

섬진강 하류 및 하구역 염분변동 특성

최양호¹, 이미진², 정다운³, 김종규³

¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²전라남도해양수산과학원, ³전남대학교 해양기술학부

Characteristics of salinity fluctuation in downstream of Seomjin river and estuary

Yang Ho Choi¹, Mi Jin Lee², Da Un Jeong³ and Jong Kyu Kim³

¹West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon, 22383, Korea

²Jeollanamdo Ocean & Fisheries Science Institute, Wando, 59116, Korea

³Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu, 59626, Korea

ABSTRACT

To understand the characteristics of the salinity distribution, salinity data were observed by depth at 18 stations in the downstream of the Seomjin river. In order to analyze the characteristics of long-term variations of the salinity, observed data from 2003 to 2017 were collected and compared. According to the results of the analysis, the distribution of the isohaline due to the difference of the tidal height moved to the upstream of the Seomjin river at high tide, and the travel distance depend on the flow rate. In the case of normal flow rate (15-30 cms), the movement of the isohaline due to the difference of the tidal height was about 5 to 7 km, and when the low level flow rate (< 15 cms), the isohaline is located upstream compared to the normal flow rate and the isohaline moves 1 to 2 km by tides. Changes of the salinity distribution caused by tides were affected up to 25 km from the entrance of the Seomjin river. It was estimated that the flow rate of more than 40 cms was required to maintain the salinity of 5-15 psu in the habitat of the *Corbicula japonica*.

Keywords : Seomjin river, Salinity distribution, Saltwater intrusion, Shellfish, *Corbicula japonica*

서론

하구역은 육지에서 유입되는 담수와 외해에서 유입되는 해수가 만나 복잡한 해양환경 변화를 보이며, 수리역학 측면에서 담수는 표층에서 바다쪽으로 유출되고, 해수는 저층에서 육지쪽으로 유입되는 2층 구조를 가진다 (Dyer, 1973; Officer, 1981). 섬진강은 최근 하구역 주변의 개발로 인하여 해안선 및 지형이 빠르게 변화하고 있으며 (광양항, POSCO 광양제철소, 섬진강댐, 주암댐 등), 하류지역의 염분증가에 의한 염수 피해, 생물 서식지 변화 등과 같은 환경문제가 증가하

고 있는 실정이다 (Lee, 2005; Kim 2005; Shaha *et al.*, 2013; POSCO, 2005; 정과 전, 2009; 김 등, 2008).

섬진강과 같은 완만한 혼합형 하류지역의 염분 침투와 성층화 양상은 조류, 바람, 파도, 지형 (수심), 담수유량 등의 영향을 받는다 (Dyer, 1973; Jiang and Shen, 2009). 2003년 건설교통부의 섬진강 수계 하천정비 기본계획에 의하면, 보성강과 섬진강의 합류지점 하류의 구례군 송정리 평균 유량은 주암댐 건설 전 (1967-1991년) 대비 주암댐 건설 이후 (1991-2000년) 에 약 50% 정도 감소한 것으로 나타났다 (건설교통부, 2009). 섬진강 하류지역의 염분 증가는 섬진강 유량의 급격한 감소와 하구역 개발과 준설로 인한 수심 변화와 깊은 관련이 있을 것으로 판단된다.

권 등 (2001) 은 1972년부터 1998년까지 섬진강 하류역의 골재채취로 인한 인위적인 수심변화와 광양만의 지형변화로 인하여 섬진강 하류의 수문현상과 생태계가 영향을 받고 있음을 보고하였다. 섬진강 하류지역 (특히, 하구에서 다압취수장 구간 약 25 km) 의 수심변화와 광양만의 조류 (tidal current) 변화로 해수가 유입되는 범위가 상류 쪽으로 더 증가하였으며 (김,

Received: March 11, 2024; Revised: March 18, 2024;
Accepted: March 27, 2024

Corresponding author: Yang Ho Choi

Tel: +82 (32) 745-0652, e-mail: plumechoi@gmail.com
1225-3480/24860

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

2003), 염분 증가에 따라 생활용수를 취수하던 다압취수장은 기존 위치에서 약 5 km 상류 쪽으로 이전하였고, 재첩의 서식지는 약 10 km 이상 상류쪽으로 이동하였다 (Lee, 2005).

국내 재첩 생산량은 섬진강을 중심으로 경상남도과 전라남도에서 약 89%를 차지하며, 1979년 가장 많은 17,877 톤에서 1984년 15,513 톤으로 감소 후 1989년 1,682 톤으로 급감하였다. 이후 2004년 4,149 톤, 2016년 2,000 톤 미만의 생산량을 보이고 있다. 하동수협에 통계에 의하면, 하동지역의 재첩 생산량은 2002년 633ton에서 2016년 202ton으로 급감한 것으로 나타났다 (국가통계포털, 2016).

본 연구에서는 섬진강 하류지역의 염분 변동 특성을 정확하게 파악하기 위하여 조석에 의한 해수면 변화와 섬진강 담수 유량 변화에 따른 염분 변화를 분석하였으며, 재첩 서식지 유지를 위한 섬진강 담수의 적정 유량을 산정하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구지역

섬진강은 전라북도 진안군 백운면 팔공산 (1,151 m) 에서 발원하여 남서로 흘러 남해 광양만으로 유입되는 남한에서 4 번째로 큰 강으로, 유로연장은 223.86 km, 평균고도는 EL. 301.60 m이다. 섬진강 하류지역은 상류에 비해 넓은 저수로가 형성되어 있고, 잔자갈과 모래가 혼재해 분포하며, 하천경사는 평균 1:2,603 정도로 완만하다 (한국해양과학기술원, 2018). 섬진강 유역의 연평균 강우량은 1,374.6 mm이고, 유량은 갈수기 11.2 cms, 평수기 32.9 cms, 풍수기 66.9 cms 이다 (건설교통부, 2009).

섬진강 하류지역과 만나는 광양만은 여수해만을 통해 외해와 연결되고 노량수도를 통해 진주만과 연결되어 있다. 수심은 내만의 서측과 북측이 5 m 이하이고 동측의 노량수도과 남측의 여수해만과 연결된 수로는 20 m 이상의 깊은 골을 형성하고 있다. 광양만 중앙에 위치한 묘도 북측과 남측 수로는 10 m 내외의 수심으로 대형선박들의 항로 역할을 하고 있으며, 섬진강과 수어천과 연결된 북측의 수심 변화는 상대적으로 큰 편이다. 섬진강 하구역은 봄철과 여름철에 남서풍이 우세하며, 가을철과 겨울철에는 북서풍이 탁월하다. 바람에 의해 파랑이 발달할 정도의 넓은 해역이 없으며, 외해로부터 파랑의 유입도 제한적이다. 따라서 파랑에 의한 영향이 크지 않아 취송류에 의한 해수순환도 우세하지 않으며, 조석에 의한 조류가 지배적이고 계절적으로 담수유입에 의한 영향을 받는다. 광양항 검조소 기준, 평균해면의 높이는 188.9 cm, 평균조차는 215.2 cm, 소조차와 대조차는 각각 118.0 cm, 312.4 cm의 값을 보이며, 조석의 형태수는 0.21로써 일조부등의 반일주조가 우세한 혼합조 특성을 보였다 (이, 1994).

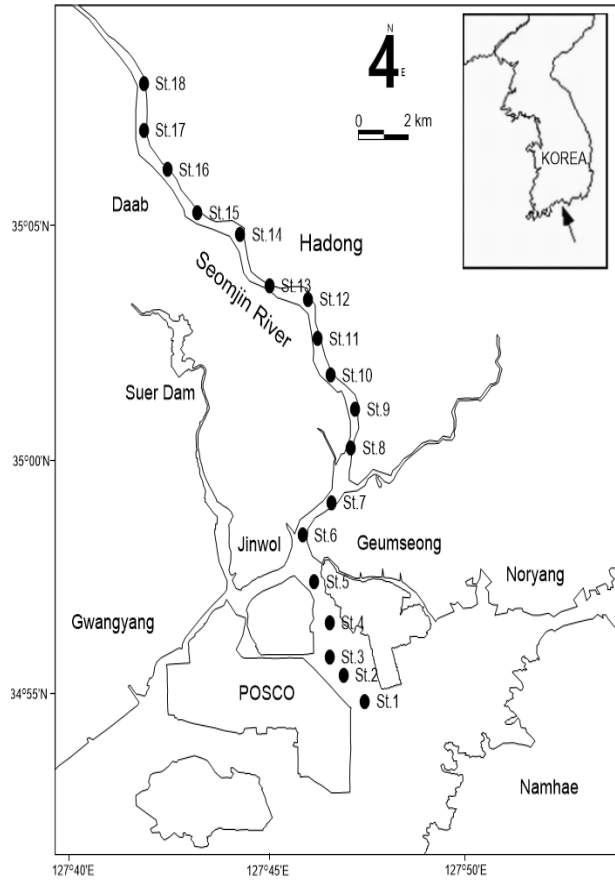


Fig. 1. Station map of the study area.

2. 자료관측 및 분석

섬진강 하류지역의 염분 변화를 하구역에서 섬진강을 거슬러 올라가면서 총 18개 정점을 설정하고, 표층부터 저층까지 0.5 m 간격으로 측정가능한 정점에서 수심별 수온과 염분을 관측하였다 (Fig. 1). 수온과 염분 관측을 위해 SBE-19 (Sea-Bird Electronics Inc., USA) CTD 장비를 이용하였으며, 조석에 의한 영향을 파악하기 위하여 소조기와 대조기의 고조와 저조 시간으로 구분하여 관측을 실시하였다 (Table 1). 유량 변화에 따른 염분 분포를 분석하기 위하여 보성강과 섬진강의 합류지점 하류에 있는 구례군 토지면 송정리 유량자료를 이용하였으며, 비교 분석을 위해 건설교통부 (2003) 자료를 기준으로 2009년 7-11월 자료를 갈수기 (< 15 cms), 평수기 (15-30 cms), 풍수기 (31-200 cms), 홍수기 (> 200 cms) 로 구분하였다. 섬진강 하류지역 염분의 장기변동 특성을 분석하기 위해 2003년과 2015-2017년 자료도 함께 분석하였다. 정점간의 거리는 정점 1을 기준으로 계산하였다 (정점 7: 10 km, 정점 13: 20 km, 정점 16: 25 km).

Table 1. Time table of the CTD (temperature, salinity, depth) casting in the downstream of the Seomjin river

년	관측일		조시	시작정점 (수심, m)	끝정점 (수심, m)	총거리 (km)	송정리 유량 (cms)
	월	일					
2003	4	5	고조 (11:03)	1(11.2)	15(8.0)	23.39	15.4 (대조/평수기)
		7	13 14	고조 (12:46) 저조 (7:18)	1(12.8) 1(10.9)	17(4.3) 17(3.8)	26.26 26.26
2009	8	6	저조 (15:29)	1(10.7)	15(7.2)	23.39	39.7-40.9 (대조/풍수기)
		7	고조 (10:04)	1(12.5)	18(1.1)	27.26	
	9	17	저조 (14:09)	1(10.0)	15(0.5)	23.39	17.4-19.3 (대조/평수기)
		18	고조 (8:51)	1(13.5)	18(1.4)	27.26	
11	27	고조 (17:33)	1(12.6)	17(0.5)	26.26	12.6	
	28	저조 (12:10)	1(11.0)	15(1.2)	23.39	(소조/갈수기)	
2015	8	16	고조 (10:07)	1(11.0)	15(8.0)	23.39	15.8 (대조/평수기)
2016	7	29	고조 (17:41)	1(11.0)	15(8.0)	23.39	22.4 (소조/평수기)
2017	12	14	고조 (18:47)	1(8.0)	15(8.0)	23.39	11.9 (소조/갈수기)

결 과

1. 평수기 염분분포

Fig. 2는 2009년 9월 17일 (저조) 과 18일 (고조) 에 관측한 염분분포를 도시한 것으로, 구례군 송정리 유량 17.4-19.3 cms로 평수기이며, 광양항 조석 기준으로 조차가 가장 큰 대조기에 관측한 결과이다. 해수면 높이가 낮은 저조시 (A) 섬진강 하구 표층은 28 psu, 저층은 30 psu 염분분포로 썰기모양의 해수 유입 특성을 보였으며, 상류측으로 갈수록 감소하여 섬진강교 (정점 7, 10 km 상류) 부근에서 20 psu, 황천교 (정점 10, 15 km 상류) 부근에서 10 psu, 하동송림공원 (정점 13, 20 km 상류) 부근에서 2 psu 염분을 보였다. 해수면이 높은 고조시 (B) 표층과 저층의 28 psu와 30 psu 염분은 망덕포구 (정점 6, 8 km 상류) 부근에서 관측되었고, 20 psu

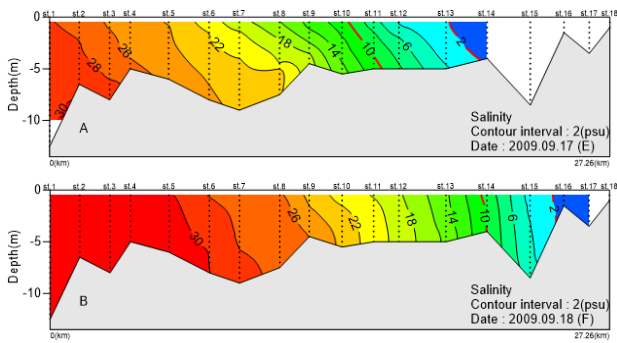


Fig. 2. Salinity distribution for the normal flow rate (15-30 cms) in the downstream of the Seomjin river (2009.9.17.-18.).

염분은 황천교 상류 (정점 11, 16 km), 10 psu 염분은 두곡포구 (정점 14, 21 km 상류), 2 psu 염분은 다압면 수월정 상류 (정점 16, 25 km 상류) 에서 관측되었다. 저조와 고조시의 정점별 염분차는 3-14 psu 범위로 섬진강 입구 약 17 km 지점 (정점 12) 에서 최대 염분차를 보였다.

2. 갈수기 염분분포

Fig. 3은 2009년 11월 27일 (고조) 과 28일 (저조) 에 관측한 염분분포를 도시한 것으로, 구례군 송정리 유량 12.6 cms로 갈수기이며, 광양항 조석 기준으로 조차가 작은 소조기에 관측한 결과이다. 저조시 (A) 섬진강 하구에서 30 psu 해수가 썰기모양으로 유입되고, 28 psu 염분은 배알도 표층에서 섬진강교 상류 (정점 8, 11 km 상류) 저층까지 유입되는 분포를 보였다. 황천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 에서 20

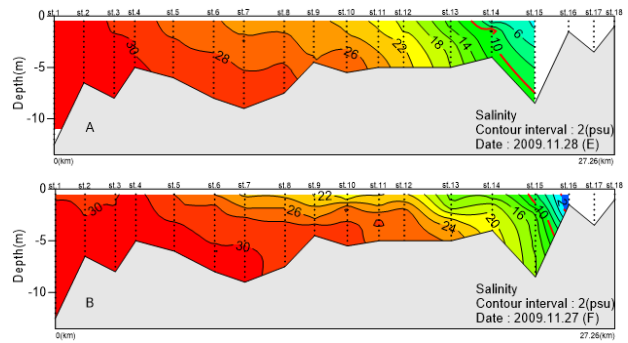


Fig. 3. Salinity distribution for the low level flow rate (< 15 cms) in the downstream of the Seomjin river (2009.11.27.-28.).

섬진강 하류 및 하구역 염분변동 특성

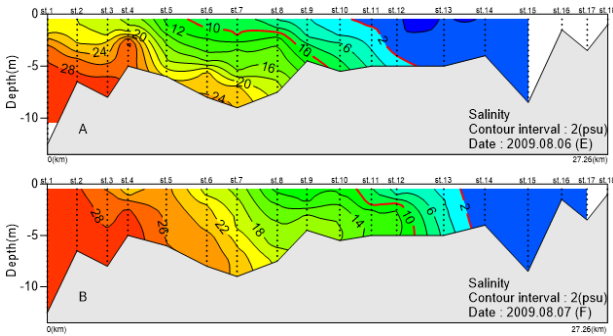


Fig. 4. Salinity distribution for the high level flow rate (30-200 cms) in the downstream of the Seomjin river(2009.8.6.-7.).

psu, 하동송림공원 (20 km 상류) 표층에서 10 psu, 수월정 (24 km 상류) 은 표층에서 2 psu, 저층에서 10 psu 염분이 관측되었다. 고조시 (B) 30 psu 염분은 배알도 표층에서 섬진강교 (10 km 상류) 저층까지 유입되었고, 28 psu 염분은 횡천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 저층까지 유입되었다. 두곡포구 (정점 14, 21 km 상류) 저층에서 20 psu, 수월정 (24 km 상류) 에서 10 psu, 수월정 상류 (정점 16, 25 km 상류) 에서 2 psu 염분이 관측되었다. 저조와 고조시의 정점별 염분차는 1-9 psu 범위로 섬진강 입구 약 21 km 지점 (정점 14) 에서 최대 염분차를 보였다.

3. 풍수기 염분분포

Fig. 4는 2009년 8월 6일 (저조) 과 7일 (고조) 에 관측한 염분분포를 도시한 것으로, 구례군 송정리 유량 39.7-40.9 cms로 홍수기 이후의 풍수기이며, 광양항 조석 기준으로 조차가 가장 큰 대조기에 관측한 결과이다. 저조시 (A) 섬진강 하구 표층은 20 psu, 저층은 28 psu 분포로 썩기모양의 해수 유입 특성을 보였으며, 상류측으로 갈수록 감소하여 망덕포구 (정점 6, 8 km 상류) 표층에서 횡천교 (정점 10, 15 km 상류) 저층까지 10 psu, 횡천교 표층에서 하동송림공원 하류 저층까지 2 psu 염분이 관측되었다. 고조시 (B) 섬진강 하구에서 28 psu 해수가 썩기모양으로 유입되었으며, 망덕포구 (정점 6, 8 km 상류) 표층에서 섬진강교 상류 (정점 8, 11 km 상류) 저층까지 20 psu, 횡천교 상류 (정점 11, 16 km) 에서 하동송림공원 하류 저층까지 10 psu, 하동송림공원 (정점 13, 20 km 상류) 에서 2 psu 염분이 관측되었다. 저조와 고조시의 정점별 염분차는 1-13 psu 범위로 섬진강 입구 약 6 km 지점 (정점 5) 에서 최대 염분차를 보였다.

4. 홍수기 염분분포

Fig. 5는 2009년 7월 13일 (고조) 과 28일 (저조) 에 관측한 염분분포를 도시한 것으로, 구례군 송정리 유량 220.0-354.1 cms로 홍수기이며, 광양항 조석 기준으로 조차가 작은 소조

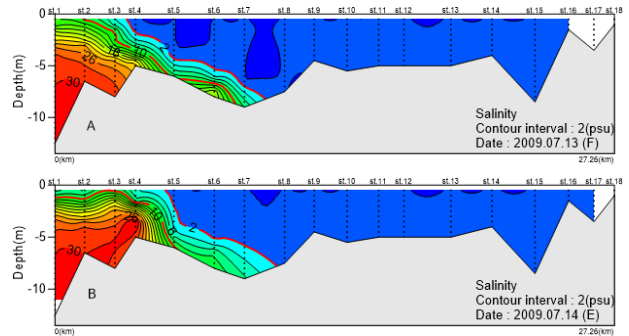


Fig. 5. Salinity distribution for the highest level flow rate (> 200 cms) in the downstream of the Seomjin river (2009.7.13.-14.).

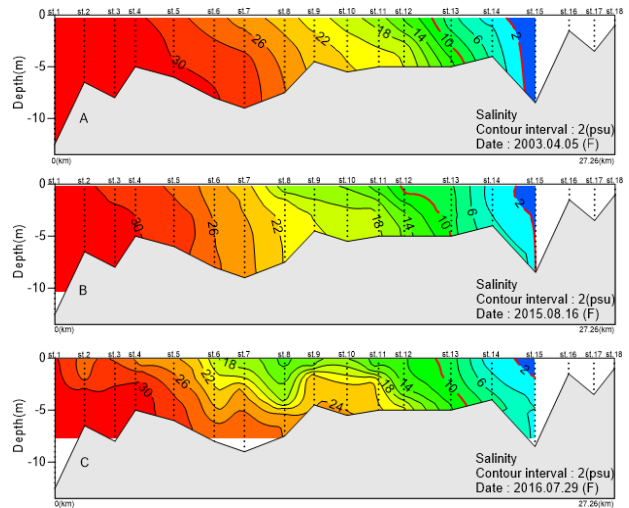


Fig. 6. Compare of the long-term variation of the salinity distribution for the normal flow rate (15-30 cms) in the downstream of the Seomjin river (2003, 2015, 2016).

기에 관측한 결과이다. 고조시 (A) 섬진강 하구에서 30 psu 해수가 저층에서 약하게 유입되고 표층은 10-12 psu 염분을 보였으며, 배알도 표층에서 섬진강교 (정점 7, 10 km 상류) 저층까지 2 psu 염분이 분포하였다. 저조시 (B) 30 psu 염분은 저층에서 배알도 부근까지 유입되고 표층은 4-6 psu 염분을 보였으며, 배알도 부근 표층에서 섬진강교 상류 (정점 8, 11 km 상류) 저층까지 2 psu 염분이 분포하였다.

5. 장기변동 특성

Fig. 6A는 2003년 4월 5일 (대조기 고조, 평수기, 유량 15.4 cms) 에 관측한 결과로, 하구역에서 30 psu 염분의 해수가 썩기모양으로 망덕포구 (정점 6, 8 km 상류) 부근까지 유입되었고, 횡천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 에서 20 psu, 하동송림공원 (정점 13, 20 km 상류) 부근에서 10 psu, 다압면 수월정 하류 (23 km 상류) 에서 2 psu 염분이 관측되었다.

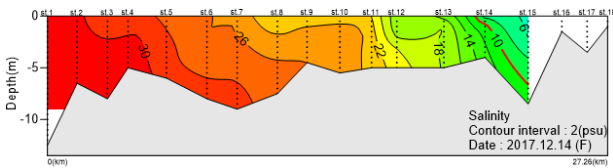


Fig. 7. Salinity distribution for the low level flow rate (< 15 cms) in the downstream of the Seomjin river (2017.12.14.).

Fig. 6B는 2015년 8월 16일 (소조기 고조, 평수기, 유량 15.8 cms) 에 관측한 결과로, 하구역에서 30 psu 염분의 해수가 썩기모양으로 배알도 (정점 4, 4 km 상류) 앞까지 유입되었고, 횡천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 에서 20 psu, 하동송림공원 (정점 13, 20 km 상류) 부근에서 10 psu, 수월정 하류 (23 km 상류) 에서 2 psu 염분이 관측되었다.

Fig. 6C는 2016년 7월 29일 (소조기 고조, 평수기, 유량 22.4 cms) 에 관측한 결과로, 표층과 저층간의 큰 염분차를 보였으며, 하구역에서 30 psu 해수가 저층에서 썩기모양으로 배알도 (정점 4, 4 km 상류) 까지 유입되었고, 20 psu 염분은 망덕포구 표층에서 관측된 반면 저층은 횡천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 까지 유입되었다. 하동송림공원 (정점 13, 20 km 상류) 부근에서 10 psu, 수월정 하류 (23 km 상류) 부근에서 2 psu 염분이 관측되었다.

Fig. 7은 2017년 12월 14일 (소조기 고조, 갈수기, 유량 11.9 cms) 에 관측한 결과로, 섬진강 하구역에서 30 psu 해수가 썩기모양으로 유입되고, 28 psu 염분은 배알도 표층에서 섬진강교 (정점 7, 10 km 상류) 저층까지 유입되는 분포를 보였다. 횡천교 상류 (정점 12, 17 km 상류) 에서 20 psu, 두곡포구 (정점 14, 21 km 상류) 표층에서 10 psu, 수월정 (24 km 상류) 표층에서 4 psu, 저층은 10 psu 염분이 관측되었다.

고찰 및 결론

섬진강 유량 및 조석 변화에 따른 섬진강 하구역 염분 분포를 분석할 결과, 조석에 의한 등염선의 분포는 고조시에 저조시보다 섬진강 상류측으로 북상하며 이동거리는 유량에 따라 차이를 보였다.

평수기의 경우, 28 psu 등염선은 저조시 섬진강 입구 3 km 지점에 위치하였으나 고조시는 8 km까지 북상하였고, 15 psu 등염선은 12 km 지점에서 19 km 지점까지 북상하고, 2 psu 등염선은 19 km 지점에서 25 km 지점까지 북상하여 섬진강 하구역에서 약 25 km 상류까지 조석에 의한 영향이 미치는 것으로 나타났다. 조수간만에 의한 등염선의 이동은 5-7 km 정도 되는 것으로 분석되었다.

갈수기의 경우, 28 psu 등염선은 저조시 섬진강 입구 5

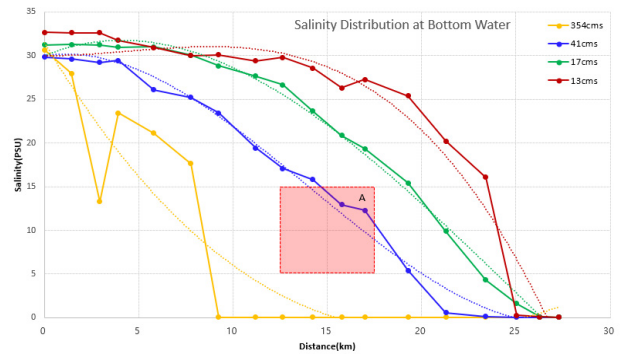


Fig. 8. Compare of the salinity distribution at bottom water for the flow rate changes in the downstream of the Seomjin river.

km 지점에 위치하였으나 고조시는 6 km까지 북상하였고, 15 psu 등염선은 19 km 지점에서 21 km 지점까지 북상하고, 2 psu 등염선은 23 km 지점에서 25 km 지점까지 북상하여 조수간만에 의한 등염선의 이동은 1-2 km 정도 되는 것으로 나타났다. 갈수기 등염선의 위치가 평수기보다 상류측에 위치한 것은 유량 감소에 따라 해수가 상류측으로 강하게 유입된 결과로 판단되며, 조수간만에 의한 이동거리의 차이는 대조기와 소조기의 조수간만의 차이로 해석된다.

평수기의 경우, 20 psu 등염선은 저조시 섬진강 입구 1 km 지점에 위치하였으나 고조시는 7 km까지 북상하였고, 15 psu 등염선은 5 km 지점에서 10 km 지점까지 북상하고, 2 psu 등염선은 15 km 지점에서 20 km 지점까지 북상하여, 조수간만에 의한 등염선의 이동은 5-6 km 정도로 평수기와 비슷하며 등염선의 분포는 평수기보다 하류측에 위치하였다.

홍수기의 경우, 10 psu 등염선은 저조시 섬진강 입구 1.5 km 지점에 위치하였으나 고조시는 3 km까지 북상하였고, 2 psu 등염선은 3 km 지점에서 4.5 km 지점까지 북상하여 조수간만에 의한 등염선의 이동은 1.5 km 정도 되는 것으로 나타났다.

섬진강 하구역 평수기 염분의 장기변동 특성을 분석한 결과, 조수간만의 차이에 의하여 28 psu 등염선은 섬진강 입구 3-8 km 지점에 분포하고, 15 psu 등염선은 12-19 km, 2 psu 등염선은 19-25 km 지점에 분포하였다. 하지만 갈수기 28 psu 등염선은 5-6 km, 15 psu 등염선은 19-21 km, 2 psu 등염선은 23-25 km 지점으로 평수기에 비해 2-4 km 정도 상류측으로 북상하였다.

섬진강의 재첩 서식과 관련하여 이 등 (2021) 은 섬진강에서 염분 농도가 15 psu 내외인 곳의 재첩 서식 밀도가 가장 높게 나타남을 보고하였다. 따라서 이러한 등염선의 분포 변화는 섬진강 재첩의 서식지 분포에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. Fig. 8은 섬진강 담수 유량별 저층의 염분 농도 변화

를 도시한 것이다. 재첩의 기존 서식지 (섬진강 입구 12-17 km 지점) 의 염분 농도를 5-15 psu로 유지하기 위해 담수 유량은 40 cms (송정리 기준) 이상이 요구되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 최소 45 cms를 제시한 한국해양과학기술원 (2018) 의 결과와 유사한 값이다. 향후 조석과 담수 유량 변화에 따른 염분 변화에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2024년 국립수산물연구원 수산과학연구사업 (R2024009) 과 전라남도해양수산과학원 연구사업 (연근해수 산자원조성 기술개발) 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

건설교통부 (2009) 섬진강 하천기본계획 (보완) 보고서. 1329pp.
 국가통계포털 (2016) 재첩 어획량 통계자료.
 권기영, 윤기영, 이평강, 박철, 문창호, 박미옥 (2001) 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 동식물플랑크톤의 현존량 및 종조성. 한국해양학회지 (바다), 6(2): 93-102.
 김민철 (2003) QUAL2E 모델을 이용한 섬진강 하류의 해수 유출입에 따른 수질예측. 전남대학교 환경공학과 석사학위논문.
 김종규, 광경일, 정정호 (2008) 섬진강 하구역의 3차원 혼합특성 연구. 한국해양환경공학회지, 11(3): 164-174.
 이미희, 최종덕, 노길해, 신수정, 류동기 (2021) 섬진강에 서식하

는 일본재첩, *Corbicula japonica*의 분포와 자원량 추정. 한국패류학회지, 37(1): 17-24.
 이석우 (1994) 한국항만수리지. 집문당, 117-144.
 정만, 전일권 (2009) 섬진강 하류 구간의 염도 변동 특성. 한국환경기술학회지, 10(4): 254-260.
 한국해양과학기술원 (2018) 섬진강 하구 관리를 위한 환경변화 연구. 373pp.
 POSCO (2005) 섬진강유역 하계 기초조사 보고서. 226pp
 Dyer, K. R. (1973) Estuaries: a physical introduction. 2nd ed. London, U.K.: Wiley, 195pp.
 Jiang, H. and Shen, Y. (2009) Numerical study on salinity stratification in the Oujiang River Estuary, *Journal of Hydrodynamics*, 21(6): 835-842.
 Kim, C. K. (2005) Sediment transport and river plume modeling in the south coast of Korea. In The Fifteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers. 19-24 June, Seoul, Korea.
 Lee, C. H. (2005) Development of sustainable estuary management strategy in Korea II. Seoul, South Korea: Korea Environment Institute, 480pp.
 Officer, C.B. and Lynch, D. R. (1981) Dynamics of mixing in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 12(5): 525-533.
 Shaha D. C., Cho, Y.G., and Kim T.W. (2013) Effects of river discharge and tide driven sea level variation on saltwater intrusion in Sumjin River Estuary: An Application of Finite-Volumn Coastal Ocean Model. *Journal of Coastal Research*, 29(2): 460-470.