J. Korean Fish. Soc. 32(5), 618~623, 1999 한수지, 32(5), 618~623, 1999

한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 표층수온전선과 선망어장과의 관계

양영진·김상현·노홍길·정동근
제주대학교 해양과학대학

Relationship between SST Fronts and Purse-seine Fishing Grounds in the South-West Sea of Korea and the Northern Area of the East China Sea

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

A relationship between SST (Sea Surface Temperature) fronts and formation of fishing grounds was examined using the data on fishing conditions obtained from 41 Korean purse-seiners during the period of 1991 to 1996. Good fishing grounds observed in the southern sea of Korea and the nothern area of the East China Sea were yearly found around the frontal zone and around the marginal area of Tsushima Current which was the periphery of fronts. Also, there were several fishing grounds, which are not related to the fronts. They can be classified into the following four types : The first type was found in the warm water pocket located in the western area of Cheju Island in winter. The second type was made in a intensive bending of isobathytherm with a higher temperature in the main stream of Tsushima Current between Cheju Island and the Goto Islands in winter. The third type was formed by the topographical vortex motion near the Tsushima Island in winter and spring. The fourth type was found at the area of the Yellow Sea Warm Current in southwest sea of Korea between the costal front zone and the Yellow Bottom Cold Waters in summer and autumn.

Key words: SST Fronts, Purse-seine fishing grounds, fishing conditions, the south and west sea of Korea, the northern area of the East China Sea

서 론

한국 남·서해 및 동중국해 북부해역은 계절에 따라 여러 이질수괴(대마난류수, 황해난류수, 중국대륙연안수, 황해냉수, 한국남해연안수 등)가 복잡하게 분포하여, 이들 수괴의 경계역에는 동계형, 춘·추계형, 하계형, 늦가을형으로 대별되는 여러 형태의 수온전선이 형성된다(Yang et al., 1998). 그리고 이들 전선역은 와동현상 및 전선의 굴곡과 성질이 서로 다른 수괴에 의한 장벽효과 등에 의해 어류의 분포와 회유에 영향을 미치고, 영양염류가 풍부하여 어류를 밀집시키는 역할을 한다. 그러므로 여러 형태의 전선이 형성되는 한국 남·서해 및 동중국해의 북부해역은 우리나라 연근해 어선의 중요 조업장이 되고 있으며, 그 중에서도 특히 부어류를 주 대상으로 하는 대형선망의 주 조업장이 되고 있는 수산학적으로 매우 중요한 해역이다.

이들 해역에서의 전선연구는 Uda (1959), Gong (1970), Gong (1971), Gong and Son (1982), Rho (1985) 등이 한국남서해역을 중심으로 한 어장학적인 연구가 있고, Rho and Jeong (1978), Cho and Yang (1985), Kim (1991), Yang (1998) 등은 조경역과 고등어, 전갱이 어장 형성이 밀접한 관계가 있음을 연구하였다.

그러나 이들 연구는 대부분 짧은 기간 동안의 자료이거나 또는 넓은 해구(30mile×30 mile)의 어획량 통계를 기본 자료로 사용한 관계로 전선과 어장과의 관계를 정확하게 분석하지 못한 점이 많았다.

본 연구는 상기의 문제점을 보완하기 위해 인공위성에 의해 수시로 수집된 1991~1996년(6개년)까지의 수온자료로부터 구해낸 월별 표층수온전선과 41개 선망 선단의 조업 상황자료로부터 월별, 소해구별(10 mile×10 mile)로 정리한 어획량을 대응시켜 연구대상해역에 출현하는 전선과 선망어업과의 관계를 종합적으로 분석하여, 어·해황 예보의 정도를 향상시킬 수 있는 기초자료를 제공하려 했다.

재료 및 방법

본 연구의 대상해역은 우리나라 선망어선의 주 조업장이 되고 있는 제주도를 중심으로 한 한국 남·서해 및 동중국해 북부해역(Fig. 1 참조)에서 국립수산진흥원이 1991년부터 1996년까지 매일 NOAA 위성으로부터 수신하는 화상자료를 보정하여 표면수온으로 발표하는 한국근해 수온분포 자료를 사용하였다. 전선은 수온, 염분 등과 같은 환경요인의 수평경도가 급한 해역을 지칭하는 용어로 수평경도의 크기가 정해져 있는 절대값 개념이 아니고 등치선의 분포가 다른 해역에 비해 조밀한 곳을 뜻하는 상대적 개념으로 사용하는 경우가 많다.

본 연구에서는 전선판정의 기준이 되는 수온수평경도(Δt ℃)는 다음 식에 의해 구해 전선형성 유무를 결정했다.

$$\Delta t(℃) = \frac{t_2 - t_1}{\ell}$$ (t_1, t_2는 양 지점의 수온, ℓ는 양 지점간의 거리)

그러나 해역에 따라 환경특성이 다르므로 등온선이 비교적 조밀하게 분포하는 한국남·서해 및 제주해협, 대한해협 등의 연안형 전선대의 경우는 수온수평경도가 0.186℃mile 이상이면 전선역이라고 판단했고, 동중국해와 같이 등온선분포가 비교적 완만한

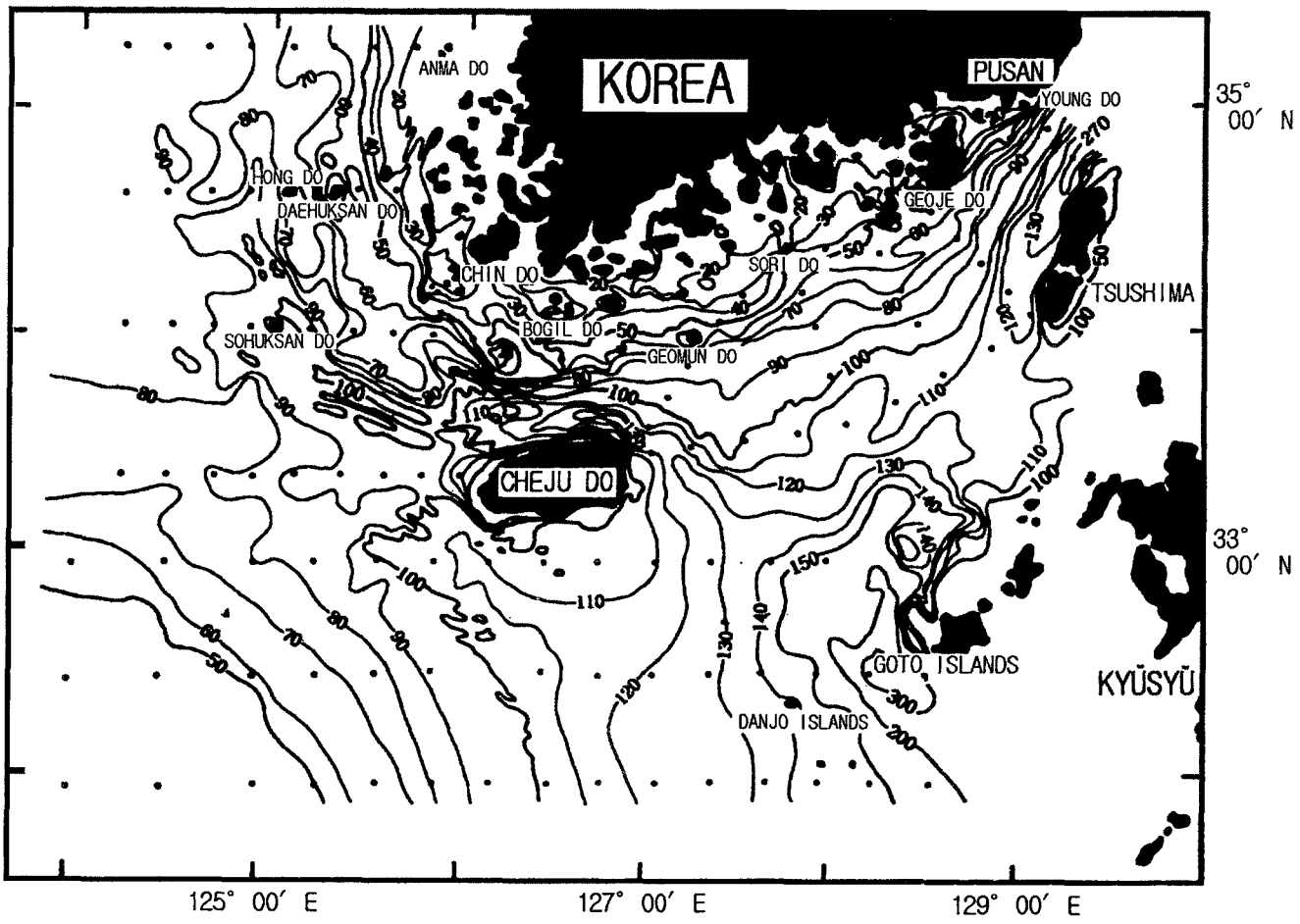

Fig. 1. Topography of the sea bottom around Cheju Island, the south-west sea of Korea, and the northern area of the East China Sea.

외해형 전선대의 경우는 수온수평경도가 0.106℃mile 이상이면 전선역이라고 분류했다. 이와 같은 방법으로 구한 전선역은 상당한 폭을 갖게되므로 각 전선역의 중앙부를 통하는 선을 구해 그 전선역을 대표하는 전선으로 표시했다 (Yang et al., 1998).

수온전선과 어황과의 관계를 분석하기 위하여 사용한 어황정보는 1991년부터 1996년까지 41개 선단의 조업자료를 사용하여 각 소해구별 (10 mile×10 mile) CPUE를 다음의 식에 의해 나타냈다.

$$\text{소해구별 CPUE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} Q_{ij}$$

$$Q = \frac{Y}{H}$$

N : 작업일수 Y : 일일 어획량 H : 일일 양망횟수
i : 어선수 j : 월별 작업일

어황과 전선과의 상호관계를 분석함에 있어 선망 어획 자료를 택한 것은 본 연구에서 표층수온 자료로부터 수온전선 위치를 구하였으므로 표층전선과 밀접한 관계가 있는 부어류를 주대상으로 하면서 다른 어선어업보다 조업위치가 비교적 정확히 보고되고 있는 점 등을 고려했기 때문이다.

Yang et al. (1998)은 이 해역의 표층 수온전선을 분류하면서 동계를 1~3월, 춘계를 4~6월, 하계를 7~9월 및 추계를 10~12월로 구분하여 정리하였으므로 본 연구에서도 계절의 구분을 편의상 이 방법에 따랐다.

결 과

1) 동계 (1~3월) 상황

표층 수온전선과 선망어장과의 관계를 Fig. 2에 나타냈다.

동계 (1~3월)의 전선은 한국 남해 연안역에서 소흑산도 서쪽 해역까지 동, 서 방향으로 길게 뻗어 있는 연안형 수온전선대와 제주도 서쪽 33°30′N, 124°E 부근에서 남동쪽으로 뻗어있는 긴 외해형 전선대가 나타나고 있다. 또 소흑산도에서 진도 외측 및 대흑산도를 지나 북쪽으로 이어지는 한국 서해연안역 전선이 형성되어, 이 전선은 1월과 2월에 남북방향의 뚜렷한 전선대가 되고 3월은 약화되었다.

이 시기에 선망 어장은 주로 한국남해 및 제주도 남서해역 전선대와 그 연변 수역에서 형성되었다. 그러나 한국서해, 한국남해, 동중국해의 저수온역 (10℃ 이하)이라 판단되는 해역에서는 어장

이 형성되지 않았다. 좀더 구체적으로 살펴보면 1월에는 제주도 남서해역과 거제도 연안해역의 전선대에서 좋은 어장이 형성되었고, 3월에는 제주도 서쪽 전선대와 제주도 사이의 대마난류역과 제주도와 대마도를 잇는 전선대 주변 및 대마도 동쪽해역의 지형성와류역(辻田 · 近藤, 1958)에 좋은 어장이 형성되었다.

2) 춘계(4~6월) 상황

선망어장은 춘계(4~6월)에 접어들면서 동계에 형성되었던 제주도 서부 및 남서부 해역 어장은 제주도 연안역으로 축소되거나 소멸하고 주어장은 제주도와 대마도를 잇는 선상의 전선대와 그 연변부 난류수역과 대마도 북쪽 및 동쪽해역에 어장이 형성되고 있으며 전반적으로 어장 형성위치가 동계에 비해 북쪽과 동쪽으로 이동하고 있어 고등어, 전갱이류의 계절회유 상황을 뚜렷이 반영하고 있다. 즉 4월에는 3월과 유사하게 제주도 주변해역과 대마난류 주류부, 한국 남해에 출현하는 전선대와 그 연변부에서 주어장이 형성되고 있지만, 5월과 6월에는 제주도와 대마도를 연결하는 선 부근의 전선대에서 주로 어장이 이루어지고 있다. 또 4, 5월에는 전선대가 전반적으로 한국 남해연안에서는 남쪽으로, 제주도 남서해역에서는 동쪽으로 이동하면서 연안형 전선대와 외해형 전선대가 제주도 서쪽에서 마주쳐 "ㄱ" 형태의 전선대가 형성되며, 6월에는 1월부터 5월까지 나타났던 제주도 남서부의 외해형 전선대가 소멸하고 한국 남 · 서해 연안에 "L"자형의 전선대가 형성되는데 이와 같은 전선대의 계절적인 변화와 춘계의 어장형성이 잘 일치하고 있다.

3) 하계(7~9월) 상황

하계(7월~9월)는 6월과 같이 한국 남 · 서 연안 외측에 형성되는 "L" 자형 전선대가 뚜렷하게 나타났고, 제주도 연안역에 환형

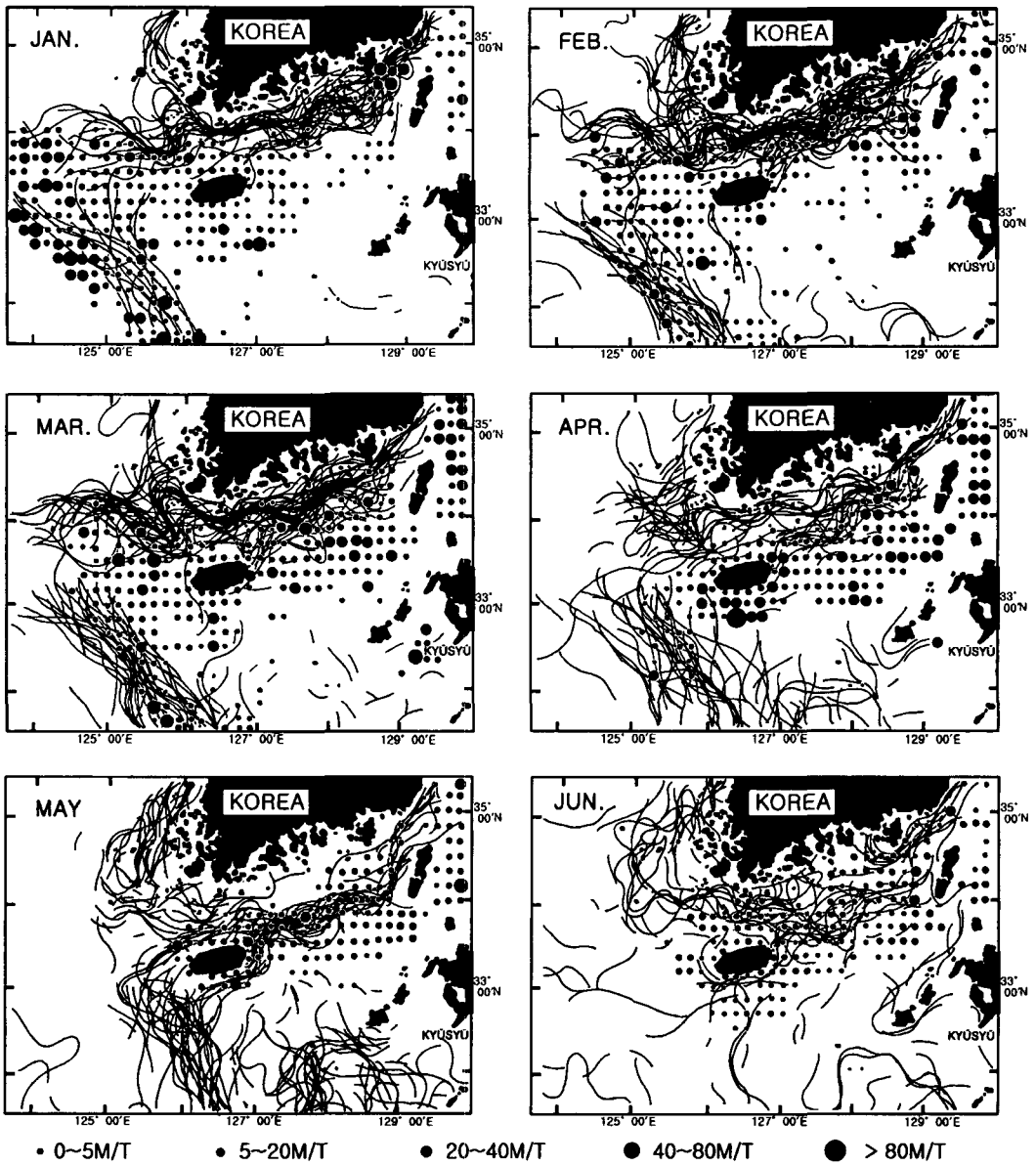

Fig. 2. Monthly relationship between frontal movement and fishing conditions during the period of 1991 to 1996.

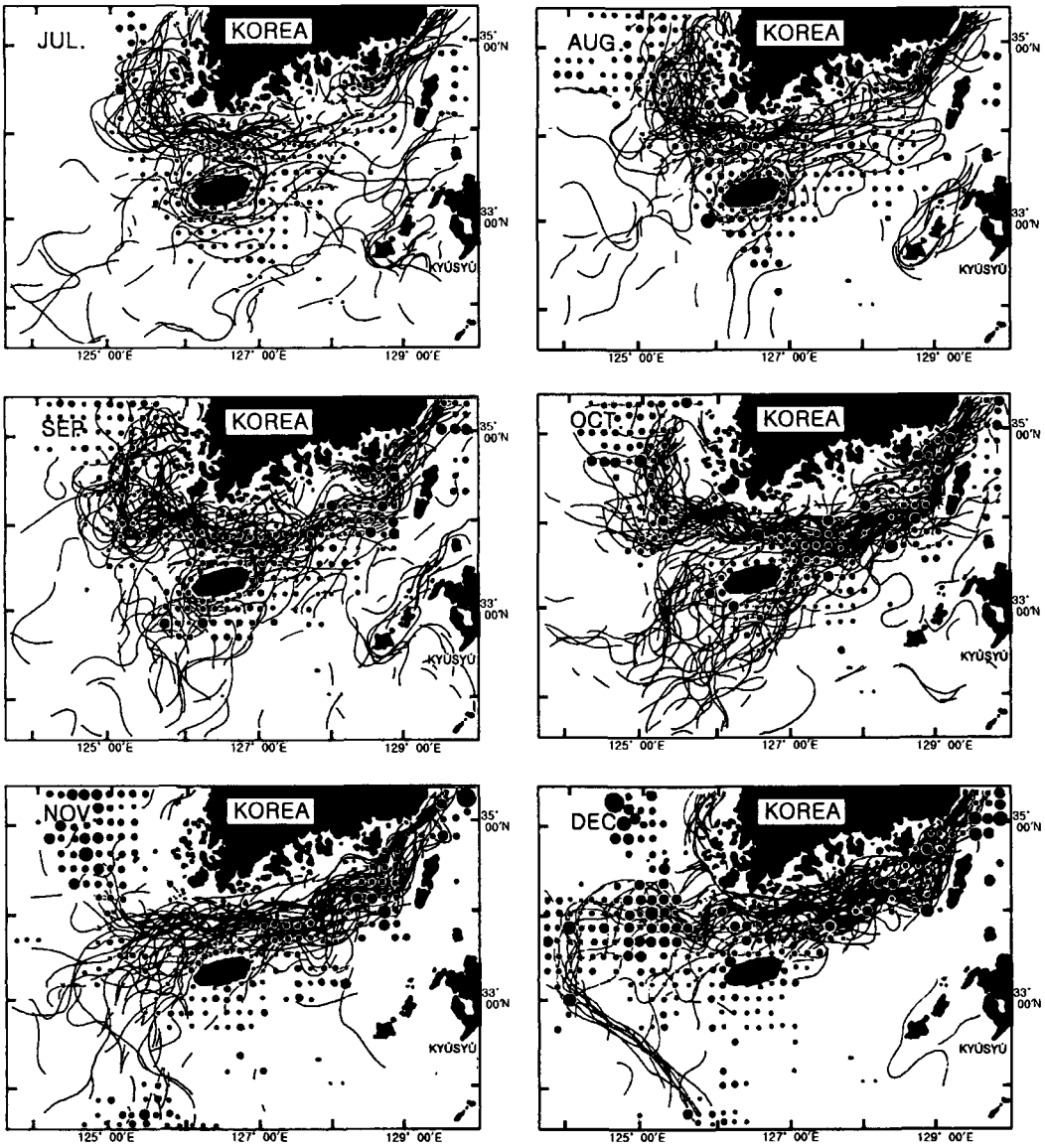

Fig. 2. Continued.

(環形)의 전선이 형성되었으며, 9월부터 제주도 남서 해역에 다시 외해형 전선대가 출현하였다. "L" 자형 전선대는 7월과 8월은 거문도 부근에서 제주해협을 거쳐 한국 남서해 연안역을 잇는 해역과 부산 연안에서 거제도 연안역까지의 해역에는 전선대가 뚜렷하게 나타났지만 거문도와 거제도 사이에는 전선대가 소멸되거나 약화되었다. 그러나 9월이 되면서 다시 대한해협 서수도에서 한국 남서 연안역까지의 한국 남·서 전 연안역에 전선대가 형성되는 월별 변화를 보였다. 또 이 시기는 제주도 연안을 둘러싸는 환형의 약한 전선대가 형성되는데 이 환형 전선은 Kim (1995)이 지적한 것과 같이 제주도 연안역의 조석전선에 의해 형성되는 전선이라고 판단된다. 9월이 되면 6월부터 8월까지 소멸되었던 제주도 남서 해역에 다시 전선대가 출현하였다.

이 시기에 선망어장은 한국 남해연안의 전선대 및 제주도 주변의 환형전선대역, 한국 남서해 전선대 외측과 황해저층냉수 사이의 황해난류수역에서 좋은 어장이 형성되고 있어 하계 역시 선망어장은 주로 전선대 및 그 연변부 해역에 형성되고 있음을 알 수 있었다. 그러나 한국 남·서 연안수 내측과 황해저층냉수역에서는 어장이 형성되고 있지 않았다.

4) 추계 (10~12월) 상황

추계 (10~12월)의 선망어장은 한국 남서해의 전선대 외측과 황해저층냉수 사이의 황해난류역과 소흑산도에서 제주해협과 한국 남해를 지나 대한해협 서수도로 이어지는 전선대와 제주도 남쪽 해역에서 제주도 동쪽을 거쳐 한국남해 연안전선과 이어지는

삼거리형( ) 전선대에서 어장이 형성되었다. 특히, 10월 제주도 동쪽해역에서 남쪽해역으로 이어지는 전선이 형성되는 시기에 제주도 동쪽의 전선역에 어장이 형성되고 있다. 한국 남서해역의 주어장 범위가 10월과 11월에 비해 12월에는 다소 축소되어 남하하였고, 한국 남해연안으로부터 소흑산도 서쪽까지 연장되어 있는 전선대가 제주도 남서해역에서 북서쪽으로 뻗어있는 전선대와 마주쳐 자루모양을 하고 있는 전선대 주변에 좋은 어장이 형성되어 동계 제주도 서쪽해역의 대마난류 및 황해난류역에 나타나는 water pocket 어장으로 변화되는 과정을 보여주고 있으며, 11월과 12월에 대마도 북부해역의 전선대 연변부 대마난류수역에서도 좋은 어장이 형성되었다. 추계 역시 한국 남 · 서해 연안 해역과 대마난류 주류역에서는 어장이 형성되지 않았다.

이상의 계절별 특성을 간추려보면 한국 남해 및 동중국해 북부해역의 선망어장은 주년 전선대 및 그 주변 대마난류수 연변부에서 좋은 어장이 형성되고 있지만, 이러한 전선역 어장 외에도 동계에는 제주도 서쪽 해역의 water pocket내의 난류역어장, 동 · 춘계 제주도와 고도열도 사이에 나타나는 고수온역의 대마난류 주류역 어장, 대마도 주변어장 등이 있고 한국 남서부 해역에도 하 · 추계에 연안 전선대 외측과 황해저층냉수사이의 황해난류역에 좋은 어장이 형성되었다. 한편 이러한 어장형성 해역과는 대조적으로 주년을 통해서 어장이 형성되지 않는 해역은 한국 남 · 서해역의 연안수역과 제주도 남서해역 전선대 서쪽의 중국대륙연안수역이었으며, 1월부터 6월까지 한국남서해역에는 전선대가 나타나는데도 선망어장은 형성되지 않았다.

고 찰

동중국해 및 우리나라 남해의 선망어장은 대마난류 해역에서 주로 형성(Gong, 1970; 盧 · 入江, 1973; Cho, 1986; Cho and Yang, 1985; Cho and Park, 1990; Na et al., 1990; Kim, 1991)되지만 그 중에서도 수온전선대의 위치와 상호 밀접한 관계가 있다.

그러나 이러한 전선대 어장 이외에 몇 개의 예외적 어장이 나타나고 있다. 즉, 대마도 동쪽해역에 출현하는 선망어장은 전선대와 관계없는 어장 중의 하나로 이 어장 형성기구에 대해 辻田 · 近藤(1958)는 대마난류가 대마도를 통과하면서 생기는 지형성 와류역에서 형성되는 어장이라고 했다. 또한 동계인 3월 및 춘계에 전선대와 약간 떨어진 제주도와 고도열도 사이해역에서 형성되는 선망어장은 이 해역에 나타나는 설상의 대마난류수 주류부의 선단부에서 형성되는 어장으로 이 해역에 나타나는 고수온선(15~16℃)의 심한 굴곡부내에 형성된 어장이라고 盧 · 入江(1973), Rho and Jeong(1978)은 지적하고 있다.

1월부터 4월까지 제주도와 대마도를 연결하는 전선대의 주변역에서 형성되던 어장이 5월이 되면 제주도와 대마도를 연결하는 전선대를 경계로 전선대의 북쪽인 한국 남해역과 남쪽인 제주도 북동쪽 해역의 어장으로 양분되는 것은 제주도 서쪽에 나타나는 약간 변질된 대마난류수가 제주해협을 거쳐 한국 남해역으로 이동하므로 이 수괴와 같이 전선대의 북쪽으로 이동하는 어군과 전선대 남쪽의 대마난류의 주류부 연변에 출현하는 군들에 의해 형성된 어장일 가능성이 높다. 즉, 춘계가 되면서 전선대 양쪽에서 어장이 형성되는 것은 이 전선대가 제주도 서쪽으로부터 공급되는 약간 변질된 대마난류수와 대마난류 주류수간에 만들어지는 특성 때문에 이들 양수괴를 따라 이동해온 어군에 의해 형성되는 어장이라고 해석된다.

또 7월부터 12월까지 한국 서해역에서 형성되는 어장은 한국 서해 연안역 전선대와 황해저층냉수 사이에서 형성되는 어장으로 Rho(1985)는 황해저층냉수의 확장범위가 좁은 해(年)에 좋은 어장이 형성된다고 했다. 또 5월 이후 10월까지 제주도를 둘러싸는 환형의 전선은 제주도연안역의 강한 조석류와 지형의 영향에 의해 형성된 조석전선이며, 이러한 조석전선의 주변해역은 선망어장뿐만 아니고 갈치채낚기 어선의 주조업장이 되고 있다(Kim, 1995; Kim and Rho, 1998).

동계에 제주도 북서쪽에 나타나는 동서방향의 한국남해 연안역 전선대와 제주도 남서해역 전선대를 경계로 제주도 서쪽 넓은 해역에 water pocket 모양으로 형성되는 어장은 이 해역에 나타나는 약간 변질된 대마난류수와 황해난류수역에서 형성되는 어장이다.

한국 남 · 서해역 및 동중국해 북부해역에서의 전선대의 위치, 형태, 변동특성은 어류의 분포 및 회유경로 추정이나 어 · 해황예보의 정도향상에 크게 기여할 수 있는 중요한 기초자료가 될 수 있으므로 NOAA 위성에 의한 표면수온 영상자료로부터 전선대의 위치를 파악하는 것은 어 · 해황 예보시 매우 유익한 자료로 활용될 수 있다. 그러나 하계가 되면 중국대륙연안수의 확장과 태양복사 에너지의 증가로 한국 남 · 서해 연안역을 제외한 연구대상해역 대부분의 표층수온이 거의 같아지므로 표층 수온전선대가 나타나지 않거나 나타나더라도 중 · 저층의 전선대와 일치하지 않게 된다. 그러므로 NOAA 위성의 화상자료로부터 구하는 표층수온 전선대에 의한 어 · 해황 예보의 한계성을 고려할 필요가 있다.

이상 고찰한 각 어장형성 특성을 정리해 보면 한국 남 · 서해 및 동중국해 북부해역에서 형성되는 선망어장은 전선대 및 그 연변 난류역 어장이 주지만 그외에 대마도 동쪽의 지형성 와류어장, 제주도와 고도열도 사이의 동계 대마난류수 주축인 고수온선(15~16℃)의 굴곡부 어장, 동계 제주도 서쪽의 대마난류수역 어장, 하계 및 추계의 한국서해의 황해난류수역 어장, 하계 제주도 주변의 조석전선역 어장 등으로 대별될 수 있다.

또 전선대 분포양상은 연구대상 해역의 선망어장 형성과 밀접한 관계가 있지만 이 이외에도 어류의 이동경로, 특히 춘계 월동장에서 한국 남 · 서해 연안으로 접근하는 산란군 내지는 색이군이나 하계에 서해, 동해로 이동하는 색이군의 이동경로, 추계 색이장 또는 성육장인 한국 남 · 서해역에서 월동장으로 이동하는 어군들의 이동경로 해명에도 중요한 지침이 될 수 있으리라고 판단된다.

요 약

표층 수온전선과 어장형성과의 관계를 규명하기 위하여 1991년부터 1996년까지 한국선망 41개 선단의 어획자료와 인공위성에 의해 관측된 표층수온자료로부터 구한 표층수온전선과의 관계를

분석 정리한 결과를 요약하면 다음과 같다.

남해 및 동중국해 북부 해역의 선망어장은 주년 전선대 및 그 주변 대마난류수 연변부에서 좋은 어장이 형성되고 있지만 전선역 어장 외에 동계에는 제주도 서쪽 해역의 Water pocket내의 난류역어장, 제주도와 고도열도 사이 등고수온선이 심한 굴곡부내의 대마난류 주류역 어장, 동·춘계 대마도 주변의 지형성 와류어장 등으로 대별되고 한국 남서부 해역에도 하·추계에 연안 전선대 외측과 황해저층냉수 사이의 황해난류역에 좋은 어장이 형성된다.

참 고 문 헌

Cho, K.D. and Y.R. Yang, 1985. Environment of the Purse-seiner Fishing Ground in the Tsushima Current. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 21 (1), 41~61.

Cho, K.D. and S.W. Park, 1990. Inversion Phenomena of Temperature off East Cheju Island in Summer, 1986. Bull Korean Fish. Tech. Soc., 26 (3), 265~274.

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., 1970. A Study on the south Korean coastal front. Proc. of the 2nd CSK Symposium, Tokyo, 79~94.

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, B.K., 1991. The Relationship between Oceanographic Conditions and Fishing Grounds of Purse-seine in the Southern Sea of Korea in 1988. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 45, 1~11.

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, 1998. A Study on the Assembling Mechanism of the Hairtail, *Trichiurus lepturus*, at the Fishing Ground of the Cheju Strait. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 34 (2), 117~134.

Na, J.Y., S.K. Han and K.D. Cho, 1990. 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. Bull. Korean Fish. Soc. 23 (4), 267~279.

Rho, H.K., and K.H. Jeong, 1978. Influence of the Environmental Condition on the Distribution of Mackerel and Jack Mackerel Shoal. Bull. Cheju Nat. Univ. 10, 125~128.

Rho, H.K., 1985. Studies on marine environments of fishing ground in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo, 215.

Uda, M., 1959, Oceanographic Seminars, 2, Watermass boundaries-"Siome", Frontal theory in Oceanography. Fis, Res. Board, Can. Ms Rep. Ser. (Oceanogr. Limnol.) 51, 10~20.

Yang, Y.J., 1998. Fronts and fishing conditions observation the south-west sea of Korea and the northern sea area of East China Sea, M. S. Thesis, Cheju National Univ., 4~62.

Yang, Y.J., S.H. Kim and H.K. Rho, 1998. A study on the temperature fronts observed in the south-west sea of Korea and the northern area of the East China Sea. J. Korean Fish. Soc. 31 (5), 695~706.

盧洪吉·入江春彦, 1973. 五島西冲マアジ·サバ漁場の海洋學的特性に關する研究. 長崎大學水產學 部研究報告, 35, 67~84.

辻田時美·近藤正人, 1958. 東支那海のアジサバの生態と漁場の海洋學的研究. 西水研研報. 14, 7~47.

1998년 10월 26일 접수
1999년 9월 13일 수리