.

2. 제주해협에 출현하는 수온전선의 특성

제주해협 내에서 연중 형성되고 있는 연안형 전선대의 국지적인 특성을 좀더 구체적으로 살펴볼 목적으로 해협 내 (Fig. 2)에서 매일 관측한 CTD자료로부터 표층, 50 m층 및 저층에서 계절별 수온전선 출현위치를 Fig. 7~9에 나타냈다.

제주해협의 표층수온전선 (Fig. 7)은 4계절 모두 추자도에서 여서도를 잇는 선 부근에서 전선이 형성되고

있다. 이 전선은 계절에 따라 다소 전선의 모양이 달라지기도 하지만 계절적인 위치변화는 매우 작다. 이 전선은 한국 남해안 연안수와 제주해협을 통과하는 대마난류수 또는 중국대륙연안수 (하계)간에 형성되는 전선이며 출현회수는 동계는 적고 그외 계절은 비슷하게 나타나고 있다. 동계에 이 전선의 출현회수가 적은 것은 제주해협 내의 대마난류수가 한국남해 연안역까지 넓게 분포하기 때문으로 사료된다.

제주해협에는 이 전선 이외에 춘계와 하계에는 제주도 북부 연안역에 전선이 출현한다. 춘계는 제주도 북서 연안역인 비양도 부근과 제주도 북동 연안역인 우도 부근 해역에서 주로 나타나며, 하계의 전선은 제주도 북부연안을 따라 동서로 분포하는 전선으로 제주도 연안역의 조석전선으로 사료된다.

50 m층 (Fig. 8)은 표층에 동서방향으로 추자도와 여서도를 잇는 선 부근에 형성되는 제주해협 북부 전선의 양상이 다소 변해 보길도 서쪽부터 추자도와 청산도를 잇는 선 부근에 포물선형 전선이 자주 출현하여 한국 남해 연안수가 제주해협을 향하여 확장하는 형상을 간접적으로 나타내고 있으며, 표층의 제주도 북부 연안역 전선도 50 m층에서는 동계를 제외한 전 계절에 해협 전체에 동서방향으로 뚜렷이 나타나고 있다. 이 전선대는 제주해협에 출현하는 고온·고염의 대마난류수와 변질된

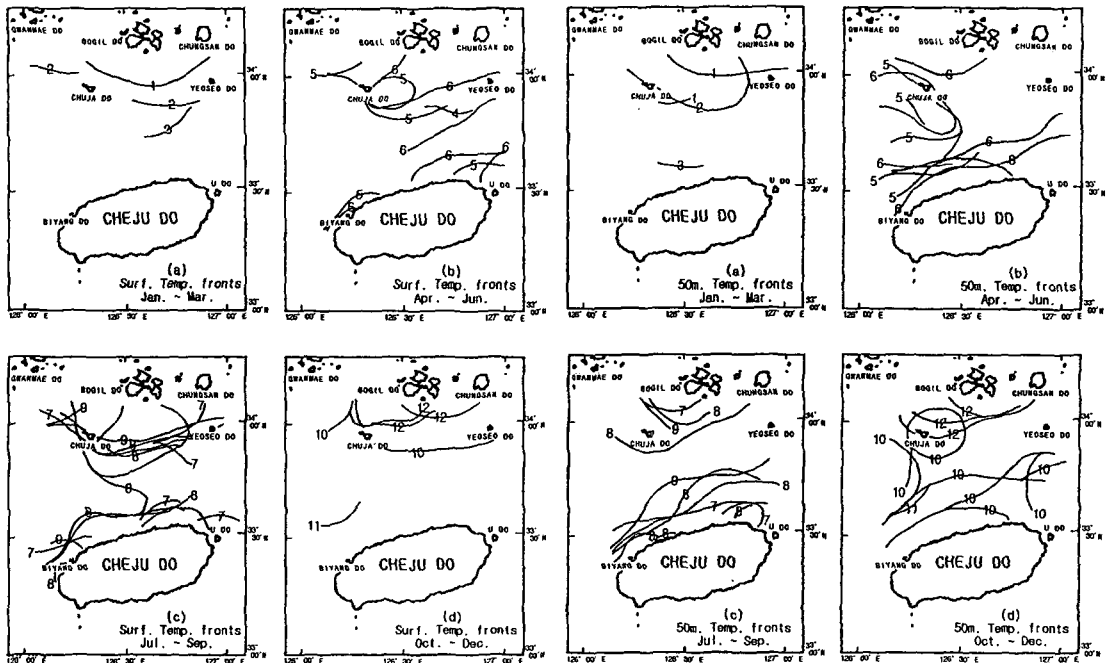


Fig. 7. Seasonal contours of temperature fronts at the sea surface in the Cheju Strait.

Fig. 8. Seasonal contours of temperature fronts at a depth of 50 m in the Cheju Strait.

혼합수 (Rho, 1985) 간에 형성되는 전선으로 표층에 나타나는 조석전선대보다는 외측에 위치한다. 또 춘계와 추계에 추자도와 제주도 북서 연안 사이에 서쪽에서 제주해협을 향해 표층에서는 나타나지 않았던 포물선형 전선이 출현하는 것이 특징이다.

저층 (Fig. 9)의 전선 출현 양상도 50m층과 거의 같지만 동계에 표층과 50m층에서는 거의 출현하지 않던 제주도 북서 연안역에 전선이 나타나며, 제주해협 북부 전선의 방향이 보길도로부터 추자도를 향하는 형상이 된다. 즉 전자는 제주도 서쪽해역에서 제주해협쪽으로 유입하는 고온·고염의 대마난류수 연변에 형성되는 전선으로 판단되고 후자는 동계 한국 남해안 연안수가 북서계절풍에 의해 보길도 주변에서 추자도쪽으로 확장되기 때문에 나타나는 전선으로 해석된다.

또 추자도와 제주도 북서 연안역 사이에 춘계에서 추계까지 나타나는 포물선의 전선은 이 시기에 제주해협 저층에 나타나는 11~13°C의 저층냉수 (Rho, 1985) 출현에 의해 나타나는 전선이고, 앞의 50m층에 춘·추계 동안 이 해역에 나타난 포물선의 전선도 이 수괴 출현과 관계 있는 전선이다.

고찰

국립수산진흥원에서 NOAA 위성으로부터 수신되는 표면수는 화상자료를 분석한 표면수는 분포자료를 활용하여 전선의 정확한 위치 및 그 변동특성을 분석하는 기법과 그 전선 응용 방법의 개발은 첨단과학을 어선어업의 과학화에 접목시킬 수 있는 방법 중의 하나로 최근 특히 관심이 집중되고 있는 과제라고 판단되어 본 연구에서는 이들 자료를 광범위하게 활용하여 자료를 정리하였다. 이러한 분석방법은 기존의 Uda (1959), Kondo (1969), Gong (1971), Yang (1994) 등에 의하여 제시된 한국 남·서해역 및 동중국해 북부해역에서의 해양전선 연구결과 보다 광역의 상황을 Real Time으로 또 단기적인 상황까지 제시할 수 있어 어민들이 현업에서 직접 활용할 수 있는 장점이 있다.

분석결과 한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에서 나타나는 연안형 및 외해형 전선은 연별·계절별로 남북 혹은 동서방향의 변동이 있지만 매년 전선대의 형성 Pattern은 거의 유사하게 나타나고 있다. 그 전선 형태는 동계 (1~3월)의 경우 한국 남해 연안역에 가장 근접하여 한국 남동해역에서 소록산도 서쪽까지 동서방향으로 연중 가장 긴 연안형 전선이 형성된다. 이와 같은 전선은 한국 남해 연안 천해역 및 한국 서해에서 기온 저하에

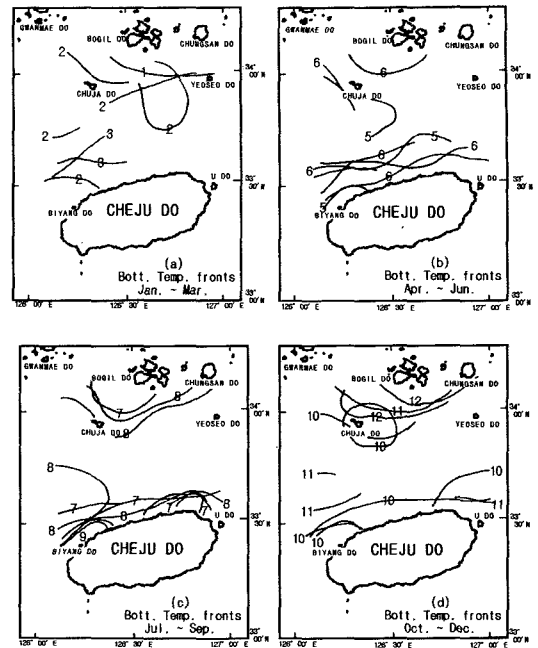


Fig. 9. Seasonal contours of temperature fronts at the bottom of the Cheju Strait.

의해 냉각되는 10°C 이하의 저온수와 외해쪽의 대마난류수 사이에서 형성된 것으로 생각된다. 또 제주도 남서해역에 북서방향에서 남동방향으로 연중 가장 서쪽에서 뚜렷한 전선이 형성되는 것은 대마난류수와 중국대륙연안수 간에 형성되는 외해형 전선이며 이들 양 전선은 제주도 서쪽에서 동계에만 서로 마주치지 않고 불연속이 되고 있다. 이처럼 동계에 한국 남해 연안역에 동서방향으로 형성되는 긴 연안형 전선이 연중 가장 북쪽에 위치하고 제주도 남서해역의 외해형 전선이 연중 가장 서쪽에 위치하며, 이들 양 전선이 제주도 서쪽해역에서 마주치지 않는 것 등은 대마난류수가 동계에 가장 북쪽 및 서쪽으로 확장하여 연중 제일 넓은 범위까지 분포하기 때문이며, 황해난류수가 Pang et al. (1994)이 지적한 바와 같이 동계에는 제주도 서쪽해역에서 한국 서해 중앙부를 향해 설상(舌狀)으로 확장되고 있는 것을 잘 반영하고 있다. 4월부터는 동계 한국남해 연안역에 가장 가깝게 위치해 있던 연안형 전선이 소멸되고 제주도 동단과 대마도 남단을 연결하는 선 부근에 전선이 형성된다. 이 전선에 대해 Gong (1971)은 한국남해연안수와 대마난류수의 경계역에서 형성된 전선이라고 하였으나 4월까지는 제주도 서쪽해역에는 대마난류 주류부 보다는 약간 변질된 대마난류수가 존재하고 이 난류수는 제주해협을 통하여 한국 남해로 유출 (Kim and Rho, 1997)되므로 제주도 서쪽

에서 한국남해로 이동해 오는 약간 변질된 대마난류수와 제주도 동쪽을 거쳐 한국남해로 이동하는 대마난류 분류수 간에 형성되는 전선 (Rho, 1985)이라 사료된다. 이러한 현상은 NOAA 위성수신 자료에서도 제주도를 우회하여 변질된 해수가 대마도쪽으로 향하여 분포하고 있고 한국 남해연안수는 연안쪽에 한정되어 있음이 잘 나타나고 있다. 또한 제주도 남서해역 전선은 4월 이후 대마난류수의 축소, 중국대륙연안수의 확장으로 인하여 동쪽해역으로 이동하는 특성을 나타내나, 하계에는 저염분수인 중국대륙연안수의 표층확장에 의한 수온 상승으로 한국 남·서해 연안역을 제외한 연구대상해역 대부분이 고수온역이 되어 수온 차가 거의 나타나지 않고, 이 전선은 혼적만 남을 정도로 약화된다. 9월 이후 제주도 남쪽에 남북방향으로 폭넓은 전선대가 다시 형성되어 제주도와 대마도를 연결하는 전선과 제주도 동쪽에 출현하는 전선에 의해 연결되다가 11월 이후 동계상황으로 바뀌는 계절변화를 나타낸다. 그리고 5월 이후 10월까지 제주도를 둘러싸는 듯한 Ring 모양의 전선은 제주도 주변해역의 연안수와 외해수 사이에서 조석류에 의해 연안수의 외측경계역에서 형성된 조석전선이며, 이 조석전선의 특징은 연안역에서 조류에 의한 표·저층수의 혼합으로 외해역에 비하여 표층이 저온·고염, 저층에서는 고온·저염 현상을 나타낸다 (Kim, 1995). 따라서 이러한 조석전선의 주변해역에서는 선망어장이 분포하고 갈치채낚기 어선의 주 조업장이 되는 해역이기도 하다 (Kim, 1995).

이상 고찰한 한국 남·서해역 및 동중국해 북부해역에서의 전선대의 위치, 형태 변동특성은 어류의 분포, 회유경로 추정이나 어·해황 예보의 정도향상에 크게 기여할 수 있는 중요한 기초자료가 될 수 있다. 따라서 NOAA 위성에 의한 표면수온 영상자료로부터 전선대의 위치를 추정하는 것은 어·해황 예보 시 매우 유의한 자료가 될 수 있다. 그러나 하계가 되면 중국대륙연안수의 확장에 의해 한국 남·서해 연안역을 제외한 연구대상해역 대부분의 표층수온이 거의 같아지므로 표층전선대가 나타나지 않거나 나타나더라도 중·저층의 전선대와 일치하지 않게 된다. 그러므로 NOAA 위성의 화상자료로부터 얻어내는 표층수온 전선대에 의한 어·해황 예보의 한계성을 고려할 필요가 있다.

요 약

한국 남·서해 및 동중국해 북부 해역에 나타나는 표층수온 전선의 위치, 형태, 시기별 변동상황, 전선형성기구 등을 규명하기 위하여 1991년부터 1996년까지 국립수

산진흥원에서 NOAA 화상자료로부터 구한 표면수온분포도와 제주도청 어업지도선 등을 이용하여 월별로 관측한 제주해협 해양관측자료를 이용하여 분석 정리한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 한국 남·서해 및 동중국해 북부 해역에 형성되는 연안형 및 외해형 전선대 양상은 여러 가지 Pattern으로 구분되어 진다.

즉, 1월부터 4월까지 한국 남·서 연안역에 나타나는 “L” 자형의 연안형 전선대와 제주도 남서쪽 해역에 북서에서 남동방향으로 길게 형성되는 빗금형(∖)의 외해형 전선대가 제주도 서쪽 해역에서 서로 마주치지 않아 “느” 자의 “—”를 비스듬히 세운 형상의 동계형(ㄴ) 전선대가 형성된다. 그리고 6월부터 8월까지 한국 남·서해 연안역에만 전선이 나타나는 “L” 자형의 하계형 전선대, 5월과 9월, 10월에 나타나는 한국 남·서해의 “L” 자형 연안역 전선대와 제주도 남서해역의 외해형 전선대가 제주도 주변에서 서로 마주쳐 “Y” 자가 왼편으로 누운 것과 같은 삼거리 모양의 춘·추계형(∩) 전선대가 형성된다. 또 11월과 12월에 나타나는 한국 남해 연안역의 직선형의 연안형 전선대와 제주도 남서해역의 외해형 전선대가 제주도 서쪽에서 마주쳐 “∟” 모양으로 되는 늦가을형으로 대별된다.

2. 전선의 단기변동 경향은 수일 이내에는 그 위치가 크게 이동하지 않고, 또 한국 남해 연안역 전선대보다 제주도 남서해역 전선의 위치 변화가 크다. 한국 남해 연안역에는 주년 연안형 전선대가 출현하며 이 전선대는 대체로 동계에 연안역에 가장 접근하고 춘·추계에 가장 남쪽으로 이동하는 남북 이동을 하며, 제주도 남서해역 외해형 전선대는 대마난류 분포범위의 계절변화와 같이 동계에는 가장 서쪽에, 춘·추계에는 가장 동쪽에 형성되는 동서방향 이동이 있고 한국 남서해역 연안형 전선대도 주년 나타나지만 3월, 4월, 11월에 가장 약화된다.

3. 제주해협에는 추자도에서 여서도 또는 청산도를 잇는 선 부근에 주년 표층수온 전선이 형성되고, 또 11월~1월을 제외한 시기에 제주도 연안에는 하계에 환형(Ring-shaped)의 조석전선이 나타나며 특히 5월과 10월에는 제주도 동쪽과 남쪽에 제주도 연안수와 대마난류수 간에 전선이 형성되어 한국 남해의 연안형 전선대와 제주도 남서해역의 외해형 전선대를 연결하고 있다.

감사의 글

본 논문이 정리되기까지 도움을 준 김병기 학우에게 감사의 말씀을 전합니다.

참 고 문 헌

- Cho, K. D., 1986. Environment of the Purse-Seiner Fishing Ground in the East China Sea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 22 (4): 104~116.
- Gong, Y., 1971. A study on the south Korean coastal front. J. Oceanol. Soc. Korea, 6 (1) : 25~36.
- Gong, Y. and S. J. Son, 1982. A study of thermal front in the southwestern Japan Sea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 28 : 25~52.
- Kim, I. O. and H. K. Rho, 1994. A Study on Coastal Waters of the China Continent appeared in the neighbouring Seas of Cheju Island. Bull. Korean Fish. Soc., 27 (5) : 515~528.
- Kim S. H., 1995. Studies on the Assembling Mechanism of the Hairtail, *Trichiurus lepturus*, at the Fishing Ground of the Cheju Strait. Ph. D. Thesis, Cheju National Univ. : 5~162.
- Kim, S. H. and H. K. Rho, 1997. A study on the Residual Current in the Cheju Strait. J. Korean Fish. Soc., 30 (5) : 759~770.
- Lee, J. C., 1983. Characteristics of front near the Cheju Strait in early winter, Bull. Korean Fish. Soc., 16 : 51~58.
- Lee, J. C., J. Y. Nam 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.
- 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., : 199~367.
- Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1994. Water mass distributions and circulation northwestern sea of Cheju Islands. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 18 : 1~18.
- Park J. H. and K. H. Choi, 1995. A study on the Fishing Ground and the Prediction of Fishing Conditions of Mackerel, *Scomber Japonicus Houttuyn*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 49 : 25~35.
- Rho, 1985. Studies on marine environments of fishing ground in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo : 225.
- Uda, M., 1959 : Oceanographic Seminars, 2, Watermass boundaries- "Siame", Frontal theory in Oceanography. Fish. Board, Can, Ms Rep. Ser. (Oceanogr. Limnol.) 51 : 10~20.
- Yang S. K., 1994. Variations of the Sea Surface Temperature Distribution and the Shelf Fronts in the Cheju Strait and the Korea Strait. J. Korean Env. Sci. Soc., 3 (2) : 111~128.
- Yang Y. J., 1998. Fronts and fishing conditions observed in the South-West Sea of Korea and the Northern sea area of East China Sea, M.S. Thesis, Cheju National Univ., pp.66.
- Zheng Q. A. and V. Klemas, 1982. Determination of Winter Temperature Patterns, Fronts, and Surface Currents in the Yellow Sea and East China Sea from Satellite Imagery. Remotesensing of Environment 12 : 201~218.
- Zhang Qi-Long and Xue-chuan Weng, 1996. Analysis of water masses in the south Yellow Sea in Spring 2 (1) : 74~82.
- 近藤正入, 1969. 黄海冷水とまき網漁場について. 宇田道隆教授退官記念論文集 : 279~285.

1998년 1월 22일 접수

1998년 9월 5일 수리