

연안하구에서의 염분 성층 강도 및 혼합범위 Salinity Stratification Intensity and Mixing Range in the Coastal Estuaries, Korea

조범준¹, 조홍연²

Beom Jun Cho¹ and Hong Yeon Cho²

1. 서 론

해역에서의 밀도 성층은 수온 또는 염분의 수직적인 차이가 커서 상층과 하층의 밀도가 서로 다른 두 층으로 구분되는 현상을 의미한다(김 등, 2006). 상층과 하층의 염분 차이에 의한 해역의 성층화를 판단하는 기준은 실질적으로 수온과 마찬가지로 제시되어 있지 않다(조 등, 2002).

유역의 담수유입량과 강우의 영향 등으로 연안해역의 염분농도가 결정되므로 담수 영향영역을 고려해야 한다. 연안에서의 담수 영향영역(Regions of freshwater influence, ROFI)은 담수 및 오염물질이 유역에서 하구 및 방조제 등을 통하여 연안 해역으로 배출되고 물리적인 과정을 통하여 확산되어 연안의 염분을 저하시키는 영역으로 환경·생태학적인 관점에서 매우 중요하다(Lewis, 1997; Mcluskly, 1999; Martin et al., 2008). 이 영역(ROFI)은 지속적인 담수유입의 영향으로 형성되며, 담수유입의 장기적인 변화(계절적인 변화)는 영역의 범위를 확대·축소하고 영향범위를 벗어나는 지역에서는 염분에 대한 유역 담수의 영향이 없기 때문에 염분 농도의 자연적인 변화만이 존재한다. 그러나 대부분의 담수 확산범위 추정연구가 조석주기 또는 2~3일 정도의 단기간의 물리적인 확산과정 관측 및 수치모형 개발·적용에 중점을 두고 수행되어 왔기 때문에 보다 장기적이고 지속적인 확산범위에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다(Simpson, 1997; Luyten, 1997; Souza & Simpson, 1997; Lagadeuc et al., 1997). 연안해역의 효과적이고

효율적인 환경관리를 위해서는 담수 배출양상 및 담수 영향범위를 파악하는 것이 필요하다. 오염물질 확산범위는 오염물질 항목에 따라 다소 차이가 있을 것으로 판단되나 담수 영향범위와 직접적인 관련이 있을 것으로 판단되기 때문에 담수 영향범위는 오염물질 확산범위 추정 관점에서도 중요하다. 실제로 염분 확산범위는 물리적인 측면, 생물학적인 측면에 따라 영향범위가 다르며, 또한 염분농도 유지시간(예: 저염수의 염분농도 유지시간)에 대한 내용도 포함하는 경우에는 정량적인 정의가 매우 어려운 문제이다.

본 연구에서는 우리나라 5대강(한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강)을 포함한 하구연안의 표층과 저층에서 염분농도 차이와 담수 영향범위에 따른 하구연안에서의 염분과의 혼합범위 등을 파악하여 하구연안에서의 전반적인 염분특성을 분석하며, 기존 연구내용에 포함되지 않았던 염분농도의 평균과 표준편차의 상관관계를 파악함으로써 우리나라 하구연안에서의 염분 성층 강도 및 혼합범위를 추정하여 향후 오염물질 확산범위에 대한 정량적인 정의와 효율적인 해양환경에 영향을 미치는 기초 연구자료를 제시하는데 목적이 있다.

2. 분석 내용

2.1 표층과 저층에서의 계절별 염분농도

본 연구에서는 국립수산물관리원 (<http://portal.nfrdi.re.kr/envirodata>, [해양수산연구정보])에서 제시하는 우리나라 하구연안의 10년 동안의 (1997년~2006년) 계절별(년4회 관측; 2, 5, 8, 11월) 염분 관측자료를 이용하였다. 수질항목의

1 발표자: 한국해양연구원 해양환경·방제연구부 연수연구원

2 한국해양연구원 해양환경·방제연구부 책임연구원

시료채취 방법은 상층(표층에서 1m 아래 지점)과 하층(바다 저층에서 1m 위 지점)에서 해수를 채취하여 해양염분측정법의 규정에 의거한 해양환경공정시험방법으로 분석하였다. 5대강을 포함한 연안하구에서 이상자료(outlier)를 제외한 표층과 저층에서의 계절에 따른 염분변화를 분석하였다. 이상자료는 임의로 관측된 표본자료 값 중에서 하나 또는 그 이상의 기대되지 않은 높거나 작은 값을 의미한다(Kottogoda & Rosso, 1997). 이상자료가 있을 경우에 이러한 값은 전반적인 분포 양상과는 다른 자료와 너무 떨어져 있어서 자료의 대표적인 통계정보를 왜곡시키기 때문에 일반적으로 통계학에서 제거하여 분석을 수행한다(조 등, 2006).

우리나라 5대강 하구연안의 표층과 저층에서의 염분농도를 계절별로 연평균하여 각각 제시하였다(Table. 1&2). Table 2는 계절별로 표층과 저층에서의 염분농도 차이를 정리한 것이며, 저층을 기준으로 나타냈다. 한강을 제외한 금강, 낙동강, 영산강 및 섬진강 하구연안에서 8월의 표층과 저층에서의 평균 염분농도의 성층정도 차이가 각각 5.94, 3.11, 7.85 및 3.56(psu)으로 높게 나타났다. 다른 시기보다 8월이 높게 나타나는 이유는 8월이 강우가 표층에 집중되고 유역에서의 담수 유입량이 많기 때문에 표층과 저층에서의 염분농도 차이가 클 수밖에 없다.

2.2 염분 확산범위 (등농도선)

연안해역에서 담수와 염분 혼합범위 정도를 파악하기 위하여 5대강의 하구별로 표층과 저층에서의 염분농도를 연평균하였다. 또한, 염분의 혼합범위를 파악하면, 담수유입량이 어디까지 영향을 미치는가를 알 수 있다. 본 연구에서는 분량상 한강을 포함한 경기만에서의 평균 염분농도의 등농도선만을 제시하였다. 한강 상류부근은 거의 0.02(psu) 이고, 강화대교 남단 부근에서는 약 20(psu)로 나타났다(Fig.1).

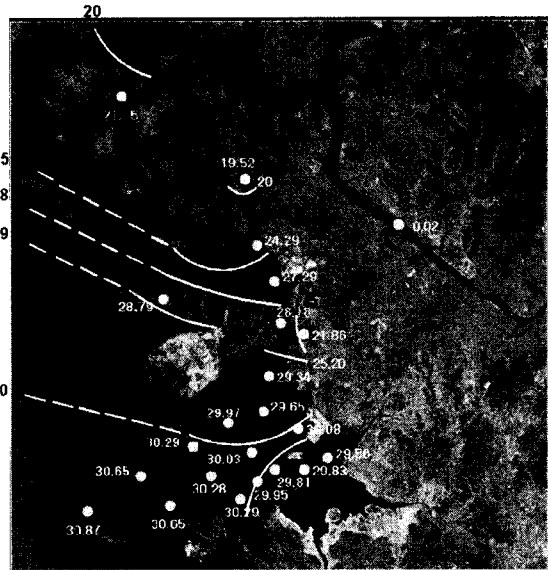


Fig. 1. Concentration Contour Line in the Han River Estuary

Table 1. Seasonal Salinity Distribution of Surface and Bottom Layer in the Estuary Coastal Zone

	February		May		August		November		All	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Han River	30.54	30.64	30.00	30.43	26.77	27.79	29.85	30.04	29.26	29.69
Keum River	28.81	29.31	26.55	28.57	20.71	26.65	27.71	29.50	25.94	28.51
Youngsan River	31.35	31.94	30.26	31.79	26.99	30.10	30.51	31.72	29.76	31.38
Nakdong River	33.12	33.73	31.44	33.84	25.51	33.35	32.43	33.42	30.63	33.59
Seomjin River	32.63	32.78	31.90	32.32	26.41	29.96	31.65	31.69	30.62	31.69

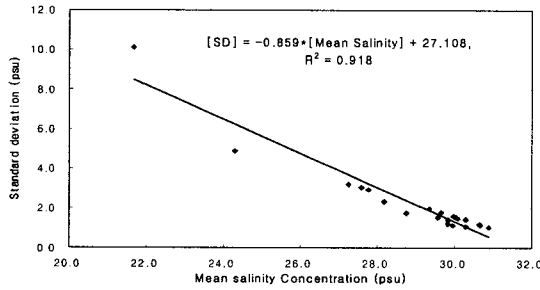
Table 2. Seasonal Salinity Difference of Surface and Bottom Layer in the Estuary Coastal Zone

	Feb.	May	Aug.	Nov.	All
Han River	0.10	0.43	1.02	0.19	0.43
Keum River	0.51	2.02	5.94	1.79	2.57
Youngsan River	0.58	1.52	3.11	1.22	1.62
Nakdong River	0.61	2.40	7.85	0.99	2.96
Seomjin River	0.15	0.43	3.56	0.04	1.06

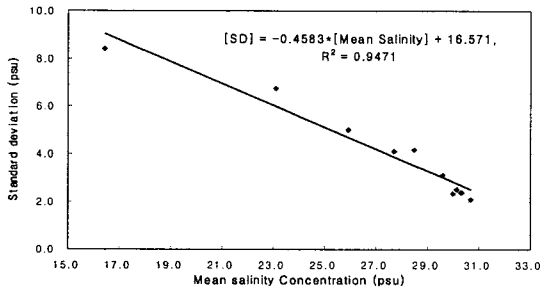
또한, 레성강에서 교동도로 유입되는 담수 유입량의 영향으로 평균 염분농도가 약 21.15(psu)로 파악되었다. 영종도 북단과 남단은 대략 28~30(psu) 정도의 평균 염분농도로 나타났고, 시화방조제 앞은 29.5~30(psu)의 평균 염분농도로 파악되었다. 섬과 내륙부근에서 멀어질수록 30(psu) 이상의 평균 염분농도를 보이고 있는데 이는 담수 영향이 미치지 않는 해역으로 판단할 수 있다.

2.3 염분농도 평균과 표준편차의 관계

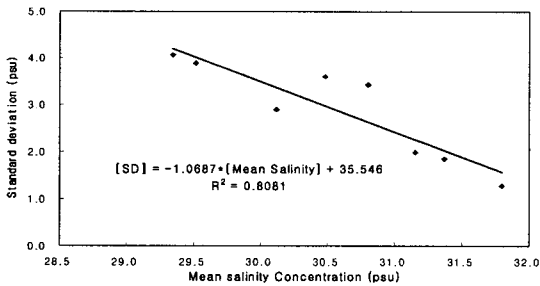
하구연안별 2월, 5월, 8월 및 11월 표층과 저층에서의 염분농도를 평균한 자료와 표준편차를 평균한 염분자료와의 상관관계를 분석하였다.



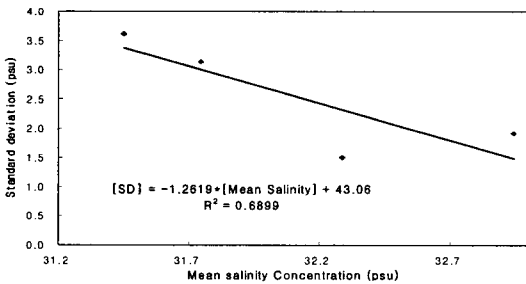
(a) Han River Estuary



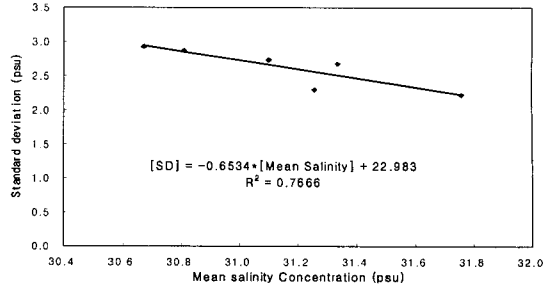
(b) Keum River Estuary



(c) Youngsan River Estuary



(d) Nakdong River Estuary



(e) Kwangyang Bay Estuary

Fig. 2. Scatter Plot of Mean Salinity Concentration and Standard Deviation

전체 평균 염분농도와 표준편차의 상관관계 분석결과, 통계모형의 적합도를 척도하는 지표인 결정계수가 한강하구 0.918, 금강하구 0.9471, 영산강하구 0.8081, 낙동강하구 0.6899, 광양만(섬진강하구) 0.7666 으로 높게 나타났다. 따라서 전체 표층과 저층에서의 평균 염분농도와 표준편차는 상관관계가 있는 것으로 추정되었다. 또한, 평균 염분농도가 높을수록 표준편차의 염분농도는 낮고, 평균 염분농도가 낮을수록 표준편차의 염분농도는 높다는 사실을 알 수 있었다.

4. 결 과

본 연구에서는 우리나라 5대강을 포함한 하구연안에서의 표층과 저층의 염분농도 차이를 통한 성층화 정도, 담수 유입량에 따른 염분과의 혼합범위, 기존 연구에서 하지 않았던 평균 염분농도와 표준편차의 상관관계를 분석하였다.

표층과 저층에서의 염분농도의 성층화 정도는 강수가 많이 내리고 담수 유입량이 많은 8월이 다른 시기보다 표층과 저층에서의 뚜렷한 차이를 보여주었다. 특히, 이 시기에는 표층에서의 담수 유입량과 강수의 영향으로 염분농도가 저층에 비해 현저히 낮다는 사실을 알 수 있었다.

특히, 본 연구에서는 기존 연구내용에 포함되지 않았던 전체 염분농도와 표준편차의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 한강하구와 금강하구의 상관관계가 매우 높게 나타났으며, 평균 염분농도가 높을수록 표준편차의 염분농도는 낮고, 평균 염분농도가 낮을수록 표준편차의 염분농도는 높다는 사실을 알 수 있었다.

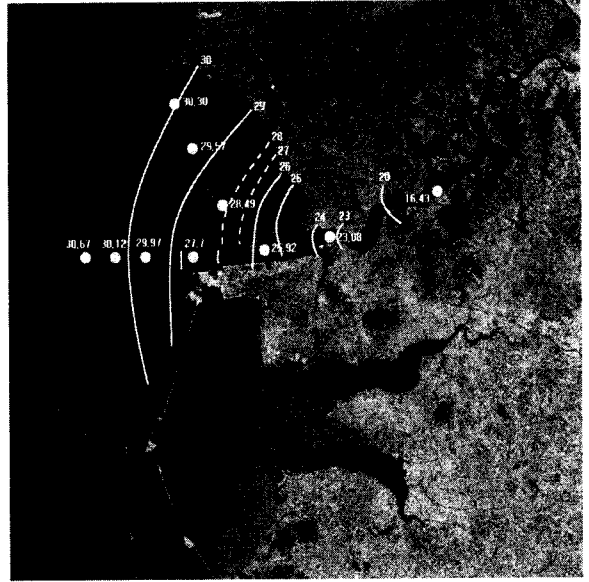
감사의 글

본 연구 사업은 한국해양연구원 하구관리 및 복원기술 개발사업(PE-9811A)의 지원을 받아 수행하였습니다.

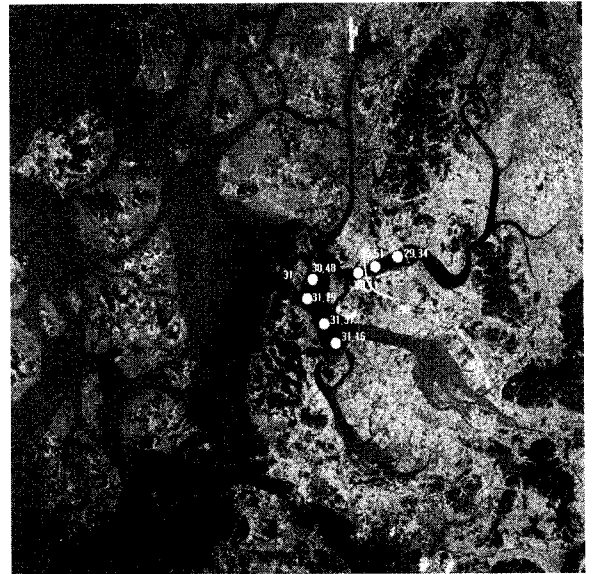
참고문헌

- 김태인, 이형래, 장경일 (2006). 새만금해역에서 밀도 상층의 계절변동, *Ocean and Polar Research*, 제28권, 제3호, pp.339-352.
- 조홍연, 조범준 (2006). 시화호 및 인천연안의 COD 오염부하량 추정기법, *한국해양·해양공학회지*, 제18권, 제3호, pp.262-267.
- 조홍연, 채장원, 전시영 (2002). 진해·마산만의 성층화 및 DO 농도변화, *한국해양·해양공학회지*, 제14권, 제4호, pp. 295-307.
- 조홍연, 조범준, 김상준 (2008). 계절별 염분자료를 이용한 아산만 연안의 담수 영향범위 추정, *한국해양·해양공학회논문집*, 제20권, 제2호, pp.219-231.
- Kottegoda, N.T. and Rosso, R. (1997). *Probability, Statistics and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill.
- Lagadeuc, Y., Brylinski, J.M. and Aelbrecht, D. (1997). Temporal variability of the vertical stratification of a front in a tidal Region of Freshwater Influence(ROFI) system, *Journal of Marine Systems*, 12, 147-155.
- Lewis, R. (1997). *Dispersion in Estuaries and Coastal Waters*, Sec. 9.3.3, John Wiley & Sons.
- Luyten, P.J. (1997). Modelling physical processes of haline stratification in FORIs with application to the Rhine outflow region, *Journal of Marine Systems*, 12, 277-298.
- Martin, G. D., Vijay, J. G., Laluraj, C.M., Madhu, N.V., Joseph, R., Nair, M., Gupta, G.V.M. and Balachandran, K.K. (2008). Freshwater Influence on Nutrient Stoichiometry in a Tropical Estuary, Southwest Coast of India, *Applied Ecology and Environmental Research*, 6(1), 57-64.
- McLusky, D.S. (1999). Estuarine benthic ecology: A European perspective, *Australian Journal of Ecology*, 24, 302-311.
- Simpson, J.H. (1997). Physical processes in the ROFIs regime, *Journal of Marine Systems*, 12, 3-15.
- Souza, A.J. and Simpson, J.H. (1997). Control on stratification in the Rhine ROFI system, *Journal of Marine Systems*, 12, 311-323.

Appendix



A. Concentration Contour Line in the Keum River Estuary



B. Concentration Contour Line in the Youngsan River Estuary