수치모델을 이용한 한국 서해안 여름철 저층 냉수 유입에 대한 담수 방류 영향 분석

Minwoo Park[1], Chaewook Lim[2], Jong Wook Kim[2], Seung-Buhm Woo[1,*]

[1] 인하대학교 해양과학과 [2] 인하대학교 인공지능융합연구센터 // E-mail: mwpark@mpl.inha.ac.kr, sbwoo@inha.ac.kr*

1 Introduction

여름철 한국 서해 연안으로 유입되는 황해저층냉수 기원의 저층 냉수는 연안 수온을 낮추어 지역 수산업과 생태계에 중요 요인으로 작용하므로, 이를 정량적으로 예측하는 기법이 요구된다. 여름철 담수 방류량은 해마다 변동하며 연안 밀도 구조를 바꾸므로, 저층 냉수 연안 유입의 한 요인이 될 수 있다. 그러나 담수 방류량 변동과 저층 냉수 유입 사이의 관계를 다룬 연구는 부족하다. 이에 본 연구는 Finite Volume Community Ocean Model (FVCOM)을 이용하여 여름철 담수 방류량과 저층 냉수 유입 사이의 정량적 관계를 규명하였다.

2 Methodology

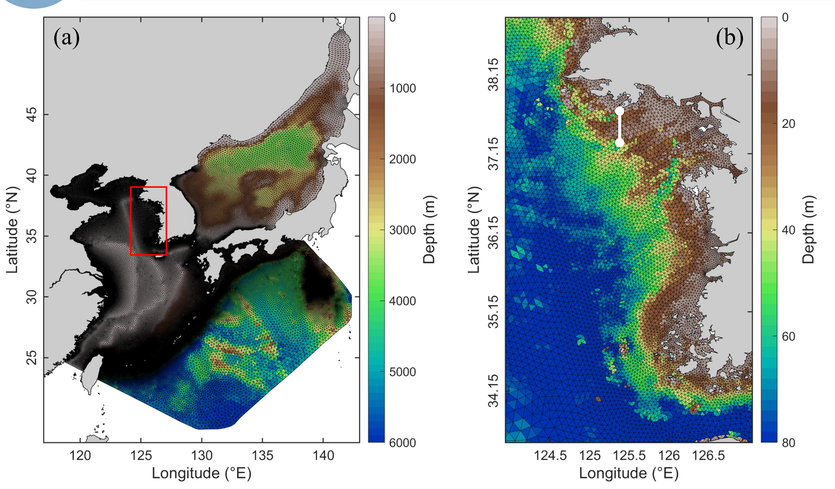


Figure 1. Unstructured triangular grid and bathymetry of the FVCOM model. (a) Entire model domain, covering the Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea, East Sea, and part of the northwestern Pacific. The red box indicates the area shown in (b). (b) Enlarged view of the western coast of Korea. The white line indicates the section used for the volume and heat flux calculations in Fig. 5.

Table 1. Model setup

Model	FVCOM
Number of node	102,238
Number of element	197,684
Depth range	0.0–7316.7 m
Resolution range	1.05–33.00 km
Number of vertical layer	40

Table 2. Data source

Initial field	HYCOM GLBy0.08
Open boundary	HYCOM GLBy0.08
Tide	TPXO9-atlas
River discharge	WAMIS, KRC, CWRC
Surface forcing	ECMWF-ERA5
Data assimilation	OSTIA, HYCOM GLBy0.08

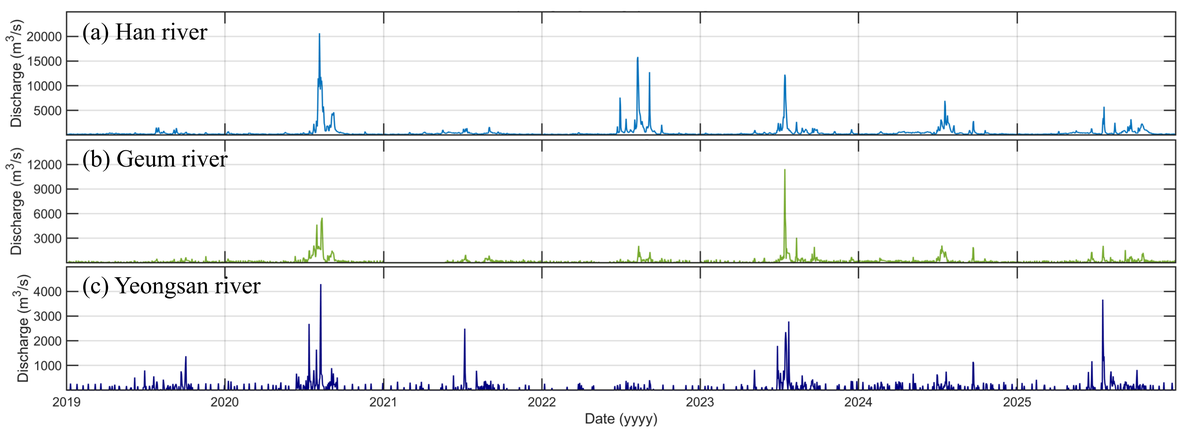


Figure 2. Time series of daily mean freshwater discharge from (a) the Han River (Hangang Bridge), (b) the Geum River (Geum River Estuary Barrage), and (c) the Yeongsan River (Yeongsan River Estuary Barrage) during 2019–2025.

- 2023년 1–6월 모의 결과를 공통 초기 조건으로 하는 두 가지 수치 실험을 수행하였다.
- 7–8월 담수 방류량으로 Case 1은 2023년(고방류), Case 2는 2019년(저방류) 값을 적용하였다.
- 두 실험의 수온·염분 차이로 담수 방류량 변화가 저층 냉수 유입에 미치는 영향을 정량화하였다.

3 Validations

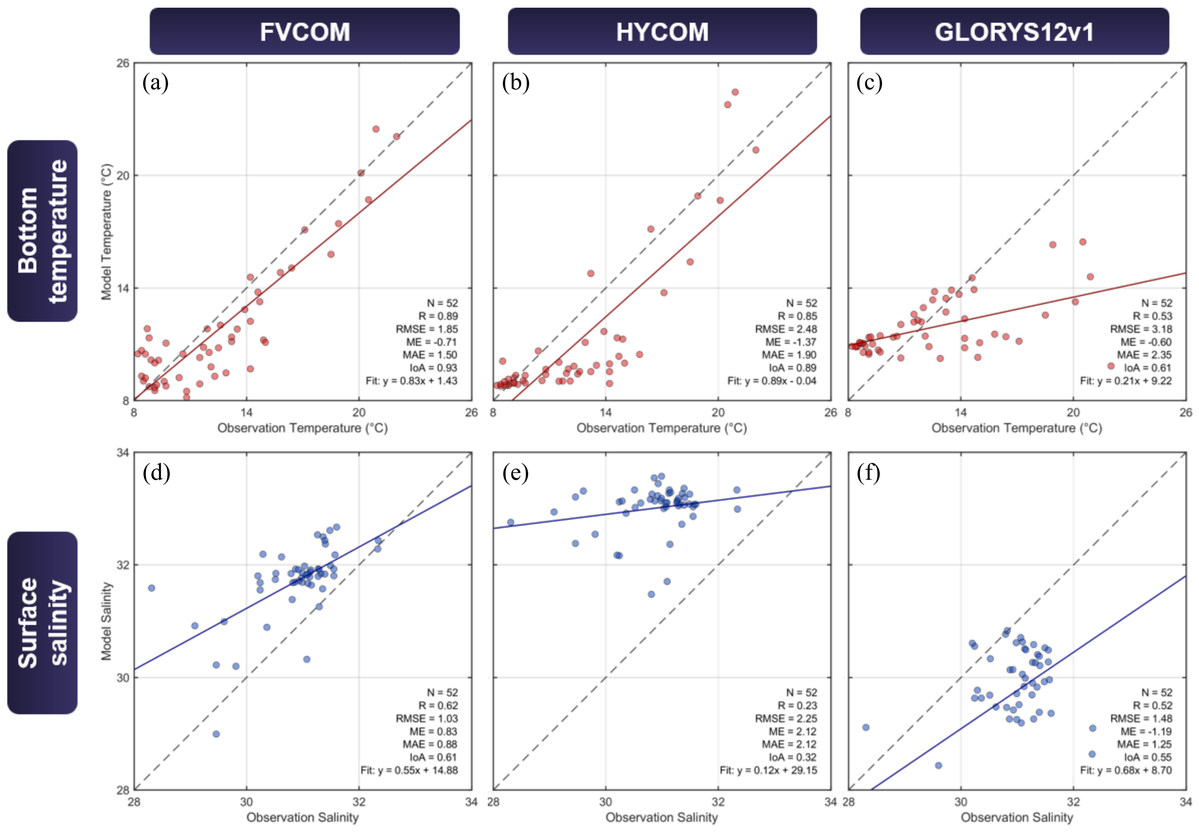


Figure 3. Comparison between serial station observations in the Yellow Sea and model results in August 2023. (a–c) Bottom temperature and (d–f) surface salinity from (a, d) FVCOM, (b, e) HYCOM, and (c, f) GLORYS12v1. Dashed lines indicate the 1:1 line, and solid lines indicate the linear regression. Each panel shows the number of data points (N), correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE), mean error (ME), mean absolute error (MAE), index of agreement (IoA), and the regression equation.

4 Results

Figure 4. August-mean (a–c) surface salinity and (d–f) bottom temperature in the high-discharge (2023) and low-discharge (2019) cases. (a, d) High-discharge case, (b, e) low-discharge case, and (c, f) their difference (high − low).

- 고방류 조건에서 한강과 금강의 담수는 저방류 조건보다 하구로부터 각각 150 km, 80 km까지 표층 염분을 1 이상 낮추었다.
- 8월 평균 저층 수온은 고방류 조건에서 한강과 금강 하구 전면 해역을 중심으로 1°C 이상 낮았다.
- 저층 수온이 낮아진 해역은 표층 염분이 낮아진 해역과 공간적으로 대응하였다.

5 Discussion

$$Q_{vol} = \iint_{xz} v\,dzdx \qquad Q_{heat} = \iint_{xz} \rho C_p (T - T_{ref}) v\,dzdx$$

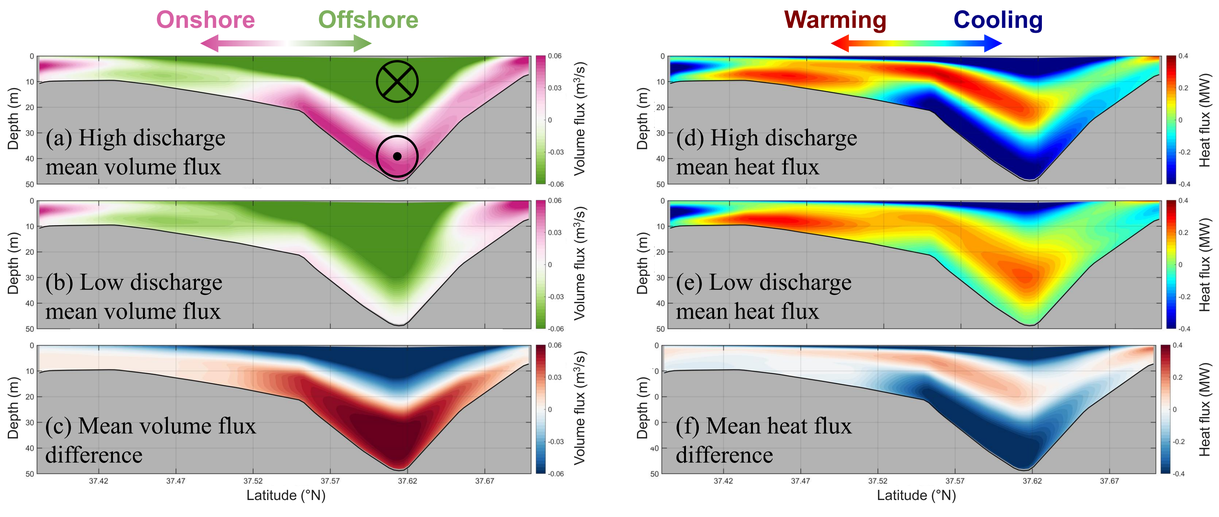


Figure 5. August-mean (a–c) volume flux and (d–f) heat flux across the section shown in Fig. 1. (a, d) High-discharge case, (b, e) low-discharge case, and (c, f) their difference (high − low). For volume flux, positive (pink) and negative (green) values indicate onshore and offshore flow, respectively. For heat flux, positive and negative values indicate warming and cooling, respectively.

6 Conclusions

- 한국 서해안의 담수 방류량 증가는 표층 염분과 저층 수온을 함께 낮추었다.
- 담수로 강화된 밀도 경사는 표층 외해 유출과 저층 연안 유입의 보상 순환을 형성하여 저층 냉수를 연안으로 수송하였다.
- 하천 담수 방류는 저층 냉수 유입을 촉발하는 요인으로, 연안 어업 예측 모델의 정확도를 높이는 인자로 활용될 수 있다.

- 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-24683148).
- 이 논문은 2025년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(지속가능한 해양 신산업 인재 양성을 위한 해양공간·자원 활용 연구(RS-2025-02220608).