

한국 남해의 대마난류 변동이 멸치 난·자어의 연안역 수송에 미치는 영향

추효상·김동수*

여수수산대학교 해양학과, *해양생산학과

The Effect of Variations in the Tsushima Warm Currents on the Egg and Larval Transport of Anchovy in the Southern Sea of Korea

Hyo-Sang CHOO and Dong-Soo KIM*

Department of Oceanography, *Department of Marine Science and Technology, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

The relationship between the transport of eggs and larvae of Anchovy (*Engraulis japonica*) and the oceanic condition in the southern sea of Korea was examined on August and November 1996. In summer (August), when the Tsushima Warm Current is strong near to the coast, the warm waters such as warm streamers from the Tsushima Warm Current intrude into the coastal area, and cyclonic circulations are formed. The warm water intrusions also generate wakes around Komun Island, Sori Island and Koje Island. In the coastal area where the warm water intrusions occur, the nutrients, dissolved oxygen, suspended solid and chlorophyll are concentrated in probably relation to the upwelling concerned with this warm streamer and/or the wakes. Anchovy eggs and larvae are transported to the coastal area by the cyclonic circulations. The hatching and growth of anchovy larvae are increased because of high primary production in the cyclonic circulations. However, as the amount of Copepods which are a main food for anchovy larvae decrease in the coastal area, anchovy larvae seem to move to the Tsushima Warm Water area for seeking a prey.

In autumn (November), the Tsushima Warm Current is far away from the coast. In this season the warm water intrusions almost disappear, and the small scaled frontal eddies are formed between the coastal water and the Tsushima Warm Water. As the surface water moves towards offshore, few anchovy eggs and larvae were sampled in the survey area. Chemical and biological substances are concentrated in the leftdown sides of the small scaled frontal eddies because of eddy formation.

Key words: Tsushima Warm Current, warm streamer, front, Anchovy eggs, larvae, nutrients, chlorophyll, plankton, transport

서 론

한국 남해 연안은 대마난류수와 황해난류수, 중국 대륙 연안수 및 한국 남해 연안수와 같은 해수 특성이 서로 다른 수괴들이 접하는 해역으로서 유용 해양 생물이 서식하는데 최적의 해양 환경을 가진다. 따라서 멸치, 고등어, 전갱이, 삼치와 같은 상업적으로 주요한 수산 자원들이 풍부하고 이에 따른 어업 활동도 매우 활발하다. 이러한 수산 자원의 연간 생산량은 주로 그 해의 산란량과 자원 가입량에 의해 결정되고 (Ricker, 1954), 가입량은 해당 해역의 해양 물리적 환경 요인 (수온, 염분, 투명도, 해수유동 등)과 먹이 관계 (동물, 식물 플랑크톤, 클로로필량, 용존산소, 영양염류 등)로 인한 초기 발육단계의 생산율에 의해 결정된다 (Nakata, 1991).

우리나라의 멸치 (*Engraulis japonica*)는 남해 연안에서 어획되는 연근해 어류 중 어획량이 가장 많으며, 남해안 일대에서 년 평균 10만톤 이상 어획된다 (농림수산부,

1995). 멸치는 연안성 난류성 표층어로, 그 어기와 어장은 봄철 (3월 경) 대마난류 세력의 확장으로 연안의 표면수온이 상승하면 여수~남해~거제도 남부해역 및 통영~옥지도 주변에서, 그리고 대마난류가 한국 남해안에 가장 접근 하는 여름철은 성어기로서 남해 연안 전역에서 어획된다. 멸치 어장의 수온 조건은 산란수온 15~24℃ (최적 수온 17~22℃), 서식 수온 8~30℃ (치어 15~29℃, 자어 10~22℃), 최적 서식 수온 13~23℃이다. 또 멸치는 약 10~20 m의 수심을 유영층으로 하고 주로 동물성 플랑크톤 (요각류)을 먹는다 (수산진흥원, 1994).

우리나라 남해에서 어획되는 멸치는 3~4월경 남해 외해에서 월동하던 어군이 연안쪽으로 접안 회유하여 산란을 시작하고 이후 7월 부터 2~5 cm 크기의 자어로, 8~11월은 3~6 cm의 자어로 성장하여 남해 연안 어장에 가입된다 (Kim, 1992). 따라서 7월 이후 어획되는 멸치는 이른 봄에 산란, 성장된 개체들로 산란장의 해양 환경 변화와 산란 시기, 산란 밀도, 부화율, 치자어 생산율 등

에 따라 어획량이 결정된다. 이와 같이 멸치 자원의 변동은 가입량에 의해 크게 결정되고 이들 가입량은 난·자어의 분포에 영향을 받는다.

우리나라 주변 해역의 멸치 난·자어 분포에 관한 연구로는 Park and Lim (1965), Lim et al. (1970), Lim and Ok (1977), Yoo (1991) 등이 있고 난 치자어의 분포와 해양 환경과의 관계에 대해서는 Chang et al. (1980), Kim (1983) 및 Kim et al. (1994) 등이 있다. 그러나 이러한 연구들은 멸치 난·자어의 분포와 수온 혹은 염분 등의 단일 환경 요인과의 관계를 조사한 것으로서 난·자어의 분포에 직접적 영향을 미치는 수일 단위의 유동 변화와 관련된 해양 환경 조건 및 먹이 생물과의 관계에 관해서는 미흡하다. Watanabe (1982)는 쿠로시오 및 그 연안 해역에서 산란된 소형 부어류의 난·자어는 쿠로시오의 유로 변동에 의해 산란장에서 성육에 적합한 해역으로 수송됨을 지적하였고, 川合 (1991), Tameishi et al. (1994)는 인공위성화상에 의한 해양의 미세구조 해석에서 쿠로시오와 연안수의 전선에서 파생되는 warm streamer (허모양으로 생긴 폭이 좁고 긴 난수)나 이로 인한 반시계 방향의 전선외류 (좌선환류)와 같은 meso-scale (중규모)의 요란이 생물 생산과 난·자어를 포함한 생물의 분포, 이동에 중요한 역할을 함을 시사하였다. 또한 Kasai (1995)는 일본 연안의 정어리 난·자어 분포가 주로 단주기적 해류의 변동에 지배되고, 난수의 연안역 수송이 자원 가입에 크게 기여함을 밝혔다. 中田 (1997)는 일본 遠州灘의 쿠로시오와 연안수 사이의 전선에서 CTD, 영양염, 클로로필 농도 측정 및 네트 채집으로 멸치 난·자어 및 먹이 생물의 분포가 쿠로시오로부터 파생되는 쿠로시오계 난수의 거동과 이로 인해 생성되는 반시계 방향의 외류에 의해 결정됨을 시사하였다.

본 연구는 한국 남해 연안 멸치 자원의 분포가 남해의 해황 구조에 어떻게 지배되는지를 규명하기 위해 하계와 추계의 대마난류계수 거동과 난수의 연안 수송에 따른 해양 생물학적, 화학적 요소의 분포를 조사하였다. 또 warm streamer의 연안 유입이 멸치 난·치자어 및 그 먹이 생물의 수송과 분포에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

자료 및 방법

대마난류수가 한국 남해 연안 가까이 분포하는 1996년 8월 19일~22일 (하계)과 연안에서 점차 멀어지는 11월 4일~8일 (추계), Fig. 1에 나타난 42개 정점에서 멸치 난·자어, 수온, 염분, 투명도 및 표류엽서 조사를 하였

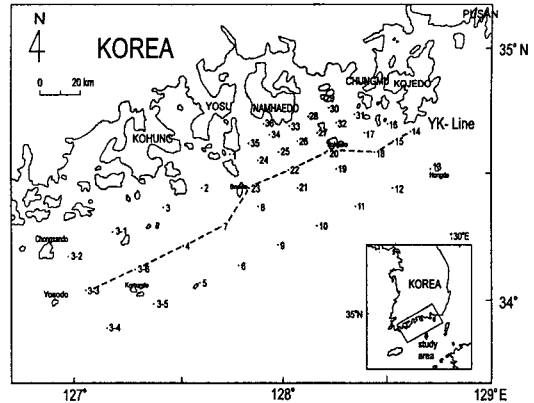


Fig. 1. Locations of hydrographic observation and sampling station.

다. 또 해수의 화학적 성분으로 DO (용존산소), SS (부유물질), 영양염류를 조사하였고, 기초 생물 생산력으로 클로로필과 식물 및 동물 플랑크톤의 양을 파악하였다. 11월은 해황의 악화로 여수만도~거제도 연안 8개 정점 (1, 28~30, 33~36)에서 관측이 이루어지지 못하였다.

멸치 난·자어는 구경 45 cm, 길이 1.8 m, 망목 333 μ m의 채집망으로 각 조사정점의 수면에서 저층까지 수직 채집하였다. 채집된 자료는 수괴에 의한 이동 및 수송 과정을 보기 위해 발생 단계에 따라 크게 I~V의 5 단계로 분류하였다 (Kim, 1992). 여기서 산란 직후에서 부화 직전의 난 단계인 I~III은 성장에 따라 Ia~Ic, IIa~IIc, IIIa~IIIc의 9 단계로 다시 구분하였다. IV 단계 (전기 자어기, Pre-larval stage)는 멸치 난이 부화 직후부터 난황이 완전히 흡수될 때까지, V 단계 (후기 자어기, Post-larval stage)는 난황이 완전히 흡수된 이후부터 자어의 크기가 18mm까지로 하였다. 수온, 염분은 CTD (11월은 수온만 조사), 투명도는 Secchi disk를 사용하였고, 표류엽서는 耐水紙의 세로 14.5 cm, 가로 9.7 cm 엽서 가장자리에 무게 0.3g의 금속제 weight (추)를 장착하였다. 엽서에는 1매씩 연속된 숫자를 기록하였다. 표류엽서는 투하전 실험실내에서 해수를 사용하여 해수표면에 연직적으로 위치하도록 조정하였다. 엽서의 투하는 각 정점에서 총1575매 (11월 1375매, 정점 1~15 50매씩, 정점 16~36 25매씩)를 투하하였다. 한편, 한국 남해안 대마난류수의 시간 연속적 거동을 보기 위해 남해의 표면 수온 분포도 (수산진흥원, 1997)로 부터 등온선의 일 변화를 작성하여 본 연구 결과와 비교하였다. 해수의 화학적 성분들은 각 정점의 표층에서 채수한 시료를 사용하여 실험실내에서 분석하였다 (日本氣象協會, 1970). 클로로필량은 클로로필 측정기 (Alec, Model-Clorotec)를 사용하여

Table 1. Individuals of Anchovy egg and larva by developmental stages collected at station 1~36 on 19~22 August 1996

Sta.	Stage	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	IIc	IIIa	IIIb	IIIc	Pre-L (IV)	Post-L (V)
1												2
2												
3											4	
3-1												
3-2						2	24					
3-3			1									
3-4							1					1
3-5						1						
3-6												
4												
5				12		3						
6												
7												1
8		1										
9				2								
10		1										
11												
12												1
13												
14												
15							2					
16				9	1	1						
17				6	103	5	3	2	2			
18												
19											2	
20												
21					1							
22							7				2	
23							4				1	
24					10	2					2	
25												
26												2
27		1		2		1	1					
28							7					
29						1	5				2	
30												
31												1
32												
33		1										1
34												
35												
36												

수층별 관측을, 동물 플랑크톤은 표층에서 수심 50 m까지 Norpac net를 사용하여 채집한 후, 멸치 자어의 먹이가 되는 Copepod류의 개체수를 조사하였다. 식물 플랑크톤은 표층에서 채수한 시료를 종별 분류한 후, 그 현존량을 조사하였다.

결 과

1. 멸치 난·자어 분포

멸치 난·자어의 발생 단계별 개체수를 Table 1에, 그리고 이들의 수평 분포를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2에 난·자어의 출현 양상과 수온의 관계를 보기 위해 채집 당시의 표면 수온도 함께 제시하였다. 멸치 난·자어의 출현 개체수가 많은 해역은 정점 23의 여수 반도 남쪽 소리도에서 정점 16의 거제도까지 연안 해역으로, I~V

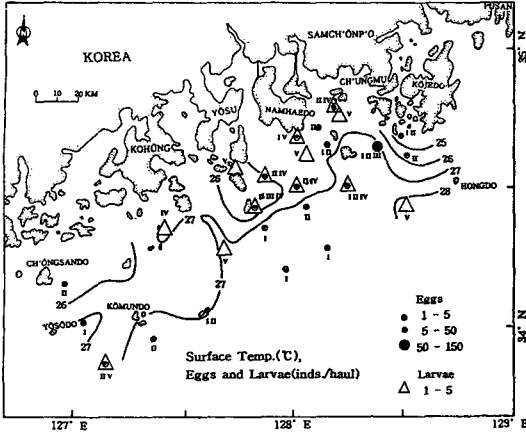


Fig. 2. Distributions of Anchovy eggs and larvae on 19~22 August 1996. In figure, surface temperatures 25°C~28°C were drawn simultaneously. The numeric letters I~V around egg and larva symbols indicate the developmental stages of anchovy egg and larva.

단계의 난과 자어가 동시에 출현 하였다. 난의 출현 개체수가 가장 많은 곳은 거제도 연안 정점 17로 동 해역

주변은 수온 27°C를 경계로 수온의 수평경도가 컸다. 한편, 수온 27°C 이상의 외해역은 발생 초기인 I, II 단계의 난이 소량 출현 하였다. 27°C 등온선이 반 시계 방향으로 유입되는 소리도 서쪽 해역에서 IV, V 단계의 전기 자어 및 후기 자어가, 그리고 거문도 동쪽 정점 5와 26°C 이하의 청산도 연안 정점 3-2에서 난의 출현 밀도가 컸다. 11월 조사에 나타난 각 정점의 출현 개체수는 2와 27의 단독 정점에서 각각 1개의 난(Ic)과 자어(Post-L)가 출현하여 8월 출현량에 비해 극히 적었다.

2. 멸치 난·자어 분포역의 해황 변화

1) 수온 분포

1996년 8월과 11월 남해에서 조사된 0m, 10m의 수온 수평분포를 Fig. 3에 나타냈다. 8월의 0m 수온은 Fig. 2에 나타낸 것과 같으나 10m층의 수온과 비교하기 위해 Fig. 3에 다시 그렸다. 조사대상 해역내 표면(0m) 수온은 24.2~28.2°C의 분포를 나타냈다. 표면 수온이 가장 높은 해역은 거제도 남쪽 외해의 12 정점이고 가장 낮은 해역은 거제도 연안의 16 정점이었다. 하계(8월) 대마난류수와 연안수의 표면 수온은 평균 28.5°C, 25.5°C (Kang,

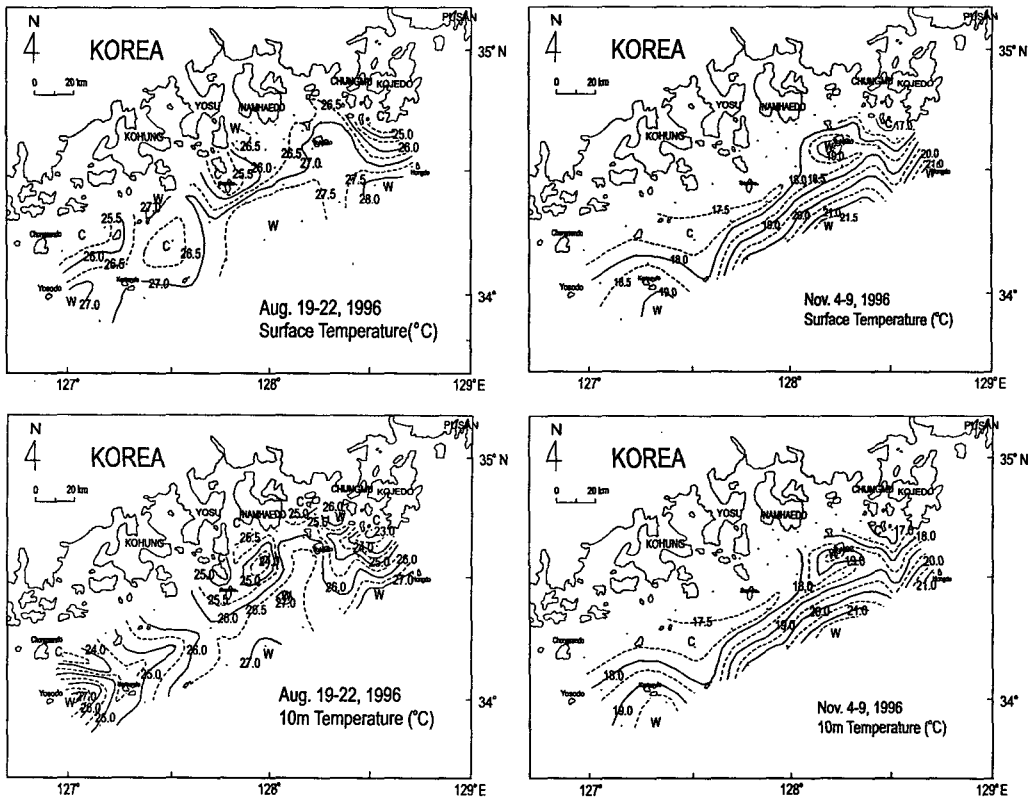


Fig. 3. Horizontal distributions of water temperature at surface and 10m depth on 19~22 August and 4~9 November 1996.

1974)로, 수온 28°C 이상의 정점 12 이남에 대마난류수가, 26°C 이하의 거제도, 소리도, 청산도 주변에 연안수가 분포했다. 한편, 표면 수온 26~28°C의 수괴는 대마난류수와 연안수 사이의 중간수로 생각되며, 3개 섬 주변 연안을 제외한 전 해역에 분포한다. 중간수대 수온 수평경도가 큰 해역은 27°C 등온선 부근이며 난류수와 연안수의 전선을 나타낸다. 본 연구는 조사해역내 중간수 중, 전선 외측의 난류수를 대마난류계수로 구분하였다. 27°C 등온선은 거문도에서 반시계 방향으로 소리도 서쪽까지 이어지고, 다시 소리도 남쪽과 육지도 주변을 거쳐 거제도 남쪽을 시계방향으로 돌아 홍도까지 분포한다. 10 m층은 표면에 비해 전 해역에서 약 1°C 낮았다. 10 m층의 수온 26°C 이상은 여서도 주변과 고흥반도 남쪽, 그리고 육지도를 거쳐 홍도까지 분포한다. 25°C 이하 수온역은 청산도~거문도 주변으로, 여서도와 고흥반도 남쪽의 26°C 이상 대마난류계수 사이에 분포했다. 소리도~육지도의 해양 표면은 소리도 주변에 26°C 이하의 수온역이 형성되나, 10 m층은 이들 수온 (25°C 이하)역이 육지도 서쪽~남해도를 따라 반 시계 방향으로 분포하는 대마난류계수로 인해 분리되어 나타났다. 한편, 11월은 전 해역이 17~21.5°C의 분포로 연안 해역이 18°C 이하로 낮았으며, 표면과 10 m의 수온차는 8월과 달리 거의 나지 않았다. 외해로 갈수록 수온은 18~21°C로 점차 증가했다. 수온의 수평경도가 큰 곳은 19°C 등온선 주변으로 18 km의 거리에 약 3개의 수온 차를 나타냈다. 10월의 대마난류수 수온은 보통 23.6°C, 연안수 21.0°C, 12월은 대마난류수 20.6°C, 연안수 12.5°C (Kang, 1974)로, 11월 대마난류수 수온은 21~23°C, 연안수는 13~20°C로 예상된다. 본 조사는 11월 연안수와 대마난류계수의 경계를 약 19°C로 추정하였다. 11월은

17.5°C 이하의 수온역이 청산도~소리도까지 분포하여, 8월과 같은 고흥반도 남쪽의 반 시계 방향의 대마난류계수(난수) 유입 현상은 보이지 않았다. 외해에서 유입된 19°C 이상의 난수는 거문도 남쪽과 육지도 서쪽에 고립되어 나타났다. 육지도 서쪽의 난수는 8월에 나타난 warm streamer의 연안 유입과 달리, 난수의 규모가 작아 연안수와 난류수 사이의 전선에서 떨어져 나온 소형 warm eddy (暖水渦) 형태를 보였다.

대마난류계수와 연안수의 연직 분포를 보기 위해, 조사 영역내 여서도와 거제도 남단을 연결하는 YK-line (Fig. 1)에서 8월과 11월의 수온 연직 단면을 Fig. 4에 나타냈다. YK-line의 설정은 대마난류계수와 연안수의 연직 분포 상황을 좀더 명확히하기 위해 소리도와 육지도 사이에서 정점 23, 22, 20을 선정하였다. 8월의 수온은 표층 15 m 까지 25°C 이상으로, 대마난류계수가 표층 약 15 m 까지 존재했다. 26°C 이상 수온역은 정점 3-3, 7, 20을 중심으로 분포했다. 3-3 정점의 난수층 아래 20 m 이하는 표층과 달리 등온선이 약간 상승되어 나타났다. 이 현상은 warm streamer의 연안 유입이 있는 정점 7과 20의 좌측 해역 전 층에서도 나타났다. 표면에서 수온의 경도가 큰 곳은 정점 15 (거제도 남쪽)로, 이 해역은 25°C 이하의 저층수가 표면 부근까지 나타났다.

11월은 표, 저층의 수온이 균일했다. 정점 4~22는 17.5°C 전후로 표면에서 저층까지 수온이 거의 같았다. 19°C 이상의 대마난류계수역은 정점 20을 중심으로 나타나며 그 깊이가 약 30 m까지 달해 8월에 비해 난수층이 깊었다. 한편, 19°C 이상의 수온은 18 정점의 약 35 m 에서도 보였다. 3-3과 3-6 정점의 표층은 18.5°C 전후이나 20 m 이하는 3-3 정점이 이보다 낮고 3-6 정점은 높아 두

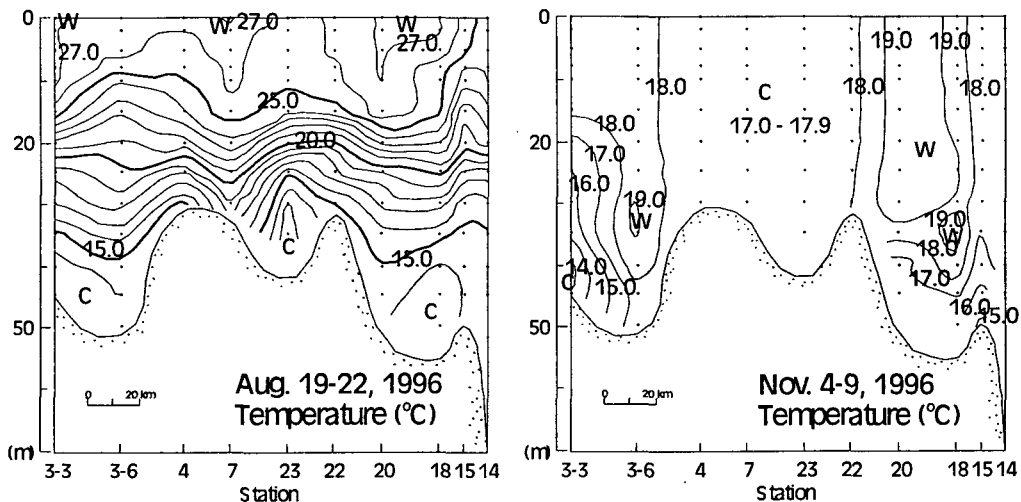


Fig. 4. Vertical sections of water temperature on 19~22 August and 4~9 November 1996 at YK-line.

정점간 현저한 수온 경도를 나타냈다.

2) 염분 분포

1996년 8월 염분의 0 m, 10 m의 수평분포를 Fig. 5에 나타냈다. 하계 대마난류수와 연안수의 표면염분은 약 30.4‰, 31.8‰ (Kang, 1974) 정도로 알려져 있으나, 관측된 표면 염분은 30~32.5‰의 분포로 외해가 31‰ 이하로 낮았다. 표면염분은 외해에서 연안으로 갈수록 높아지나 돌산도~남해도는 주변보다 약 0.5‰ 낮았다. 등염분선의 분포는 대체로 표면 수온의 분포와 같았다. 10 m 층의 거문도~고흥반도는 32.5‰ 이상, 그리고 육지도 서쪽~남해도 연안은 반시계 방향으로 32‰ 이하의 염분이 분포하여, 수온분포에 나타난 소리도가육지도 서쪽의 warm streamer가 남해도 연안을 향해 반 시계 방향으로 유입됨을 알 수 있다. 충무와 거제도 주변은 32.5‰ 이상의 염분이 분포했다.

YK-line 단면의 8월 염분과 밀도의 연직 분포를 Fig. 6에 나타냈다. 32‰ 이하의 염분은 정점 3~3~7 그리고 정점 20~18의 수심 약 15 m 까지 분포했다. 분포 형태는 수온 단면과 흡사했다. warm streamer의 연안 유입이 있는 정점 7과 20의 좌측 표층 20 m 주변에 약한 등염분선의 상승이 있고, 특히 거제도 남쪽 15, 14 정점은 33‰가 표층 10 m까지 나타났다. 정점 3-6의 수심 20 m 이심은 주변 보다 낮은 염분수가 존재했다. 이 현상은 거제도 남쪽의 정점 15~14에서도 보였다. 한편, 밀도는 표층 대마난류계수역에서 21.0 이하로 낮았고 수평경도가 큰 곳은 거제도 남쪽의 정점 15 주변이었다.

3) 투명도 분포

8월과 11월의 투명도 분포를 Fig. 7에 나타냈다. 8월의 투명도는 조사 영역에서 3~10 m의 분포였다. 투명도가

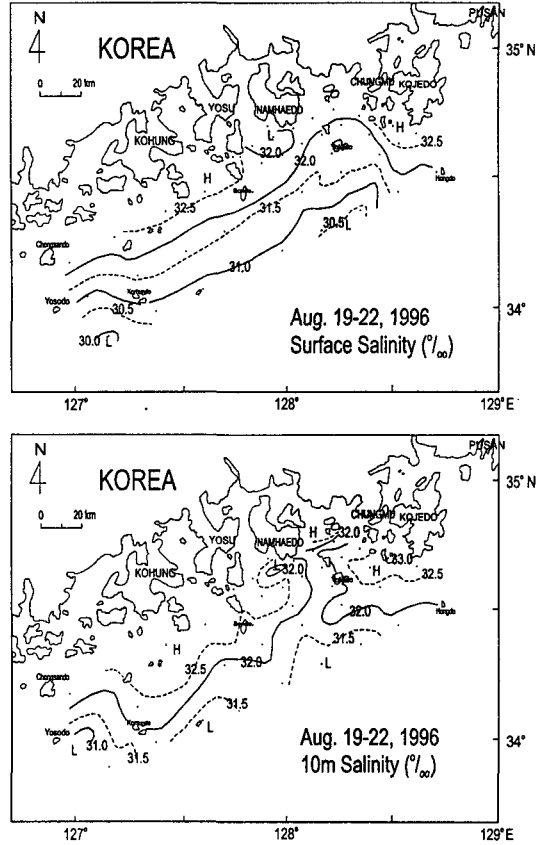


Fig. 5. Horizontal distributions of salinity at surface and 10 m depth on 19~22 August 1996.

큰 곳은 대마난류계수역인 외해로 8 m 이상이고, 연안은 7 m 이하였다. 투명도 분포는 수온, 염분의 수평분포와

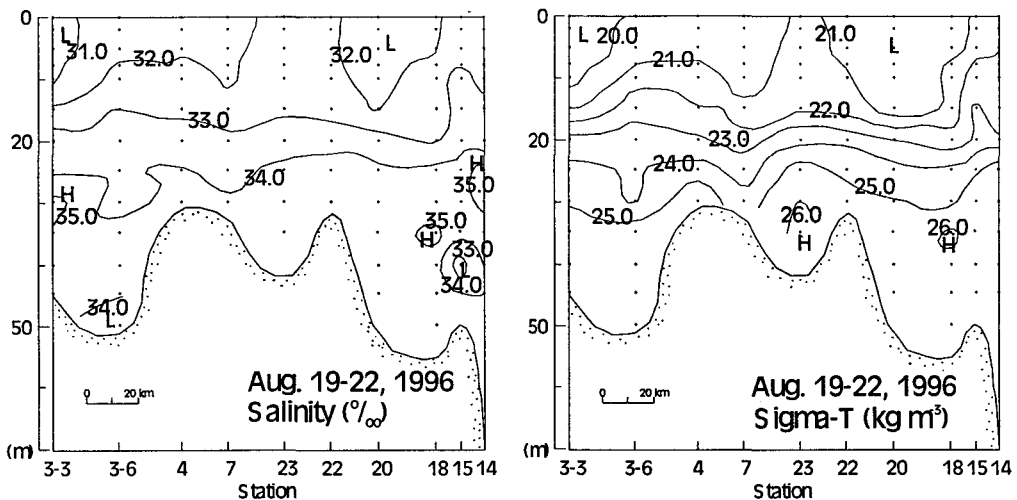


Fig. 6. Vertical sections of salinity and density (sigma-T) at YK-line on 19~22 August 1996.

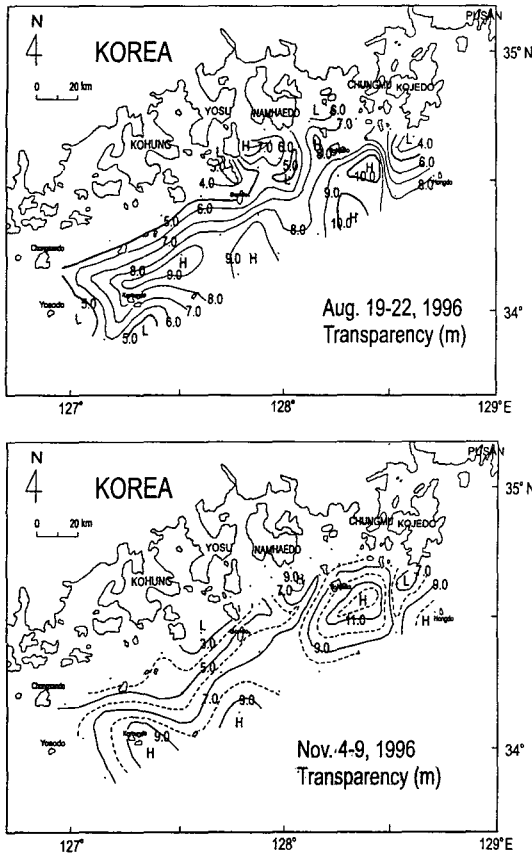


Fig. 7. Horizontal distributions of transparency on 19~22 August and 4~9 November 1996.

유사했다. 7m 이상 해역은 거문도~소리도~욕지도를 향해 반시계 방향으로 존재했다. 소리도~남해도 사이에 투명도가 큰 물에 의해 둘러싸인 5m 이하의 해역이 분포하는 것은 수온 분포와 같았다. 한편, 거제도 주변은 8m 이상의 투명도역과 연안 사이에 현저한 투명도 전선이 나타났다. 11월은 8월과 같이 연안이 낮고 대마난류계수역은 높았다. 8m 이상의 투명도는 거문도 남쪽과 정점 6, 그리고 욕지도 남쪽에서 나타났다. 8월 거문도 북동쪽의 9m 이상 해역은 존재하지 않았다. 수온에 나타난 욕지도 남쪽의 고립된 warm eddy 주변은 9~12m 로 해역 중 투명도가 가장 컸다.

4) 표층류의 수송, 분산

8월 표류 엽서 조사에 의한 엽서의 회수 상황을 Table 2에 나타냈다. 조사 기간 중 투하된 총 1575매의 엽서 중 4.8%인 75매가 회수되었고, 이 가운데 18매가 엽서 투하 후 1주일 이내에 회수되었다. 회수된 곳은 일부 연안 정착망이나 어선 조업 장소에서 회수된 것이 있으나 대부분이 육지 해안가에서 회수되었다.

투하된 42개 정점 중 1매도 회수되지 않은 정점은 12 곳이었다. 각 투하 정점의 엽서 표착 상황을 Fig. 8a)~c)에 나타냈다. Fig. 8a)는 연안과 가까운 정점, Fig. 8b)는 중간, Fig. 8c)는 외해쪽 정점들에서의 표착 상황이다. Fig. 8a)에서 소리도와 그 서쪽 23, 2, 3, 3-1, 3-2 정점은 3-1과 3-2 정점을 제외하고 대부분 북서~서쪽의 나로도 와 완도 주변 섬에 표착되었다. 이 중 정점 3에 투하된 엽서들의 분산이 가장 컸다. 정점 3-1의 엽서는 남동 방향으로 표착되었고 3-2에서는 엽서가 회수되지 않았다. 여기서 엽서가 회수되지 않은 것은 투하 당시 그 정점의 흐름이 외해쪽이었든가 아니면 회수가 불가능한 장소에 엽서가 표착됨에 따른 것으로 추측된다. 한편, 여수반도에서 거제도까지는 여수반도~남해도가 북~북서, 서~남서 방향이고, 이 중 25 정점은 여수반도 주변 섬들에 분산 표착되었다. 남해도~욕지도는 북~북동, 동 그리고 욕지도가 거제도는 주로 동쪽의 거제도 해안에서 회수되었다. Fig. 8b)는 여서도와 거문도 중간 정점 3-3에서 가장 많은 엽서 회수율을 보였으며, 북서~북동의 섬들에 표착되었다. 그러나 바로 옆 3-6 정점인 거문도 북쪽은 전혀 회수되지 않았다. 고흥반도 남동쪽은 주로 북쪽으로 표착되었다. 소리도~욕지도는 북~북동 방향에 표착하여 욕지도와 남해도 그리고 거제도 해안에서 회수되었다. 한편, 욕지도와 거제도 사이 18 정점은 회수율이 0으로 표층류는 외해로 향하였음이 추측되고, 거제도 연안은 충무, 거제, 마산 등의 해안에 표착하였다. Fig. 8c)의 표착 지점은 주로 북동 방향이었다. 그러나 대부분의 정점이 북동인데 비해 정점 11은 북서쪽의 남해도와 여수반도 남쪽에서 엽서가 회수되었다. 정점 12는 부산 그리고 맨 바깥 정점인 13은 회수율이 0였다.

11월 실시한 조사에 나타난 엽서 표착 결과는 투하 후 150일 경과시까지 단 3매가 회수되어 8월의 결과와 큰 차이를 보였다. 회수된 엽서가 투하된 정점은 3-1, 3-5, 17 정점으로 3-1은 남동 방향의 초도에서, 3-5는 일본 후쿠오카 遠駕郡에서 그리고 17정점은 서쪽 방향의 욕지도 해안에서 각각 회수되었다.

3. 해양 화학적, 생물학적 요소의 분포

1) 용존산소, 부유물질 및 영양염 분포

Fig. 9와 Fig. 10에 8월과 11월에 조사된 용존산소, 부유물질, Si(OH)₄-Si(규산염), NH₄-N(암모니아염)의 수평분포를 나타냈다. Fig. 9에서 용존산소와 부유물 농도는 난수 유입이 있는 해역, 즉 대마난류계수역에서 비교적 낮고 연안역은 높았다. 농도의 수평경도는 난수와 연안수의 경계에서 다소 컸다. 규산염과 암모니아염은 대

Table 2. Results of recoveries of drift cards released at station 1~36 on 19~22 August 1996

Thro. date	St.	No. of thro. cards	No. of recov. cards	Drift distance (km)	
Aug.19	1	50	(2) 3 <3, 25, 2>	3, 3, 3	
	2	50	(3) 3 <6, 1, 7>	17, 17, 17	
	3	50	(0) 5 <10, 45, 48, 28, 15>	61, 72, 59, 59, 44	
	3-1	50	(0) 2 <9, 23>	6, 6	
	3-3	50	(0) 9 <95, 22, 44, 22, 22, 19, 13, 13, 13>	45, 53, 54, 32, 32, 32, 32, 53	
	3-5	50	(0) 2 <68, 33>	108, 108	
Aug. 20	4	50	(1) 1 <6>	37	
	5	50	(3) 3 <6, 4, 6>	104, 104, 123	
	6	50	(0) 1 <10>	82	
	7	50	(2) 5 <98, 6, 9, 11, 5>	45, 40, 44, 30, 33	
	8	50	(1) 1 <2>	99	
	10	50	(0) 6 <81, 12, 23, 36, 125, 11>	85, 108, 98, 104, 83, 88	
	11	50	(0) 3 <18, 54, 16>	66, 69, 56	
	12	50	(1) 1 <7>	106	
	14	50	(0) 4 <13, 8, 15, 12>	21, 27, 21, 21	
	15	50	(0) 3 <11, 36, 55>	67, 24, 69	
	Aug. 21	16	25	(0) 1 <43>	80
		17	25	(0) 2 <11, 18>	47, 12
		19	25	(0) 2 <9, 39>	67, 17
		20	25	(0) 1 <59>	48
21		25	(0) 2 <28, 25>	52, 61	
22		25	(1) 1 <4>	28	
23		25	(0) 2 <10, 11>	38, 38	
25		25	(3) 4 <11, 7, 7, 7>	19, 22, 27, 34	
26		25	(0) 1 <11>	30	
28		25	(0) 2 <11, 15>	24, 17	
30		25	(0) 1 <19>	22	
Aug. 22	31	25	(1) 2 <7, 59>	37, 19	
	33	25	(0) 1 <15>	24	
	36	25	(0) 1 <11>	18	
	Total		(18) 75		

() : Number of recov. cards within one week
 < > : Elapsed dates from throwing to recovery

마난류계수에서 농도가 낮고 연안에서 높았다. 특히 여수반도와 거제도 사이에서 warm streamer의 연안 유입으로 형성된 가장자리의 낮은 농도와 그 가운데에 고립된 고 농도의 영양염 분포는 해황 조사 결과에 나타난 수괴분포와 매우 유사하였다. 11월 (Fig. 10)의 부유물, 영양염 농도는 대체로 연안이 높고, 외해의 대마난류계수역은 낮았다. 해황 조사에서 나타난 육지도 서쪽의 warm eddy 주변은 용존산소가 7.0 mg/l로 해역 중 가장 낮고, 부유물질, 영양염 농도는 높았다. 연안수와 대마난류계수의 용존산소, 부유물, 영양염 농도 분포는 8월과 달리 뚜렷한 특성을 나타내지 않았다.

2) 클로로필 분포

8월과 11월 조사한 클로로필의 표면 (8월 2m, 11월

0 m), 10 m 층의 수평분포와 YK-line의 연직 단면도를 Fig. 11에 나타냈다. 8월의 클로로필량은 연안에서 2.0~3.0 µg/l로 높고 외해에서 0.5~2.0 µg/l로 낮았다. 해역에 따른 클로로필의 수평 분포는 수온이나 염분의 분포와 매우 유사하였다. 즉 2.0 µg/l 이하의 농도가 고히반도 남동쪽에서 유입되고, 소리도~육지도 사이는 육지도에서 남해도를 따라 돌산도 동쪽까지 분포했다. 또 낮은 클로로필 농도는 육지도를 거쳐 충무와 거제도 남쪽 연안으로 이어진다. 표층의 이러한 클로로필 분포는 해황 조사에 나타난 warm streamer의 분포와 표류염서 조사에 나타난 표층류의 유동 형태와 잘 일치했다. 클로로필 농도의 공간 변화가 큰 해역은 여서도~거문도, 소리도 주변 그리고 거제도 남쪽 연안이었다. YK-line의 연직

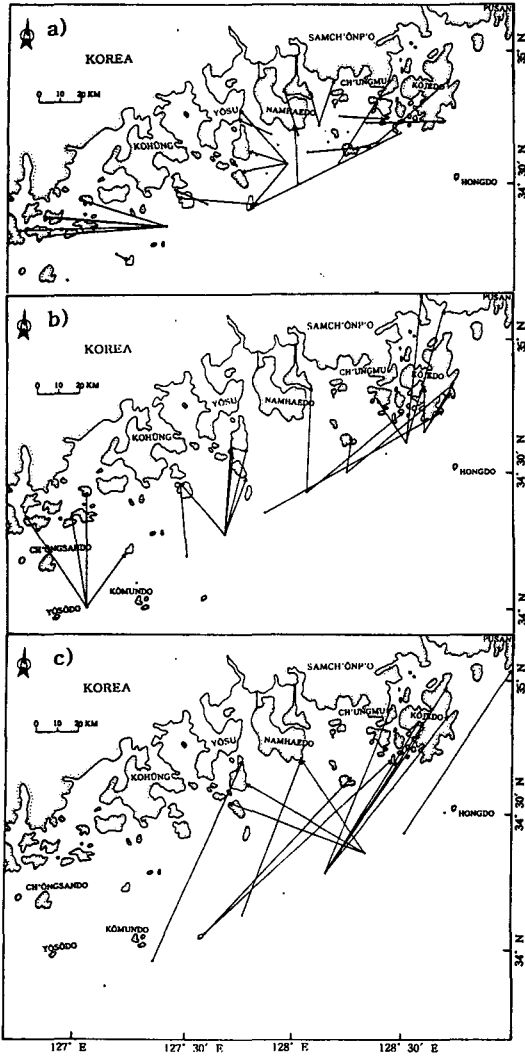


Fig. 8. Approximate paths of drift cards in August 1996. a), b) and c) show those at the inner stations, the middle stations and the outer stations respectively.

단면에 나타난 클로로필은 수온, 염분과 같이 대마난류 계수가 분포하는 여서도~고흥반도 (정점 3-3~7) 그리고 욱지도 주변 (정점 20~18)의 0~15 m에서 1.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이하로 낮았다. 4.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상의 농도는 소리도 남쪽 23 정점과 거제도 남쪽 15 정점에 나타나며, 이들 해역에서 표층 클로로필의 수평 경도가 가장 컸다. 정점 4와 14의 수심 20 m에 5.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 높은 농도가 나타났다. 11월은 소리도~거제도 연안과 대마난류계수역은 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이하이나, 그 사이 전선역은 2.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상이였다. 해황 조사에서 나타난 욱지도 남쪽의 warm eddy 남서쪽은 2.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 주변 해역에 비해 농도가 높았다. 소리도 서쪽은

거문도를 중심으로 연안수역인 청산도~고흥반도 남쪽이 2.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이하, 대마난류계수역인 여서도 주변이 3.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상으로 두 수역간 농도의 경사가 컸다. YK-line 단면은 3-3과 7 정점의 표층 20 m에서 2.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상이였다. warm eddy역인 20 정점은 약 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였다.

3) 동·식물 플랑크톤 분포

Fig. 12는 8월과 11월 식물 플랑크톤 현존량과 동물 플랑크톤 중의 Copepod 개체수의 수평 분포이다. 8월 식물 플랑크톤은 소리도~남해도 그리고 거제도 남쪽의 연안수역에 다량 분포하였다. Copepod는 소리도 및 충무~거제도 연안에 개체수가 많고 식물 플랑크톤과 달리, 외해의 대마난류계수역에 개체수가 다수 출현하였다. 11월 채집된 식물 플랑크톤은 소리도~욕지도의 연안수와 대마난류계수 경계역에 많았다. 한편, Copepod는 청산도~소리도 해역, 소리도~거제도의 연안수역에 많았다. 8월과 11월 식물 플랑크톤과 Copepod의 분포 특징은 8월 식물 플랑크톤은 연안수역에, Copepod는 대마난류계수역에 많았으나, 11월은 그 반대로 Copepod가 연안수역에 많이 나타났다.

고찰

1) 대마난류계수의 연안유입과 멀치 난·자어 분포
 해역에 있어 유영능력이 없어 일차적으로 해양의 흐름에 의해 이동, 수송되는 해양 생물체인 어류 난·자어의 분포는 해역의 해황 구조와 변화에 지배된다. 특히, 난·자어의 표류 분산 및 수송 과정은 산란 후 수일~수십일의 미세한 시간 scale내에 산란장 주변의 국소적 해황 변동과 난·자어의 공간적 분포 변화로부터 파악 되어져야 한다. 한국 남해의 멀치 분포와 회유에 영향을 미치는 수괴는 대마난류수와 남해 연안수로 이 두 수괴의 접촉으로 형성되는 한국 남해 연안 전선의 형성과 배치는 멀치 생활사에 매우 중요하며 (Chang et al., 1980), 이들 수괴의 변동이 멀치의 분포를 결정하게 된다.

하계

본 조사에 나타난 하계 멀치 난·자어 분포 (Fig. 2)는 남해 연안과 외해에 형성된 수온 전선을 경계로 연안이 외해 보다 출현 개체수가 많고 수온 전선에 다량 분포하였다. 이 결과는 하계 수년에 걸친 Kim (1992)의 조사에서 멀치 난·자어의 출현이 남해 연안수와 외해의 난류수 사이에 형성된 전선역에 집중되어 나타나는 사실과도 일치된다. 수온 전선을 경계로 한 난의 발생 단계와 자어의 출현은 소리도~욕지도 연안과 고흥반도 남쪽 연안에서 산란 후 어느 정도 시간이 경과한 전, 후기 자어의

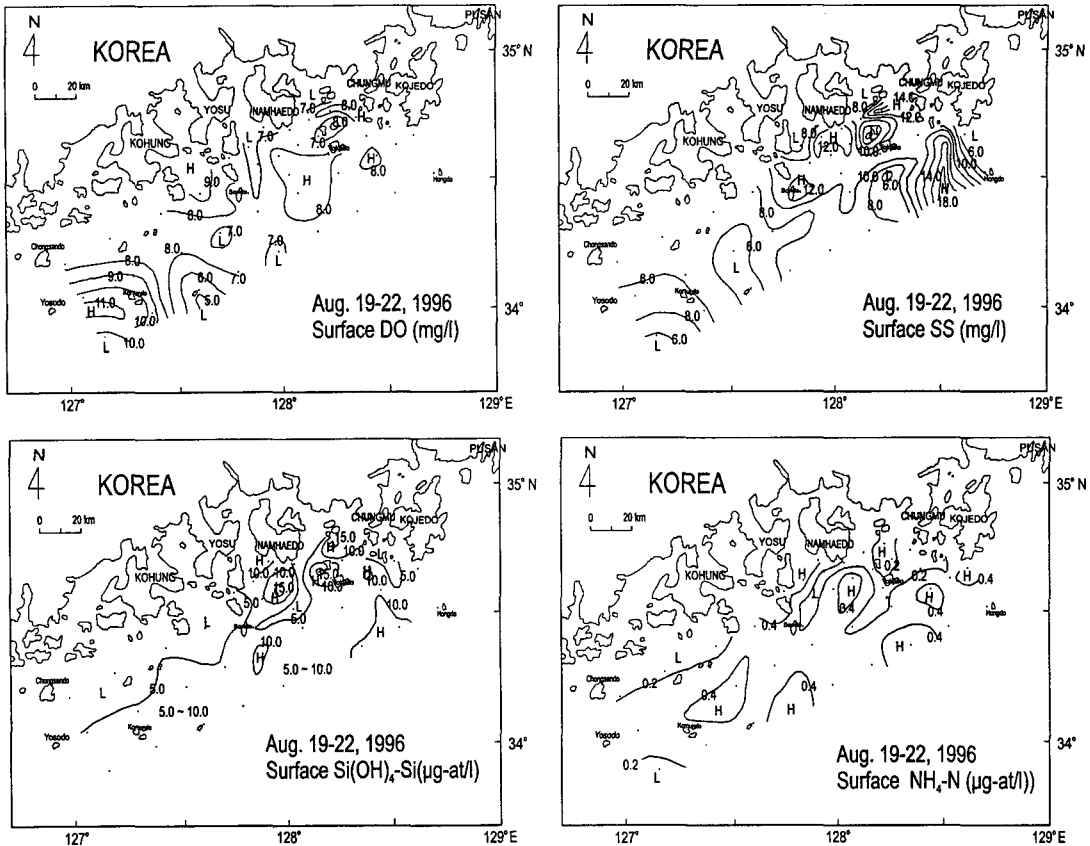


Fig. 9. Horizontal distributions of DO, SS, Si(OH)₄-Si and NH₄-N on 19~22 August 1996.

출현이 많고, 수온 27°C 이상의 난수역은 발생 초기 I, II 단계의 멀치 난이 많은 경향을 보였다. 이는 일본 相模灣내에서 연안수와 쿠로시오계 난수 사이에 2°C 정도의 수온차를 가지는 수온 전선이 존재하고 이 전선을 중심으로 발육 초기의 난은 전선의 외해(난수)쪽에, 자어는 전선 수렴역에 많이 나타난 사실(中田, 1983)과 유사하며, 하계 남해 외해에서 산란된 멀치 난이 대마난류를 따라 북동류 하면서 전선을 경계로 수렴되고, 연안 해역의 자어는 전선역에 수렴된 난이 시간이 흐르면서 전선 변동으로 연안에 유입되어져 나타난 현상으로 생각된다. 또 이 현상은 연안수와 난수의 경계인 27°C 등온선이 반시계 방향으로 연안에 유입되는 해역에서 난과 자어가 동시에 출현하는 것과는 무관하지 않다. 전선 변동으로 인한 난수의 연안보급은 이들 전선이 흐름의 shearzone(변형역)이고 따라서 바람이나 조류 등의 외력으로 쉽게 불안정하게 되어 전선 외측의 난수가 연안에 보급되게 된다. 中田(1983)는 일본 瀬戶内海, 別府灣, 志志伎灣에서의 결과를 인용, 전선 주변에 집중적으로 분포하는 난·자어의 연안 수송을 전선 변동에 따른 난수의 연안

유입에 의한다고 밝힌바 있다.

한국 남해 멀치 자어의 연안 보급과 재생산 기구에 관여하는 이러한 물리적 과정은 남해 연안 전선역 주변의 미소 규모의 해양구조와 그 유동 특성을 파악함에 따라 명확해 진다. 하계 한국 남해 연안에 형성되는 전선은 쿠로시오로부터 분기된 고온 저염(수온 28.5°C, 염분 30.4‰)의 대마난류수와 이보다 고밀도의 남해안 연안수(수온 25.5°C, 염분 31.8‰)가 만남에 따라 형성되고(Kang, 1974; Gong, 1971), 남해안 연안수와 대마난류수 사이에는 중간수(혼합수)가 존재한다(Huh, 1974; Noh, 1990). 이 중간수는 전선역의 혼합작용에 의해 형성되어 그 시공간적 변동이 심하며, 대마난류수보다 수온은 다소 낮고, 염분은 다소 높다. 1996년 8월 조사에 나타난 이들 수괴의 특징은 수온 26~28°C, 염분 31~32‰의 범위로 거제도, 소리도, 청산도의 3개 섬 주변 연안을 제외한 대부분의 조사 해역에 분포했다. 한편, 이들 중간수와 연안역 사이에는 수온 수평경도가 큰 전선이 형성되어 전선 외해측의 중간수(대마난류계수)가 혀모양으로 연안에 유입되는 warm streamer가 존재했다. 이런 수괴 구조는

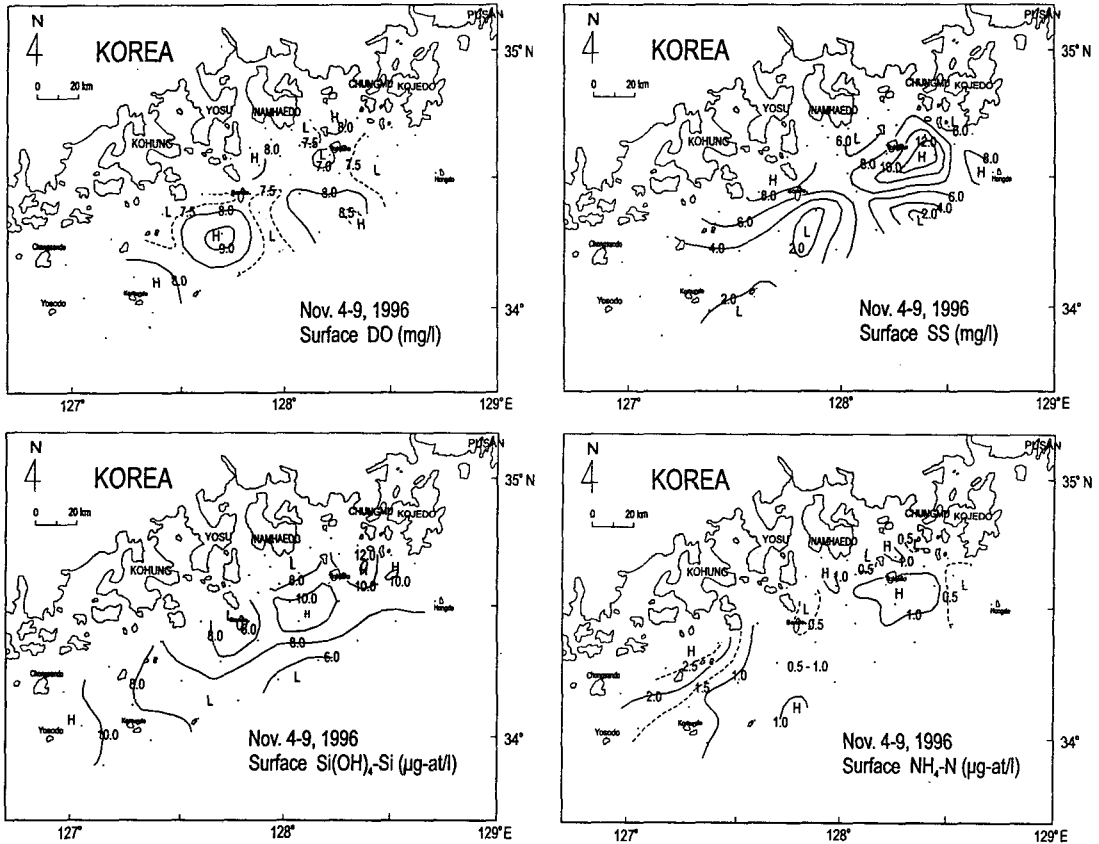


Fig. 10. Horizontal distributions of DO, SS, Si(OH)₄-Si and NH₄-N on 4~9 November 1996.

염분과 투명도 분포 (Fig. 5, 7)에서도 나타났다. Lim (1976)은 하계 남해에서 저염수의 띄를 사용하여 대마난류와 연안수 사이에 존재하는 좌선와류를 지적하였고, Lee et al. (1981)은 Gluf Stream의 연안 전선에서 frontal eddy (前線渦)나 warm streamer가 출현함을 밝혔다. 또 Noh (1990)는 1990년 9월 남해의 대마난류수 조사에서 고흡반도 남쪽 (소리도 서쪽)과 거제도 남쪽에서 연안을 향해 반시계 방향으로 분포하는 대마난류계수의 유입을 보고하였으며 유입 해역으로 추자도, 거문도, 소리도, 육지도 서쪽 해역을 지적하였다. 그는 또 거문도 주변과 소리도 동쪽에 나타나는 저수온역이 이러한 반시계 방향의 흐름 (좌선환류)에 의한 것이고, 제주도과 쓰시마 북단을 연결하는 선을 따라 이동하는 대마난류의 북쪽에 좌선환류가 형성되어 이들 와류에 의해 한국 남해 연안 가까이까지 대마난류수의 일부가 공급됨을 주장하였다. 한편, 조사 해역내의 warm streamer는 난수와 연안수 사이 전선의 불안정성에 기인한 반 시계 방향의 난수 유입 현상이기는 하나, 그 규모가 이들이 지적한 좌선와류에 비해 작고 발생 해역이 연안에 가깝다. 따라서 본 조사

에서 보여진 warm streamer는 한국 남해 대륙붕상의 대마난류가 수심이 얇은 연안역에 이르러 해저지형이나 섬 (무류점) 등의 영향으로 흐름의 분지가 일어나는 과정에 발생했거나 연안수와 대마난류수의 중간수 (혼합수)역내 존재하는 대마난류계수 전선 (2차 전선)의 분지로 인해 생성 (川合, 1991) 되었을 것으로 추론된다.

저기압성 warm streamer의 연안 유입은 멀치 난·자어의 수송, 보급 및 어장 형성에 영향을 미친다. 즉 난수성 강류 (強流)가 연안을 따라 흐를 경우, 난류와 연안의 shear zone에 난·자어가 집적되고 해안과 shear 마찰 등의 영향으로 생긴 소규모의 요란 (暖水舌, warm streamer)이 난·자어를 연안으로 수송, 확산시키며 (Watanabe, 1982; Tomosada, 1984) 회유 어군을 연안에 가입시켜 연안역에 어장을 형성시킨다 (川合·佐佐木, 1962). warm streamer역의 난·자어 수송과 이동을 보기 위한 표류 염서 조사에서 고흡반도 남동쪽에서 유입된 난수는 고흡반도와 주변 섬들을 거쳐 서쪽으로 수송, 분산되었고, 청산도와 초도 주변은 난수의 반 시계 방향 유입에 따른 연안수의 의해 유출이 나타났다. 또 여수반도~거

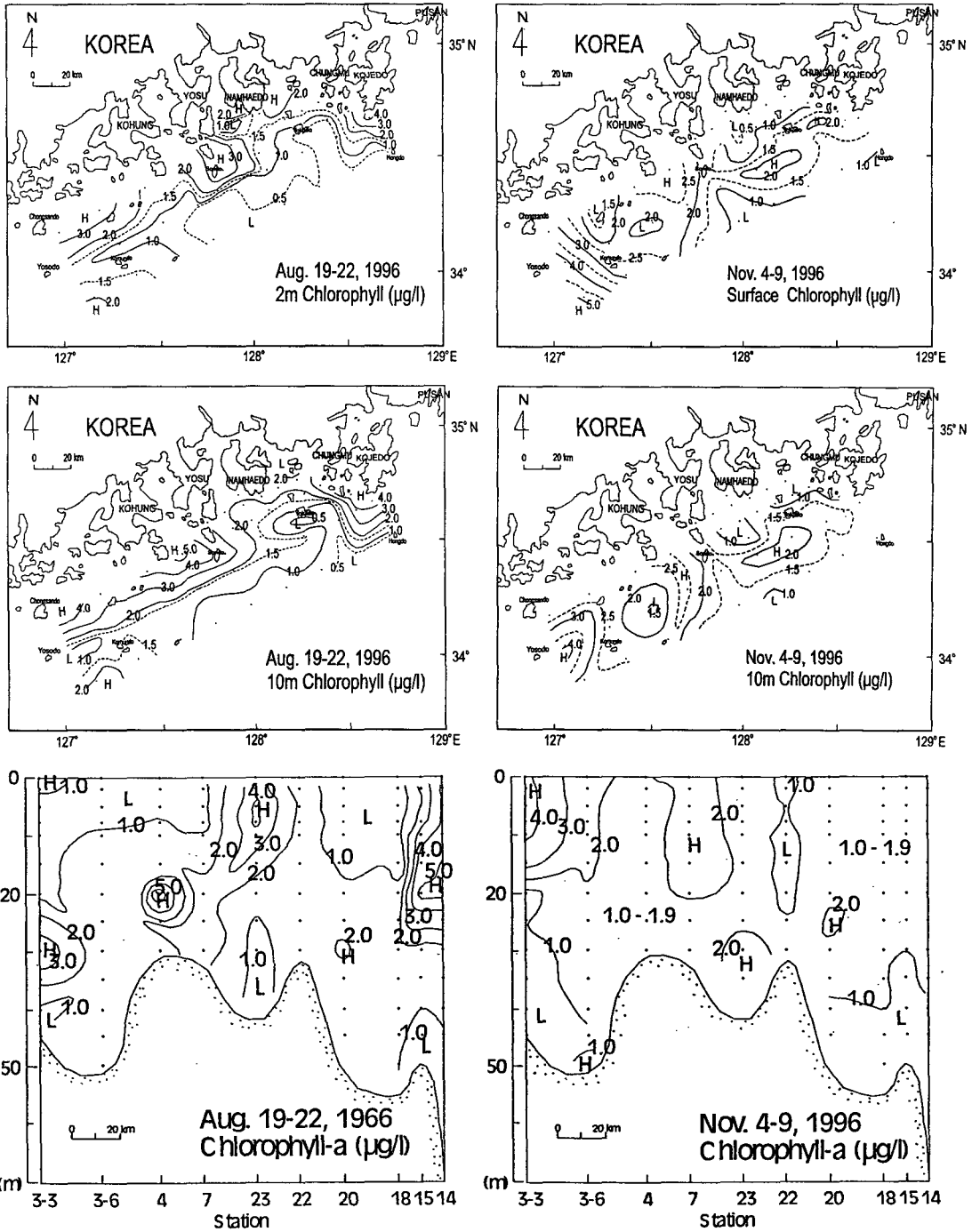


Fig. 11. Horizontal distributions and vertical sections at YK-line for chlorophyll on 19~22 August and 4~9 November 1996.

제도는 남해도 남쪽에서 북상한 난수가 여수반도를 따라 반 시계 방향의 순환을 나타내고, 일부는 육지도를 거쳐 동쪽으로 진행한 후 거제도 연안을 따라 존재했다. 흐름

의 shear가 존재하는 전선이나 반시계 방향의 순환류 부근은 동일 정점에 투하된 표류 염서의 회수율과 분산이 커 물질의 수렴과 분산이 컸다. 이러한 표류 염서에 의

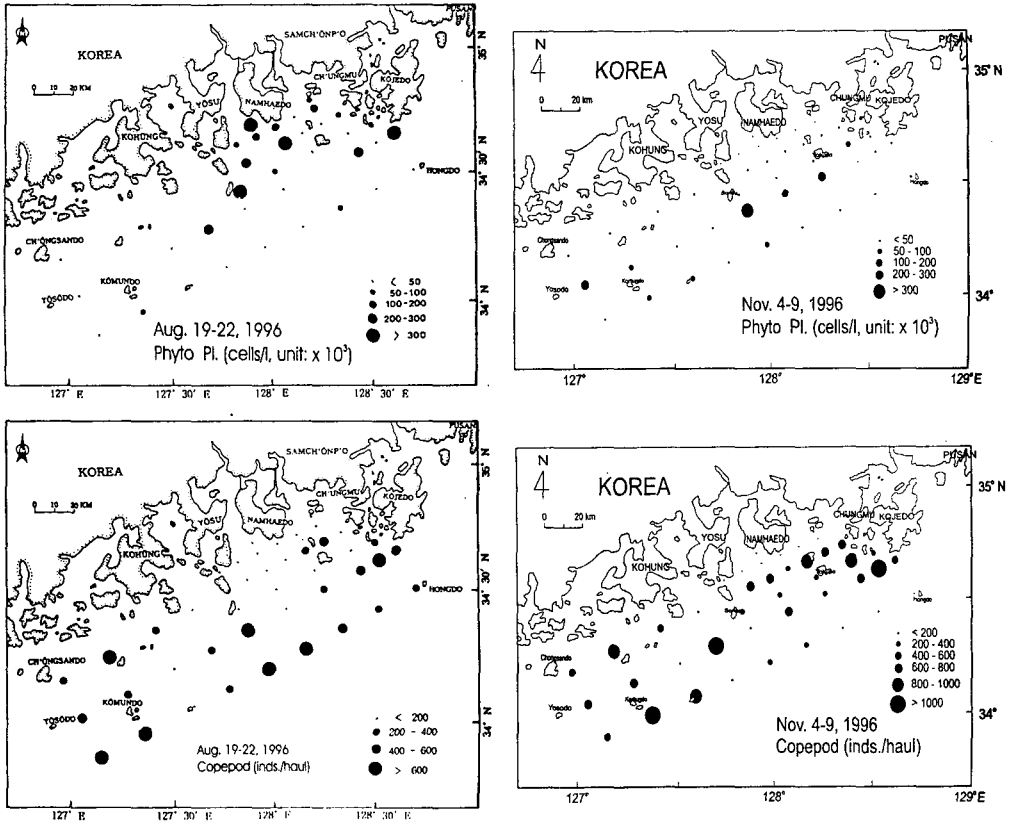


Fig. 12. Spatial distributions of phytoplankton and Copepod on 19~22 August and 4~9 November 1996.

한 표층류는 10~25 m 층의 해수 표류 결과와 일치하고 (笠原, 1960), 표층류는 어류 난·자어의 초기 감모기의 수송, 생산에 절대적인 물리 과정으로 작용해 (Heath, 1989; Nakata, 1991), 하계 warm streamer의 연안 유입이 한국 남해안 멸치 난·자어의 수송, 보급 및 어장 형성에 결정적 영향을 미치게 된다. 한편, 난·자어의 수송, 생산에는 연안에 좌우되는 난수외에도 멸치 산란 및 가입 시기인 5~8월에 연안을 향한 남풍계열의 바람이 우세한 계절풍 효과가 작용한다. 1996년 8월 조사 전후 7일간 (1996년 8월 12일~30일)의 남해안 통영, 여수, 완도의 일 평균 풍향, 풍속 결과 (Fig. 13)를 보면, 통영은 북풍 계열이 전체 19일 동안 탁월하였고 여수는 북북동~북동이 50% 이상, 완도는 기간 중 탁월풍은 존재하지 않고 북서와 남동 계열의 바람이 교대로 출현하였다. 따라서 남해에서의 지역적 풍계를 남풍계와 북풍계로 분류할 때, 조사기간 중 바람은 대체로 북풍계열이 우세했으며, 이는 외해의 난수나 표층 표류물을 외양으로 이동시켜 표류 염서와 같은 부유물의 회수율을 낮게 한다. 그러나 본 연구의 염서 회수율 (5%)은 Lee

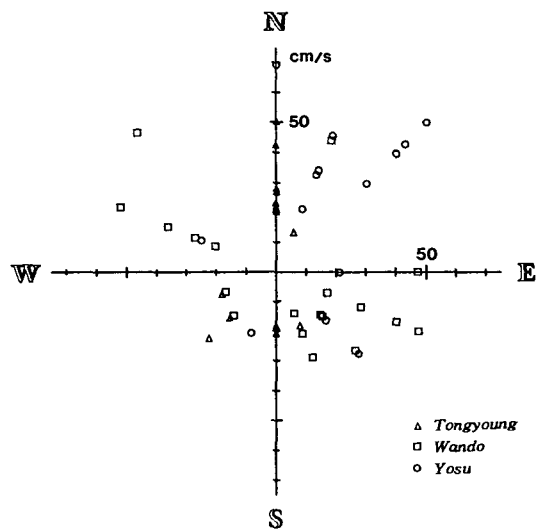


Fig. 13. Dispersion diagram of the daily mean wind velocity at Tongyoung, Wando and Yosu during 12~30 August 1996.

(1974), Kim (1980)이 시행한 기존 남해의 표류물 조사 회수율 2.5~5.2%, 3.9%와 비교하여 낮지 않아, 만약 조사기간 중 남풍계열의 바람이 우세하였다면 엽서 회수율이 더 높아졌을 가능성과 warm streamer의 연안 유입이 강할 땐 국지적인 풍계가 연안의 평균적 유동 구조에 그다지 영향을 주지 않음을 시사한다. 급후 난·자어의 분포에 대한 표층류, 바람 등의 변동 요소가 포함된 보다 정량적 수치 연구가 요망된다.

하계 남해 연안에 존재하는 warm streamer의 형성과 그 변동을 보기 위해, Fig. 14에 1996년 7월 30일과 8월 2일, 4일 위성 화상에 의한 남해의 표면 수온 분포(수산진흥원, 1997)를 나타냈다. 각 그림에서 수온 28°C의 대마난류 추축은 한국 남해 연안까지 접근하고, 추자도~거제도 주변 연안에 수온 전선이 형성되어 있다. 추자도~거제도 사이는 전선에서 떨어져 나온 2개의 warm streamer가 고흥반도와 남해도를 중심으로 반시계 방향으로 연안에 유입되고 있다. 청산도와 거문도 그리고 소리도 주변은 warm streamer의 유입에 따른 보충류로 연안에서 동쪽으로 저수온역이 확장되어 있다. 8월 2일 소리도~남해도 연안에 형성된 warm streamer는 연안을 따라 8월 4일 소리도 북쪽으로, 거문도~고흥반도 사이는 warm streamer가 남쪽에서 생성되어 8월 4일 연안까지 진행되어 나타난다. 爲石·杉本(1994)는 위성화상을 이용한 warm streamer의 통계 해석에서, 한국 남해 연안에 출현하는 warm streamer는 제주도~대마도의 대마난류수와 연안수 사이에서 반시계 방향의 서~북서쪽으로 발생되고, 그 출현 빈도는 일본 주변 해역에 비해 매우 높은 사실을 지적하였다. 또 그는 이러한 warm streamer의 출현이 춘계~추계에 걸쳐 많이 출현하여, warm streamer가 연안역으로의 물질

수송과 아울러 춘계 blooming현상에서 일사량 증가외에 광합성에 필요한 열의 보급원 역할도 함을 주장하였다. 이러한 warm streamer 발생의 년 변화나 발생시기의 차이는 산란후의 성어나 발생후 자어가 색이 해역으로 회유할 때 영향을 주어 어중간의 성장 조건이 되고, 식물 플랑크톤의 생산을 통한 먹이 생물의 양에도 관여하게 된다.

추계

1996년 11월 조사된 남해 연안의 난·자어 개체수는 단 2 정점에서 2개의 개체수가 채집되어 조사 대상 해역내 출현률이 극히 낮았다. 이는 한국 남해 연안의 멀치가 3월부터 11월까지 산란이 이루어지고 (Lim and Ok, 1977), 출현 개체수는 4~9월이 많고 11월이 작다는 사실과 일치한다. 그러나 기존 연구에 의한 추계의 출현률보다 낮아 96년이 다른 해에 비해 남해 연안에 거의 산란장이 형성되지 않았거나, 혹은 다른 해황 요인에 의해 연안으로의 난·자어 보급이 이루어지지 않은 것으로 추정된다. 따라서 여기서는 추계 이들 해역의 해황을 고찰, 적은 양이긴 하나 산란이 남해 연안에서 이루어졌다고 가정했을 때 난·자어가 어떤 과정을 거쳐 어떠한 분포를 나타내게 될 것인지에 대해 검토한다.

11월 대상 해역내 수온 분포 특징 (Fig. 3)은 표, 저층간 수온차가 적고 연안수와 대마난류수간의 온도차가 크게 났다. 즉 중간수인 대마난류계수의 온도 변화가 매우 컸다. 이는 하계와 달리 대마난류계수와 연안수 사이의 전선에서 연안으로 파생되는 흐름의 분지 현상이 추계에 접어 들면서 남해 연안수의 발달로 인해 억제되고, 따라서 대마난류계수역의 온도차가 커져 연안 전선이 강화되어 나타난 현상이다. 이에 대해 Kang (1974)과 Gong (1971)은 거문도와 소리도를 중심으로 한

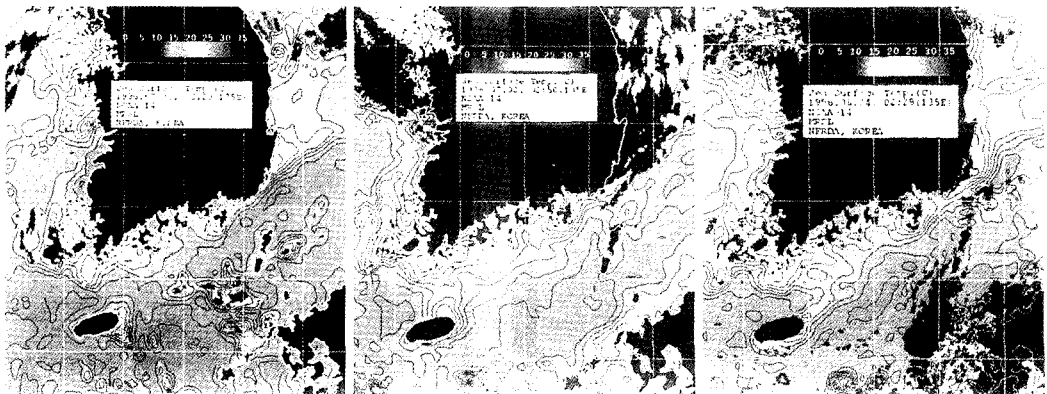


Fig. 14. Sea surface temperatures from satellite thermal images on 30 July, 2 and 4 August 1996 (NFRDA, 1997).

바람에 의한 연안수의 외해 확장이, Lim (1976)은 해변 냉각으로 인한 청산도~고흥반도 남쪽을 중심으로 한 연안수의 침강 확장, 그리고 Na et al. (1990)은 강한 바람과 해변 냉각 등의 기상 조건에 따른 침강 또는 표류 확장이 연안의 수온 전선을 강화 시킨다고 하였다. 그러나 이 결과들은 북서 계절풍과 기온 하강이 큰 동계(주로 2월)의 관측에 의한 것으로, 추계의 수괴 분포 과정은 하계 warm streamer의 세력 약화와 동계 남해 연안수 세력 강화의 중간 정도에 해당될 것으로 생각된다. 이는 11월이 8월과 달리 고흥반도 남쪽과 소리도~욕지도에 warm streamer가 존재하지 않고, 또 이들 해역에 표, 저층간 수온이 거의 균일한 저온의 연안수가 형성되는 것으로도 짐작 할 수 있다. 한편, 욕지도 남쪽에 형성된 19°C 이상의 난수는 연안수 확장과 난류수 보충 (Lim, 1976; Na et al., 1990)으로 생긴 반시계 방향의 혼합과정에 의한 것인지, 혹은 연안수가 외해로 확장함에 따라 소리도~욕지도에 유입되는 warm streamer가 약화되어, 단지 전선 요란에 의해 전선에서 절리된 소형 warm eddy로 존재하는 것인지 확실하지 않으나 두 과정 모두 가능성은 존재한다. 난·자어의 출현 정점과 11월 투하된 표류 염서의 회수 상황에서 욕지도 주변 소형 warm eddy 주변 해역에 자어와 염서가 출현한 것은 이러한 반시계 방향의 보류나 약화된 warm streamer에 의한 것으로 보이며, 고흥반도 남쪽 연안수역과 거문도 주변의 표층류가 모두 외해와 동쪽의 일본 큐슈 지방이었음은 이들 해역의 연안수가 서서히 외해로 유출되었음을 말해준다. 한편, 11월의 수괴 변동을 보기 위한 관측 시기 전후의 연안수와 난류수의 경계(전선) 표면 수온 18°C 등온선의 일 변화를 Fig. 15에 나타냈다. 10월 29일 거문도~거제도에 형성된 수온 전선은 약한 요란과 함께 30일 거제도 남쪽 약 27 km 아래로 하강하면서 전선에서 절리된 warm eddy가 형성되는 것을 알 수 있으며, 11월 4일과 5~9일은 청산도와 고흥반도 주변에서 18°C이하의 연안수가 형성되어 수온 전선이 외해로 내려오는 것이 확인된다.

2) 난·자어 분포역의 생물생산 환경 하계

멀치 산란 해역내 연안수와 외해수의 전선을 경계로 연안은 클로로필 농도, 먹이 밀도, 포식자의 밀도가 외해에 비해 커, 자어 생산에 필요한 환경은 수괴간 큰 차이를 가진다 (Owen et al., 1989). 또 멀치 자어는 부유물질이 많아 탁도가 큰 수역에 집중하고 (魚谷, 1996), 성장에 필요한 산소와 영양염류가 풍부한 곳에 어장을 형성한다. 하계 한국 남해 연안에 산란된 멀치 난·자어는 흐름의

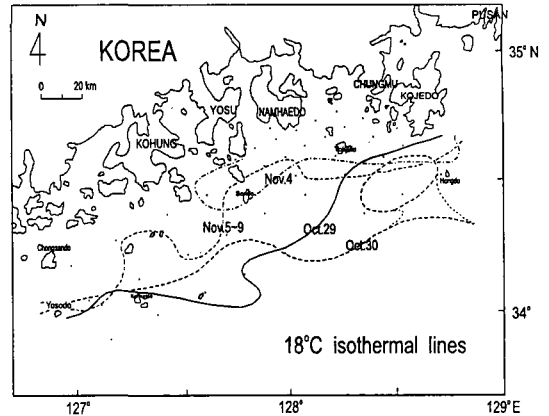


Fig. 15. Changes of 18°C isothermal lines at sea surface from satellite images during 29 October~9 November 1996.

수렴역인 대마난류계수와 연안수 사이의 전선에 수렴되어 전선에서 연안으로 파급되는 warm streamer에 의해 연안으로 수송된다. 이때 용존산소, 부유물질, 영양염 농도는 난류수역보다 연안수역이 크며 (Fig. 9), 규산염과 암모니아염은 warm streamer 유입으로 형성된 좌선환류역 가운데에서 높은 농도치가 출현한다. 또 클로로필은 좌선환류역 좌측 연안과 저층, 그리고 거제도 연안에서 높아 (Fig. 11) 하계 남해 전선내측의 연안수역은 생물생산력이 매우 높다.

쿠로시오 난류수와 연안수 사이의 전선에서 생성되는 warm streamer와 이로 인한 좌선환류는 회유성 어종의 난·자어를 연안으로 수송하고, 이들 흐름으로 야기된 저층수의 용승은 연안수역의 영양염과 클로로필의 농도를 높이는 것으로 알려져 있다 (Kasai, 1995). 남해 연안은 쿠로시오 유입역과 달리 섬이 많고 수심이 얕아 warm streamer의 규모가 작다. 따라서 전선내측에 영양염과 클로로필의 농도가 높은 것을 단순히 warm streamer 유입에 따른 저층수의 용승에 의한 것이라고 단정하기 어렵다. 그러나 Ishizaki et al. (1984)는 소규모 해역인 일본 伊豆 반도 연안에서 쿠로시오 분지류와 연안수의 전선내측에 나타나는 고 농도의 클로로필과 영양염 출현을 frontal eddy와 이에 따른 용승현상으로 설명하고 있다. 한국 남해 대마난류 하류역인 거문도와 소리도 동쪽, 거제도 남동 연안에는 흐름의 shear zone인 전선이 형성되어 섬 주변은 전선에 수렴하는 흐름과 이를 보충하기 위한 해안으로 부터의 이안류가 존재할 가능성이 있고, 이 과정에 섬 하류역의 wake와 복합되어 저층수의 용승과 표층수의 혼합작용이 일어난다. 또 거문도~소리도, 소리도~거제도 해역은 지형적으로 볼 때 만 형태를 띄어 만

동쪽에 해당하는 소리도 서쪽과 육지도 남쪽에서 난수가 유입되면 좌선환류가 생성되며, 이때 거문도, 소리도 주변의 표, 저층 혼합수가 좌선환류내로 유입되어 환류의 중심인 고흥반도와 남해도 남쪽, 그리고 표, 저층 혼합수역인 거문도, 소리도, 거제도 주변 해역은 자어 성장에 적합한 생물 생산 환경이 조성된다. 한편, 환류역내의 멸치 난·자어는 북동류하는 대마난류계수역에 비해 해역내 체류 시간도 길어져 성육에 좋은 여건이 형성되게 된다.

하계 식물 플랑크톤의 현존량은 멸치 난·자어의 출현 개체수가 많고 영양염, 클로로필의 농도가 큰 해역에 많이 나타난다 (Fig. 12). Lasker (1975)와 Funakoshi (1984)는 멸치 자어 출현역에 클로로필 양이 많고, 따라서 초기 자어의 먹이인 식물 플랑크톤의 양이 많음을 지적하였다. 한편, 후기 멸치 자어의 주 먹이인 요각류 유생 (Copepod Nauplius)은 연안에 널리 분포하고 수온이 상승하는 하계에 증식율이 높다. Funakoshi et al. (1983)은 멸치 자어의 먹이 환경에 대해 연안수역의 플랑크톤 현존량은 쿠로시오 난수 (전선)의 이안거리와 음의 상관율, 연안수역 플랑크톤 현존량과 요각류 유생 개체수와의 관계는 양의 상관율을 가져, 연안수와 난류수 사이 전선이 연안 가까이 접근 할 때 연안수역내 식물 플랑크톤 현존량은 증가하고 요각류 유생 개체수는 감소됨을 밝혔다. 이 사실은 대마난류계수 전선이 소리도와 거제도 가까이 형성되는 하계 연안수역에 식물 플랑크톤의 현존량은 많으나 Copepod 개체수는 감소되는 결과 (Fig. 12)와 잘 일치한다. 따라서 멸치 자어의 생산 환경에서 볼 때, 초기 자어의 성육장으로는 전선 내측의 연안수역이 적합하나, 후기 자어기 이후의 먹이 환경에서는 전선 외측의 대마난류수역이 적합하다. 이는 7월 중 남해도~거제도 연안에 4~6 mm의 초기 자어 밀도가 높으나, 대마난류수역인 대마도 주변은 10~12 mm의 후기 자어 밀도가 높은 것과 멸치 자어가 성장함에 따라 그 분포역이 남해도 남쪽에서 외해로 확산되어 나타나는 사실 (Kim, 1983)과도 무관하지 않다.

추계

소리도를 중심으로 한 서쪽의 청산도~소리도 해역은 동쪽의 소리도~거제도 해역에 비해 전반적으로 부유물과 영양염 농도가 높아 청산도~소리도 해역에 저수온의 남해 연안수가 형성되어 있음을 알 수 있다. 소리도~육지도 연안은 소리도 동쪽의 wake 소멸과 좌선환류의 약화로 하계와 같은 고 농도의 영양염 분포역은 없으나, 육지도 남쪽의 절리 warm eddy 주변에 농도가 높다. 이는 warm eddy가 소리도 남쪽의 전선 요란으로 부터 분리, 형성되는 과정에 소리도와 남해도 사이 연안수 기원

의 표층수가 전선과 warm eddy 사이에 유입됨에 따라 형성된 것으로 생각되며, 동 해역은 주변보다 높은 2.0 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 클로로필 농도가 출현한다 (Fig. 11). 클로로필 농도는 소리도 서쪽이 남해 연안수의 영향으로 일부 해역을 제외한 전 해역이 2.0 $\mu\text{g}/\ell$ 이상으로 동쪽의 난수 유입역 보다 높다. 한편, 조사대상 해역내 식물 플랑크톤 양과 Copepod 개체수는 대마난류계수가 연안에서 멀어짐에 따라 하계에 비해 식물 플랑크톤의 양은 줄어들고 Copepod 개체수는 2배 이상의 증가를 보였다. 이러한 추계의 생물 생산 환경은 멸치 자어의 초기 생산에 필요한 먹이 조건에는 부합되나, 산란이 극히 낮은 밀도로 위해에서 일어나고 난·자어의 연안 수송이 거의 이루어지지 않아, 멸치 어장은 대마난류계수가 연안과 가까운 거제도 주변과 대마도로 이동되어질 것으로 생각된다.

요 약

한국 남해 멸치 자원의 변동이 남해의 해황 구조와 변화에 어떻게 지배 되는지를 규명하기 위해 하계 (8월)와 추계 (11월)에 대마난류계수의 연안 유입 현상과 멸치 난·자어의 분포 그리고 난수의 연안 유입에 따른 해역의 생물 생산 환경을 조사하였다. 그 결과 다음의 결론을 얻었다.

하계 연안수와 대마난류계수 사이는 수온, 염분, 투명도의 수평경도가 큰 전선이 형성되고 전선역은 흐름의 shear가 크다. 멸치 난·자어는 전선을 경계로 연안역이 외해 보다 출현 개체수가 많고 전선에 다량 분포한다. 외해의 난수역은 발생 초기의 멸치 난이 많고, 연안과 전선에서 파급된 warm streamer 역에 전, 후기 자어의 출현이 많다.

warm streamer는 대마난류의 세력이 강해져 난류의 주축이 연안으로 접근하는 하계에 주로 나타나며, 고흥반도가소리도 그리고 육지도 서쪽에서 반시계 방향으로 연안을 향해 유입된다. warm streamer가 유입되는 연안 해역은 반시계 방향의 표층 순환류 (좌선환류)가 형성된다. 난류 접안과 warm streamer의 연안 유입으로 거문도, 소리도, 거제도 주변은 표층의 wake와 저층수의 용승현상이 나타나 용존산소, 부유물질, 영양염의 농도가 크고, warm streamer가 좌선환류를 형성하면서 거문도, 소리도 주변의 연안수가 환류역내로 유입된다.

하계 한국 남해 연안에 산란된 멸치 난·자어는 흐름의 수렴역인 대마난류계수와 연안수 사이의 전선에 수렴되어 전선에서 연안으로 파급되는 warm streamer에 의

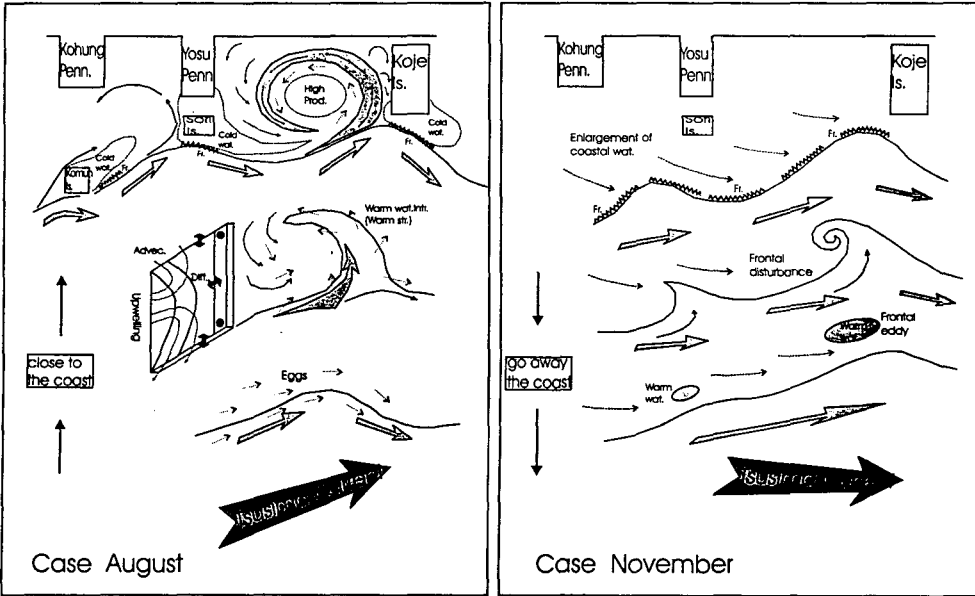


Fig. 16. Schematic views of the changes of Tsushima Warm Waters and transport of Anchovy eggs and larvae in August and November (in figures, Cold wat. ; the lower layer cold water from the upwelling and the wakes caused by islands, Fr. ; front, High prod. ; high productivity by Cold wat. caused by warm streamers, Advtec. ; advection, Diff. ; diffusion, Warm wat. intr. ; warm water intrusion, Warm str. ; warm streamer).

해 연안으로 수송된다. 이때 전선 내측의 연안역은 생물 생산력이 크고, 클로로필 및 식물 플랑크톤의 양이 외해의 난수역보다 많아 멸치 자어의 성육에 적합한 환경이 된다 (Fig. 16 Case August). 그러나 멸치 자어의 먹이인 Copepod 양은 난수역이 많아 멸치가 성장함에 따라 연안에서 외해로 이동하게 된다.

추계는 청산도~소리도에 남해 연안수가 형성되고 대마난류계수가 남해 연안에서 점차 멀어짐에 따라 연안수와 대마난류계수 사이에 온도차가 큰 전선이 형성된다. 멸치 난·자어의 출현은 연안에서 산란이 거의 일어나지 않고 해역내 표층류가 전반적으로 이안, 동류 함에 따라 매우 낮다. 고흥반도 남쪽과 소리도~육지도 사이는 하계와 같은 warm streamer는 존재하지 않고, 육지도 남쪽에 연안수 확장에 따른 보류 혹은 약화된 warm streamer의 형태로 소형 warm eddy가 출현한다 (Fig. 16 Case November).

소리도 서쪽의 남해 연안수역은 부유물질, 영양염, 클로로필의 농도가 동쪽의 소리도~거제도 연안에 비해 높다. 소리도~육지도 연안은 warm streamer 유입에 의한 좌선환류의 약화로 하계와 같은 높은 영양염 농도역은 없으나, 육지도 남쪽 warm eddy 역 주변에 농도가 높다. 식물 플랑크톤의 양은 하계보다 작으나 Copepod 개체수는 증가 해, 멸치 자어의 초기 생장에 필요한 먹이 조건

은 양호하다. 그러나 산란과 난·자어의 연안 수송이 거의 이루어지지 않아 멸치 어장은 대마난류계수가 연안과 가까운 거제도과 대마도 주변으로 이동된다.

사 사

본 연구는 1996년도 교육부 지역개발연구 학술연구조성비 (자원개발 및 주민복지 분야)에 의하여 지원되었음. 본 연구를 위한 자료의 제공과 조사에 협조해 주신 여수수산대학교 수산과학연구소 및 청경호, 관악산호 여러분, 그리고 자료 분석에 도움을 주신 국립 수산진흥원 김진영 연구관, 서영상 연구원, 여수수산대학교 해양학과 윤양호, 조현서 교수 및 학생 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

Chang, S.D., S.Y. Hong, C.K. Park, P. Chin, B.G. Lee, T.Y. Lee, Y.J. Kang and Y.Gong. 1980. Studies on the migration of anchovy *Engraulis japonica* in Korean waters. Publ. Inst. Mar. Sci. N.F.U.B., 12, 1~38 (in Korean).
 Funakoshi, S., F. Muranaka and T. Ikeda. 1983. Food and survival of the early Postlarvae of the Japanese Anchovy, *Engraulis japonica* (Houttuyn)-I. Bull. Japan.

- Soc. Fish. Oceanogr., 44, 76~86 (in Japanese).
- Funakoshi, S. 1984. Food and survival of the early Postlarvae of the Japanese Anchovy, *Engraulis japonica* (Houttuyn)-II. Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr., 45, 21~30 (in Japanese).
- Gong, Y. 1971. A study on the south korean coastal front. Journal of the Oceanological Society of Korea, 6 (1), 25~36 (in Korean).
- Heath, M. 1989. Transport of Laval Herring (*Clupea harengus* the Scott is L.) by Coastal Current. Rapp. P. V. R n. cons. int. Mer., 191, 85~89.
- Huh, O.K. 1974. Coastal oceanographic use of the defense meteorological satellite program (DMSP), Naval Oceanographic Office Technical Rept., 241, 1~12.
- Ishizaki, J. and M. Takahashi. 1984. Chlorophyll production and its accumulation in the frontal region of the Kuroshio Branch off Izu-Shimoda. Bull. on Coastal Oceanography, 21 (2), 148~155 (in Japanese).
- 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, 12, 107~121 (in Korean).
- Kasai, A. 1995. Effect of variations in the Kuroshio and Oyashio currents on the egg and larval transport and recruitment of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*). Ph.D. Thesis, Tokyo Univ., 5~60.
- Kim, B.K. 1980. The drift bottle experiments in the southern sea between Jeju-Do and Tsu-Shima. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 25, 7~16 (in Korean).
- Kim, J.Y. 1983. Distribution of anchovy eggs and larvae off the western and southern coasts of Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 16 (4), 401~409 (in Korean).
- Kim, J.Y. 1992. The early life history and recruitment of anchovy, *Engraulis japonica*, in the southern waters of Korea. Ph.D. Thesis, N.F.U.B., 70~72 (in Korean).
- Kim, J.Y., J.I. Kim and G.H. Choi. 1994. Comparisons of egg distribution and mortality rate between anchovy and sardine during spring in the southern waters of Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 27 (3), 299~305 (in Korean).
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull., 73, 453~462.
- Lee, C.K. 1974. The drift bottle experiments in the southern sea of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 12, 7~26 (in Korean).
- Lee, T.N., P. Atkinson and R. Legeckis. 1981. Observations of a Gulf Stream frontal eddy on the Georgia continental shelf, April 1977. Deep-Sea Res., 28, 347~378.
- Lim, D.B. 1976. The movements of the waters off the south coast of Korea. Journal of the Oceanological Society of Korea, 11 (2), 77~88.
- Lim, J.Y., M.K. Jo and M.J. Lee. 1970. The occurrence and distribution of the fish eggs and larvae in the Korean adjacent sea. Reports of Fisheries Resources, 8, 7~29 (in Korean).
- Lim, J.Y. and I.S. Ok. 1977. Studies on the occurrence and distribution of eggs and larvae of anchovy in the Korean waters. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 16, 73~86 (in Korean).
- 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. Bull. Korean Fish. Soc., 23 (4), 267~279 (in Korean).
- Nakata, H. 1991. Coastal processes related to the transport, survival and recruitment of fish larvae. Bull. on Coastal Oceanography, 28 (2), 195~220 (in Japanese).
- Noh, H.G. 1990. Studies on the Tsushima Current in the South Sea of Korea. KOSEF 870616, 94~103 (in Korean).
- Owen, R.W., N.C.H. Lo, J.L. Butler, G.H. Theilacker, A. Alvarino, J.R. Hunter and Y. Watanabe. 1989. Spawning and survival patterns of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, in contrasting environments-A site-intensive study. Fish. Bull., 87, 673~688.
- Park, B.H. and J.Y. Lim. 1965. Fisheries biology of anchovy (*Engraulis japonica* HOUTTUYN) in the waters around Korea. 1. On the ecology of anchovy in the southern waters of Korea. Reports of Fisheries Resources, 6, 37~49 (in Korean).
- Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board Can., 11 (5), 559~623.
- Tameishi, H., Y. Naramura and H. Shionomiya. 1994. Role of warm streamers in the northward migration of Japanese sardine off Sanriku. Nippon Suisan Gakkaishi, 60 (1), 45~50 (in Japanese).
- Tomosada, A. 1984. Fronts accompanying the Kuroshio and a Warm Core Eddy related to fisheries. Bull. on Coastal Oceanography, 21 (2), 129~138 (in Japanese).
- Watanabe, T. 1982. Distribution of eggs and larvae of Netric Migratory Fish in relation to the Kuroshio. Bull. on Coastal Oceanography, 19 (2), 149~162 (in Japanese).
- Yoo, J.M. 1991. Distribution of fish larvae in the south sea of Korea. Ph.D. Thesis, N.F.U.B., 238pp (in Korean).
- 농림수산부 1995. 농림수산통계연보. 279~343.
- 수산진흥원 1994. 沿近海 主要魚種의 生態와 漁場. 96~102.
- 수산진흥원 1997. 1996년도 한국근해 수온분포도. 143~246.
- 日本氣象協會 1970. 海洋觀測指針 (氣象廳編). 174~254.
- 川合英夫 1991. 流れと生物と-水産海洋學特論-. 京都大學學術出版會, 1~51.
- 中田英昭 1997. 遠州灘沿岸海域におけるイワシ類の魚種交替機構の解明. 科學研究成果報告書 (基盤研究C), 23~32.
- 中田英昭 1983. 卵・稚仔の輸送過程. 水産海洋研究會報, 44, 100~104.
- 川合英夫·佐佐木實 1962. カツオが黒潮前線を越えて北上回遊をする際の促進的な水理條件について. 東北區水産研

究所研究報告, 20, 1~27.
 笠原昭吾 1960. 海流封筒, 海流瓶および抵抗板付海流瓶の漂
 流比較. 日本海區水産研究所研究報告, 6, 31~38.
 爲石日出生 · 杉本隆成 1994. 日本周邊海域における暖水スト
 リ-マの動態. 航水研ノ-ト, 空の海, 14, 1~14.
 魚谷逸朗 · 岩川敬樹 · 川口弘一 1996. シラスに漁場形成機構

に果たす濁度の重要性. 第11回水産海洋地 域研究集會
 講演要旨集, 23~24.

1997년 6월 12일 접수

1998년 3월 6일 수리