



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

섬진강 하구역에서 영양염의
시·공간적 분포특성 및 플릭스 추정



2008년 2월

부경대학교 대학원

환경 공 학 과

박 미 옥

공학석사 학위논문

섬진강 하구역에서 영양염의 시·공간적
분포특성 및 플럭스 추정

지도교수 이석모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2008년 2월

부경대학교 대학원

환경 공 학 과

박 미 옥

박미옥의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 12월 일



주 심 공학박사 김 일 규 인

위 원 공학박사 이 태 윤 인

위 원 공학박사 이 석 모 인

목 차

List of Figures and Tables	ii
List of Appendix	iii
Abstract	iv
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 연구지역	3
2. 현장조사 및 시료분석	5
2-1. 연속조사	5
2-2. 염분 경사에 따른 시료 채취	5
2-3. 영양염의 flux 계산	6
III. 결과 및 고찰	10
1. 연속조사에 따른 물리·화학적 농도 분포 특성	10
1-1. 건기 분포특성	10
1-2. 우기 분포특성	11
2. 염분 경사에 따른 물리·화학적 농도 분포 특성	16
2-1. 건기 분포특성	16
2-2. 우기 분포특성	18
3. 섬진강 하구역에서 영양염의 시·공간적 분포특성	22
4. 섬진강 하구역에서 영양염의 거동양상과 flux 추정	28
IV. 결론	31
V. 요약	33
VI. 감사의 글	35
VII. 참고문헌	36
Appendix	40

List of Figures and Tables

Fig. 1. Map showing the study area.	4
Fig. 2. Plot of concentration of dissolved constituent versus salinity.	7
Fig. 3. Plot of removal and addition of dissolved constituent versus salinity. ...	8
Fig. 4. River discharge and precipitation of Seomjin River at Songjung.	9
Fig. 5. Hourly variation of tide, salinity, temperature, pH, SPM (The dry and rainy season).	14
Fig. 6. Hourly variation of tide, Chl-a, ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate (The dry and rainy season).	15
Fig. 7. Relationship of temperature, pH, DO, SPM with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (The dry season).	24
Fig. 8. Relationship of Chl-a, ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (The dry season).	25
Fig. 9. Relationship of temperature, pH, DO, SPM with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (The rainy season).	26
Fig. 10. Relationship of Chl-a, ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (The rainy season)	27
Table 1. River discharge of Seomjin River at Songjung, Chollanamdo.	9
Table 2. Range and mean values of chemical constituents at an interval of 2 hours for 25 hours in the Seomjin River estuary.	13
Table 3. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (The dry season).	20
Table 4. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (The rainy season).	21
Table 5. Flux of dissolved in the Seomjin River estuary.	30

List of Appendixs

Appendix 1. Range and mean values of chemical constituents at an interval of 2 hours for 25 hours in the Seomjin River estuary.	41
Appendix 2. Range and mean values of chemical constituents at an interval of 2 hours for 25 hours in the Seomjin River estuary.	42
Appendix 3. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2005. 3).	43
Appendix 4. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2005. 6).	44
Appendix 5. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2005. 8).	45
Appendix 6. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2006. 3)	46
Appendix 7. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2006. 7).	47
Appendix 8. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (2007. 3).	48
Appendix 9. Diagrams of ammonium, nitrite, nitrate fluxes (The dry season).	49
Appendix 10. Diagrams of DIN, phosphate, silicate fluxes (The dry season).	50
Appendix 11. Diagrams of ammonium, nitrite, nitrate fluxes (The rainy season).	51
Appendix 12. Diagrams of DIN, phosphate, silicate fluxes (The rainy season)	52
Appendix 13. Correlation matrix (The dry season).	53
Appendix 14. Correlation matrix (The rainy season).	54

Characteristics of Spatio-temporal variation and Flux of Nutrients in the Seomjin River Estuary.

Mi-Ok Park

*Department of Environmental Engineering, Graduate school,
Pukyong National University.*

Abstract

We investigated the characteristics of spatio-temporal nutrient variation according to the 25 hours tide cycle and the distribution characteristics of the nutrient along the salinity gradient in order to estimate the nutrient flux in Seomjin River Estuary.

The continuing investigation was conducted in the dry season (Mar. 2006) and rainy season (Jul. 2006) and the investigation on the salinity gradient was conducted 6 times in the dry season (Mar. of 2005, Mar. of 2006, Mar. of 2007) and rainy season (Jun. Aug. of 2005, Jul. of 2006).

According to the tide, the salinity in the dry season was similar to the cycle of the tide and the SPM and chlorophyll-a appeared to be high density during the ebb tide. The nitrate and silicate appeared to be high density during the ebb tide which implicated these substances are originated from the land.

Along the salinity gradient, ammonium was removed from the middle salt content range in the dry season whereas the density of chlorophyll-a increased. This can be judged that the ammonium was used as the main nutrient required for the development of phytoplankton first selectively before the nitrite and nitrate. In the rainy season, the ammonium was supplied in this salinity range. The supply of ammonium can be secreted as the final product of zooplankton that lives by the basic providers. The nitrite displayed high density at the early combination range in the entire period and it showed conservative behavior with most salinity. Phosphate was mostly removed from the middle salinity range in the dry season. Especially, in

March 2007, on the middle salt content range with abundant dissolved oxygen and high density of suspended particles, it can be judged that it was absorbed to the particles and removed. The phosphate in other period is judged to be removed by the phytoplankton. However, in the rainy season, the phosphate was supplied on the middle salt content range. In June 2005, in the early combination range close to the fresh water, the concentration of 3-4 times higher compared to other period. This might be the influence of the fertilizer contents used in the agricultural season that is swept down through rain. Silicate displayed high density in the early combination range adjacent to the fresh water for the entire period. In the dry season, it was removed from most of the estuary and in the rainy season, it showed the conservative behavior with the salinity. As a result of estimating the flux, the daily average flux (F_{Est}) discharged to the South Sea shore through the estuary of Seomjin River Estuary was discharged to the Kwangyang Harbor by the 2.12 tons day⁻¹ in the dry season and 8.8 tons day⁻¹ in the rainy season in case of dissolved inorganic nitrogen. The phosphate was discharged to the South Sea shore by the 0.014 tons day⁻¹ in the dry season and 0.47 tons day⁻¹ in the rainy season; and the silicate was discharged 1.3 tons day⁻¹ in the dry season and 32 tons day⁻¹ in the rainy season. The quantity of the flux discharged to the sea was higher in the rainy season than the dry season. In the dry season, ammonium, phosphate and silicate was mostly removed from the middle estuary area through the biogeochemical reactions which the nutrient flux discharged to the South Sea shore is judged to be low. On the other hand, in the rainy season, the nutrient showed the supply in the middle estuary area or since it is combined to the salinity conservatively, the flux of the nutrient is judged to be high.

Keywords : Seomjin River, Estuary, Nutrient, Flux, Tide, Salinity

I. 서론

하구는 담수와 해수가 만나 혼합되는 지역이다. 성질이 다른 두 수괴의 혼합으로 하구는 물리, 화학, 생물학적으로 다양한 환경이며, 조석, 담수 유입 등으로 인해 염분의 변화 큰 곳이다 (홍, 2004). 조석에 의한 조수 상태 및 진폭은 염분, 영양물질, 미립자 물질 등의 농도 변화에 영향을 줄 수 있다 (Montanl et al., 1998). 특히 하천을 통한 생활 하수 유입, 퇴적물에서 영양염 용출 등의 환경 변수가 작용할 때, 하구 거동은 복잡하게 일어날 것이다 (김 등, 2002).

또한, 하구는 물질 플럭스를 결정할 수 있는 주요한 계면(육지-해양 계면) 중 하나이다. 육지에서 공급되는 물질이 하구를 거쳐 해양으로 공급될 때 일어나는 모든 반응을 하구 반응(Estuarine reaction)이라 하며, 하구 반응에 따라 물질들은 하구내에서 재분배 과정을 거치게 된다. 결과적으로 하구반응은 육지에서 해양으로 이동하는 물질의 플럭스를 조절하는 역할을 한다.

하구의 물질들은 담수와 해수가 혼합 될 때, pH의 변화, 미생물의 생리 활동 변화 등에 따라 응집(flocculation), 침전(deposition), 이온교환(Ion-exchange), 생물체 흡수(biological uptake), 재광물화(remineralization) 등의 반응이 일어난다. 각각의 반응 정도 및 특성에 따라 물질들은 하구내에서 공급 또는 제거의 비보존성(non-conservative) 특징을 나타낸다. 또한 염분 경사도에 따라 보존성(conservative) 경향을 나타내기도 한다. 질산염의 경우, 영양염의 공급 및 제거 과정에서 암모니아화, 질산화, 탈질산화 작용에 의해 보존적, 비보존적 거동을 보이고 (Balls, 1992), 인산염은 SPM에 흡착되어 있던 것이 탈착되거나 (Edmond et al., 1985) 철이 환원되면서 인산염을 방출하기도 한다 (Webb and D'Elia, 1980; Zwolsman, 1994). 규산염은 diatom의 성장에 의해 완전 제거 되기도 하지만, 대부분 보존적 거동을 한다 (Boyle, et al., 1974).

현재까지 섬진강 하구에서 수행된 연구를 살펴보면, 박 등(1984)은 섬진강 하구역 및 인근의 퇴적 환경에 대해 보고했다. 또한 섬진강 하구와 연결된 광양만과 여수만에서 부유물질 이동에 관한 연구 결과도 있다 (Kim and Kang, 1991).

Moon(1990)은 광양만과 여수만에서 영양염 분포에 관한 연구를 발표하여, 섬진강 하구에서 질산염 및 규산염의 공급원은 섬진강이며, 인산염 및 암모니움의 공급원은 광양만 주변의 생활하수와 공장폐수가 기원이라고 보고하였다. Kim(1992)은 풍수기의 라듐 동위원소의 흡착과 탈착 및 영양염 flux를 추정했다. 박 등(2002)은 섬진강 하구역에서 계절과 염분에 따른 동물플랑크톤의 분포 특성에 대해 보고했다. 또한 권 등(2001, 2002, 2004)은 섬진강 하구에서 염분 경사에 따른 동·식물 플랑크톤의 현존량 및 종조성에 대한 연구를 수행하였고, 식물 플랑크톤 성장의 제한 영양염에 대해 고찰했다. 뿐만 아니라 염분 경사에 따른 입자성 유기물질의 분포 특성 및 염분 경사에 따른 영양염 분포 양상과 flux를 추정하였다.

최근 도시화 및 공업화에 따라 하구는 빠르게 교란되고 있다. 특히, 공업·농업 용수의 목적으로 건설되는 인공구조물이 담수와 해수의 교환을 차단시켜 하구가 갖는 고유기능을 훼손시킨다. 섬진강 하구는 인공 구조물이 없는 자연하구로(이 등, 2005), 하구 반응 및 하구의 기능학적 연구에 최적지임에도 불구하고 현재 상황은 영양염과 flux 추정에 대한 연구가 지속적으로 이루어지지 않고 있다. 또한 댐과 취수장의 증가로 감소된 유량과 섬진강 상류까지 염수피해가 증가하고 있어, 기존의 연구 결과는 현재의 상황과 차이가 있으리라 생각된다.

하구에서 일어나는 여러 생지화학적 과정은 육상기원 물질이 연안역에 공급되는 정도를 결정하고 (Kaul and Froelich, 1984) 공급된 영양염은 해양의 기초 생산력을 조절한다. 그러므로 하구역에서 영양염의 시·공간적 분포 특성에 대한 연구는 지속적으로 이루어져야 한다. 뿐만 아니라 영양염의 분포를 이해하기 위해 담수 유입, 조석 등의 물리적 요인과 생물적 요인인 식물플랑크톤의 분포를 파악하는 것 또한 중요하다 (김 등, 2002). 따라서 이 연구의 목적은 섬진강 하구역에서 영양염의 시·공간적 분포 특성을 파악하고자 25시간 조석 주기에 따른 영양염의 시간적 변화 양상을 이해하고, 염분 경사에 따른 영양염 분포 특성을 파악함으로써 강 - 하구, 하구 - 연안의 영양염 flux를 추정하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구지역

섬진강 하구는 전라남도 광양시, 순천시, 여수시와 경상남도 하동군, 남해군으로 둘러싸여 있으며, 강의 길이는 225km, 총유역 면적은 약 4,900 km² 로 남해로 유입되는 강 중 두 번째로 큰 강이다 (이 등, 2005). 섬진강 상류에는 섬진강 댐과 동북댐, 보성강댐, 주암댐이 있으며, 약 29개소의 취수장에서 일당 약 100만 톤의 담수가 채수되고 있다.

섬진강은 연간 $10.7 \sim 39.3 \times 10^8$ 톤의 담수가 광양만으로 유입된다 (건설부, 2000). 섬진강 하구의 조류 형태는 반일주조가 우세하고, 1일 2회 창조류와 낙조류가 규칙적으로 나타난다. 최대조차는 4m이고 평균대조차는 260cm이며, 표층 최강 유속은 56.1 cm/s 이며, 저층 최강유속은 9.8 cm/s 이다 (이 등, 2005).

반폐쇄성 만인 광양만은 면적이 약 230 km² 로 여수반도와 남해도로 둘러싸여 있다. 만에는 이십여 개의 작은 섬들이 산재해 있다. 해수 유통은 남쪽의 여수해협과 만 동북부의 노랑해협을 통해 이루어진다. 광양만 주변은 대도시의 발달과 대단위 산업단지인 화력발전소, 남부지역의 여수국가산업단지 등으로 고밀도 이용 개발이 진행되고 있어 생활하수와 공장폐수 및 온배수가 배출되고 있다. 빠른 도시화의 진행과 고밀도의 산업단지 조성 등으로 인해 다른 해역에 비해 잠재적 오염강도가 큰 해역이며, 하구 입구의 POSCO 매립은 섬진강 하구의 지형 변화와 조류 흐름의 변화를 초래하였다 (정 등, 1997). 매년 여름철에 발생하는 강우 (집중호우 포함) 등으로 인해 하구역 생태계에 주기적인 교란이 발생하고 있다. 그리고 염분경계가 상류로 이동하고 있어 섬진강 하구(광양시 진월면 일대)는 거의 바다화 되고 있는 상태로 연안의 집중적인 개발과 반폐쇄성 내만해역의 특성을 보이고 있어서 해양오염의 집중적인 관리가 필요한 특별관리해역으로 지정되어 있다 (이 등, 2005).

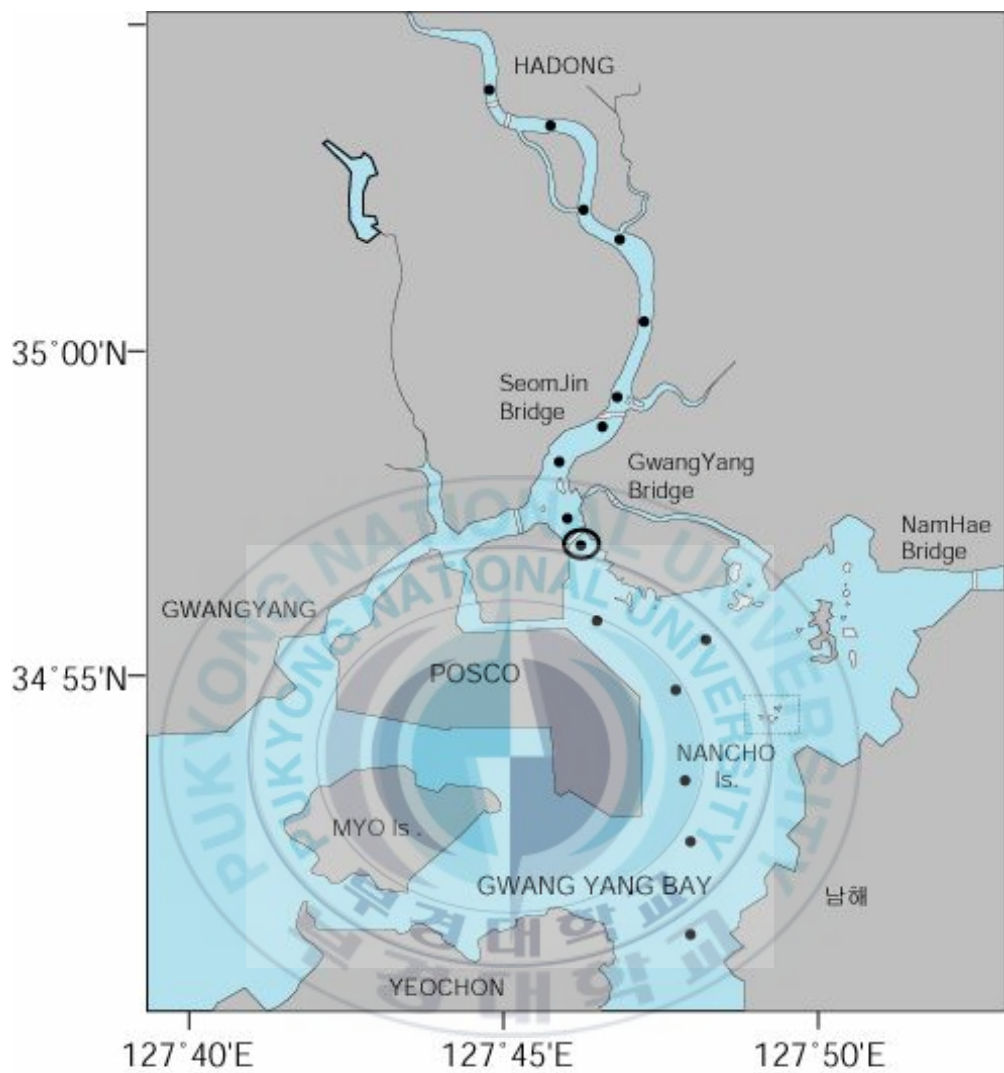


Fig. 1. Map showing the study area (◎ The continuing investigation, ● Investigation along the salinity gradient)

2. 현장조사 및 시료분석

2-1. 연속조사

조석에 따른 화학 성분의 시간적 변화를 파악하기 위해 건기와 우기에 각각 조사하였다. 건기는 2006년 3월 13일 14시부터 14일 14시까지 2시간 간격으로 25시간 동안, 우기는 2006년 7월 24일 14시부터 25일 14시까지 25시간 동안 현장관측 및 해수시료를 채취하였다. 조석에 따른 연속조사는 Fig. 1의 연속조사 정점에서 이루어졌다. 해수 시료는 표층(수면하 30cm)과 저층(바닥으로부터 1m 상부)에서 채수하였다. 분석용 시료는 현장에서 여과 후 Icebox에 넣어 실험실로 이동하여 분석시까지 냉동보관 하였다.

수온 (Temperature), 염분 (Salinity), 용존산소 (DO), 수소이온농도 (pH)는 수질측정기 (YSI, 650 MDS)로 현장에서 측정하였다. 부유물질 (SPM), 엽록소 (Chl-a) 및 영양염류 ($\text{DIN} = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, $\text{DIP} = \text{PO}_4^{3-}$, $\text{DSi} = \text{Si}(\text{OH})_4$)는 해양환경공정시험방법에 의해 분석하였다. 시간에 따른 수위변화는 국립해양조사원의 실시간 광양만 해역의 조석정보를 이용하였다 (Fig. 4).

2-2. 염분 경사에 따른 시료 채취

섬진강 하구와 광양만 주변에서 염분경사에 따른 영양염 분포특성 및 생지화학적 거동을 파악하기 위해 건기(2005년 3월, 2006년 3월, 2007년 3월)와 우기(2005년 6월, 8월, 2006년 7월) 총 6회에 걸쳐 채수하였다. 염분이 0인 구간에서 염분 경사가 생기지 않는 광양만(여수해안)까지 넓은 염분 구간에서 표층수를 채수하였고, 영양염류 분석용 시료는 채수 즉시 현장에서 여과한 후 Icebox에 넣어 실험실로 옮긴 다음 분석시까지 냉동보관 하였다.

조사정점은 지리적 위치를 고려하지 않고, 현장에서 염분을 측정하여 약 2~3 psu 정도의 염분간격에서 채수 지점을 선정하였다. flux 계산에 사용된 유량은

건설교통부의 수문자료를 참조하여 송정지점의 유량 (담수 유량만을 고려)을 이용하였다 (Fig. 4).

수온 (Temperature), 염분 (Salinity), 용존산소 (DO), 수소이온농도 (pH)는 수질측정기 (YSI, 650 MDS)로 현장에서 측정하였다. 부유물질 (SPM), 엽록소 (Chl-*a*) 및 영양염류 ($\text{DIN} = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, $\text{DIP} = \text{PO}_4^{3-}$, $\text{DSi} = \text{Si(OH)}_4$)는 해양환경공정시험방법에 의해 분석하였다.

2-3. 영양염의 flux계산

섬진강 하구와 광양만에서 영양염 플럭스는 Boyle et al. (1974), Officer(1978) 등이 제시한 모델을 이용하여 계산 할 수 있다. 이 모델에 의하면 하구에서 용존성분의 분포는 염분의 함수로 표현될 수 있다. 즉, 염분에 따른 용존성분의 분포 특성은 물질의 생지화학적 거동에 의한 것이다. 따라서 담수와 해수의 단성분 (end member)에서 농도 기울기는 하구에서 플럭스를 추정케 한다. 이류-확산을 고려한 물질 플럭스를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F = R[C-(S-S_r)dC/dS]$$

F ($\text{moles} \cdot \text{sec}^{-1}$) = flux of a dissolved component at any salinity S

R ($\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$) = river discharge

C ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)= concentration of a dissolved component at salinity S

S = salinity

S_r = salinity at riverine end-member

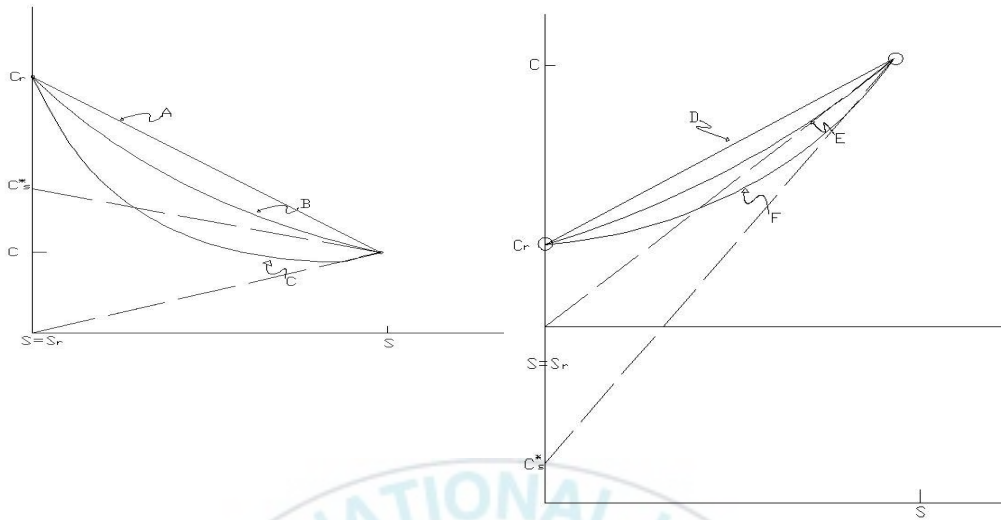


Fig. 2. Plots of concentration of dissolved constituent versus salinity(Officer,1978)

- a) $C_r > C$: A, conservative; B, nonconservative; C, no net flux out of the estuary
- b) $C_r < C$: D, conservative; E, no net flux into the estuary; F, net flux from ocean reservoir into the estuary

위 그림은 보존성(conservative) 및 비보존성(non-conservative) 물질의 분포 특성과 플럭스 계산방법에 대해 도시한 것이다. (a)의 경우 담수의 단성분(C_r)이 해양의 단성분(C)에 비해 높은 경우를 나타낸 것으로 하구 혼합 과정 동안 용존 성분이 단순히 희석되어 하구로 유입되면 직선의 경향(A)을 나타낸다. 그러나 다양한 생지화학적 작용에 의해 제거된다면 B, C의 분포 특성을 보인다.

보존성 성분의 경우 강, 하구, 해양의 관점에서 플럭스를 생각해 본다면 강에서 하구와 해양으로 유입되는 용존성분의 물질 플럭스는 담수의 단성분(C_r)에 강의 유량(R)을 곱해서 계산할 수 있다. 그러나 하구내에서 제거(공급)가 일어날 경우, 하구내에서 제거(공급) 플럭스를 산정해 주어야 정확한 물질 순환 플럭스를 추정할 수 있다. 해양의 단성분에서 접선의 합수를 구하면, 이 함수의 절편값은 염분이 "0"일 때의 가상적 농도(C^*_s)가 구해진다. 따라서 실제 강의 단성분(C_r)과 가성적인 단성분(C^*_s)간의 차이는 제거(공급)기작으로 발생하는 차이(net)

가 된다. 이 모델 식을 바탕으로 간단한 그림과 식으로 표현 하면 다음과 같다.

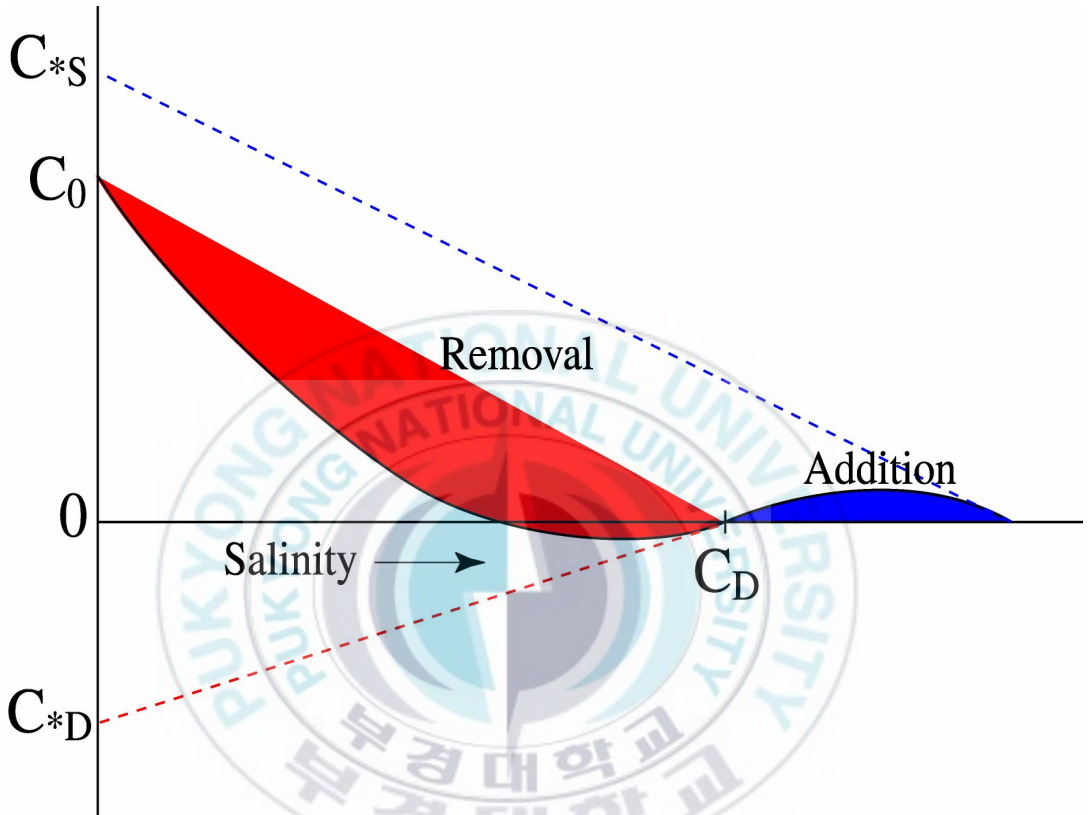


Fig. 3. Plot of removal and addition of dissolved constituent versus salinity

$F_{Riv} = R \times C_0$: 강에서 하구로의 플럭스

$F_{Est} = R \times C_s^*$: 하구에서 바다로의 플럭스

$F_{Rem} = R(C_D^* - C_0)$: 하구내에서 제거되는 플럭스 ($C_0 > C_D^*$)

$F_{In} = R(C_s^* - C_D^*)$: 하구내로 공급되는 플럭스 ($C_0 < C_s^*$)

$F_{Est} = F_{Riv} + F_{Rem} + F_{In}$

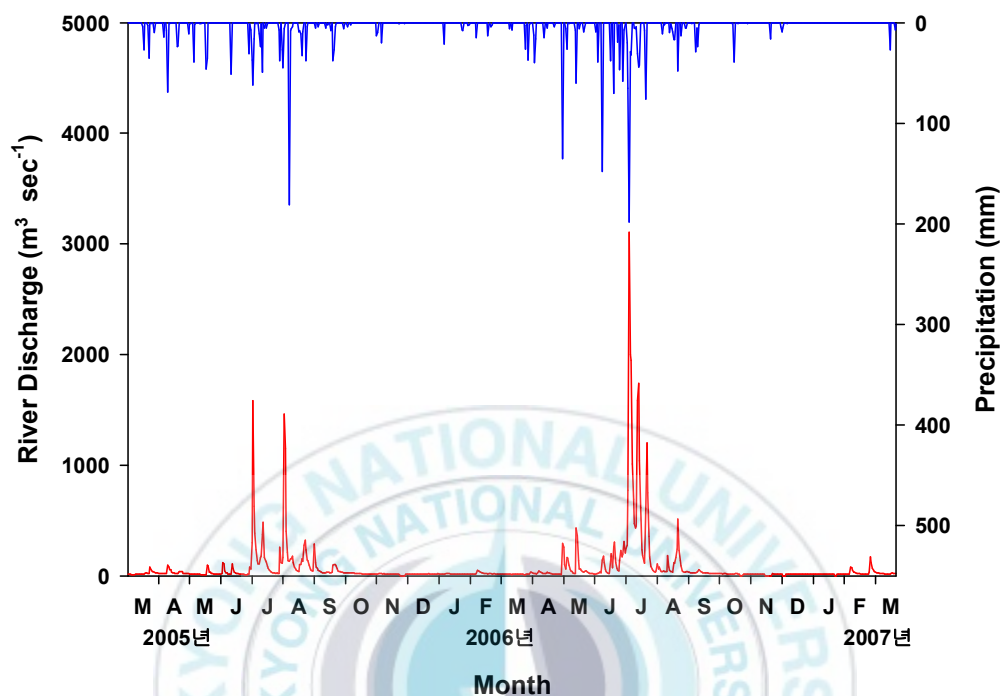


Fig. 4. River discharge and precipitation of Semjin River at Songjung, Chollanamdo (2005.3~2007.3)

Table 1. River discharge of Semjin River at Songjung, Chollanamdo (unit : $\text{m}^3 \text{sec}^{-1}$)

2005			2006		2007
March	June	August	March	July	March
15	17	132	14	100	15.5

III. 결과 및 고찰

1. 연속조사에 따른 물질 분포특성

조사시기 및 측정 결과는 건기와 우기로 나누어 Table 2에 나타났다. 그리고 각 결과의 시계열 변화특성은 Fig. 5와 Fig. 6에 나타냈고, 유량과 강수량은 Table 1과 Fig. 4에 나타냈다.

1-1. 건기 분포특성

2006년 3월 건기시 염분의 표층 범위는 20.54~31.03 (평균 24.56), 저층은 25.79~31.22 (평균 27.55) 였고, 표·저층간의 염분차는 평균 3.0으로 저층에서 고염이었다. 염분은 조석주기와 유사한 분포를 보였다. 이 등(1997)은 만조시에 창조류에 의해 외해의 해수가 유입되어 염분 농도는 높아지고, 간조시에는 낙조류에 의한 담수 유입으로 염분이 감소한다고 보고 하였다. 수온의 표층 범위는 7.37~8.84 (평균 8.16)였고, 저층은 8.10~8.81 (평균 8.55) 범위였다. 표층 수온은 간조시에 급속히 감소한 것으로 보아 담수의 영향을 크게 받은 것으로 판단된다. 수소이온농도의 표층 범위는 8.07~8.67 (평균 8.31), 저층은 8.03~8.52 (평균 8.21)로 표층과 저층이 서로 유사하게 분포했다.

부유물질의 농도 범위는 표층 5.35~24.80 mg L⁻¹ (평균 9.74 mg L⁻¹), 저층 5.80~30.70 mg L⁻¹ (평균 14.56 mg L⁻¹)이다. 부유물질은 간조시에 높은 농도를 보였다. 이는 창조와 낙조시 강한 조류 발생으로 해수와 담수의 조석 혼합에 의한 저층 퇴적물의 재부유 때문인 것으로 생각된다 (양 등, 1990년). 또한, 저층 퇴적물의 재부유로 형성되는 최대 혼탁수는 염분 침입의 선단부에서 형성되고, 그 중심은 조류에 따라 상·하류로 이동한다고 보고 하였다 (Lee and Kim, 1987). 클로로필-*a* 표층 농도는 3.57~9.42 $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 6.88 $\mu\text{g L}^{-1}$), 저층 농도는 3.21~10.16 $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 7.08 $\mu\text{g L}^{-1}$)이다. 표층과 저층이 만조시에는 낮은 농

도를 나타냈고, 간조시에는 높은 농도를 보였다.

암모니움은 표층 농도가 0.54~2.17 μM (평균 0.97 μM), 저층 농도가 0.62~2.84 μM (평균 1.37 μM)이다. 저층은 조석주기와 유사하게 분포했고, 간조시 클로로필-*a* 농도가 높을 때, 암모니움 농도는 낮았다. 이는 암모니움이 식물플랑크톤 성장에 필요한 주된 영양염원으로 이용되었음을 시사한다. 아질산염의 표층 농도는 0.34~0.71 μM (평균 0.55 μM), 저층 농도는 0.30~0.62 μM (평균 0.47 μM)로 분포한다. 표층과 저층 농도 분포는 만조시 저농도이고, 간조시 고농도를 나타냈다. 질산염의 표층 농도는 3.88~16.41 μM (평균 10.20 μM), 저층 농도는 3.54~10.16 μM (평균 7.42 μM)로 아질산염과 유사하게 분포했다.

반면, 인산염의 표층 농도는 0.25~0.48 μM (평균 0.37 μM), 저층 농도는 0.25~0.56 μM (평균 0.39 μM) 범위로 조석에 따른 뚜렷한 농도 변화를 보이지 않고 시간이 경과 할수록 증가되는 경향을 보였다. 규산염의 표층 농도는 1.68~9.83 μM (평균 3.84 μM), 저층 농도는 1.41~8.26 μM (평균 2.60 μM)로 나타났고, 표층은 간조시에 고농도를 보였다.

하루 동안 조석주기를 통한 물질 분포 특성을 파악하기에는 한계가 있었고, 특히 25시간 동안 인산염의 분포 특성을 파악하기에는 무리였다. 하지만 간조시에 고농도를 보인 클로로필-*a*, 아질산염, 질산염, 규산염은 이들이 육상기원물질임을 간접적으로 시사했다. 해류는 영양염을 공간적으로 재분포시키며, 조석이 강한 해양환경에서는 조석이 영양염의 이동과 분포에 영향을 미치는 것을 알 수 있다 (Choi, 1991; Choi et al., 1995).

1-2. 우기 분포특성

2006년 7월 관측시기는 많은 양의 강우와 다량의 담수가 방출되고 있었다 (Fig. 4). 염분의 표층 농도가 0.01~4.40 (평균 2.13), 저층 농도가 15.10~23.32 (평균 20.55) 범위로 표층수와 저층수간의 염분차는 평균 18.42로 매우 컸다. 수온의 표층 범위는 20.65~22.28 $^{\circ}\text{C}$ (평균 21.49 $^{\circ}\text{C}$), 저층 범위는 20.06~21.33 $^{\circ}\text{C}$ (평균 20.72 $^{\circ}\text{C}$)로 만조시에 표·저층이 큰 차이를 보였다. 수소이온농도는 표층

에서 7.62~8.25 (평균 7.96)로 분포했고, 저층에서 7.20~7.92 (평균 7.64)로 나타났다.

부유물질 농도는 표·저층이 각각 0.43~3.52 mg L⁻¹ (평균 2.15 mg L⁻¹), 2.65~11.85 mg L⁻¹ (평균 7.06 mg L⁻¹)의 농도 범위로 분포했다. 클로로필-*a* 표층의 농도는 0.55~1.67 µg L⁻¹ (평균 0.79 µg L⁻¹), 저층의 농도는 1.11~3.98 µg L⁻¹ (평균 2.22 µg L⁻¹)이다. 표층의 농도는 비교적 일정하고, 저층의 농도는 조석주기에 따라 변동하는 특성을 보였다.

암모니움은 표층의 농도 범위가 0.62~5.89 µM (평균 2.60 µM), 저층의 농도 범위는 3.85~10.49 µM (평균 5.95 µM)로 표·저층간의 평균 농도차가 3.35 µM였다. 아질산염은 표층의 농도가 0.46~0.89 µM (평균 0.65 µM)이고, 저층의 농도는 1.44~3.16 µM (평균 2.44 µM)이다. 표층은 비교적 일정한 농도 분포를 보였고, 저층은 간조시 저농도를 나타냈다. 표·저층간의 평균 농도차는 1.79 µM으로 나타났다. 질산염은 표층의 농도 범위가 66.79~78.73 µM (평균 75.77 µM), 저층은 38.51~71.07 µM (평균 53.33 µM)이고, 표·저층간의 평균 농도 차는 22.44 µM 이다.

인산염의 표층 농도는 1.32~2.19 µM (평균 1.61 µM), 저층 농도는 0.82~1.18 µM (평균 0.98 µM) 이다. 표·저층은 0.63 µM 의 농도차를 보였다. 규산염은 표층의 농도가 154.98~179.85 µM (평균 169.79 µM), 저층의 농도가 53.39~142.90 µM (평균 88.60 µM)이다. 표·저층의 평균 농도 차가 81.19 µM로 큰 차이를 보였다.

대체적으로 우기에는 용존화합성분들이 조석에 따른 분포 특성을 보이지 않았다. Fisher et al.(1988)은 하구역의 환경요인 중 큰 변화를 보이는 것이 염분이며, 염분 변화에 영향을 주는 것이 담수 유입량이라 보고한 바 있다. 표층수와 저층수 간의 염분 농도 차가 큰 것으로 보아 장마기간의 강우 영향으로 다량의 담수 유입에 의해 영양염류 또한 불규칙적으로 분포한 것으로 생각된다.

Table 2. Range and mean values of chemical constituents at an interval of 2 hours for 25 hours in the Seomjin River estuary

		Salinity	Temp.	pH	DO	SS	Chl-a	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si
			℃		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	ug L ⁻¹	Nutrient (ug-at L ⁻¹)					
March-06													
S	Min	20.54	7.37	8.07	10.06	5.35	3.57	0.54	0.34	3.88	5.64	0.25	1.68
	Max	31.03	8.84	8.67	16.35	24.80	9.42	2.17	0.71	16.41	18.01	0.48	9.83
	Average	24.56	8.16	8.31	12.30	9.74	6.88	0.97	0.55	10.20	11.73	0.37	3.84
	S. D.	2.77	0.54	0.16	2.16	5.03	1.61	0.49	0.10	3.55	3.56	0.09	2.51
B	Min	25.79	8.10	8.03	6.47	5.80	3.21	0.62	0.30	3.54	6.67	0.25	1.41
	Max	31.22	8.81	8.52	10.91	30.70	10.16	2.84	0.62	10.16	12.08	0.56	8.26
	Average	27.55	8.55	8.21	8.96	14.56	7.08	1.37	0.47	7.42	9.26	0.39	2.60
	S. D.	1.82	0.25	0.15	1.38	9.71	2.40	0.72	0.10	2.01	1.52	0.09	1.76
July-06													
S	Min	0.01	20.65	7.62	7.89	0.43	0.55	0.62	0.46	66.79	70.16	1.32	154.98
	Max	4.40	22.28	8.25	12.14	3.52	1.67	5.89	0.89	78.73	85.51	2.19	179.85
	Average	2.13	21.49	7.96	9.32	2.15	0.79	2.60	0.65	75.77	79.02	1.61	169.79
	S. D.	1.26	0.41	0.18	1.31	0.85	0.29	1.53	0.12	3.05	3.53	0.24	6.09
B	Min	15.10	20.06	7.20	5.60	2.65	1.11	3.85	1.44	38.51	46.65	0.82	53.39
	Max	23.32	21.33	7.92	13.26	11.85	3.98	10.49	3.16	71.07	76.57	1.18	142.90
	Average	20.55	20.72	7.64	7.06	7.06	2.22	5.95	2.44	53.33	61.71	0.98	88.60
	S. D.	2.35	0.30	0.23	2.09	2.78	0.88	1.89	0.56	10.21	8.95	0.11	26.67

(S=Surface, B=Bottom)

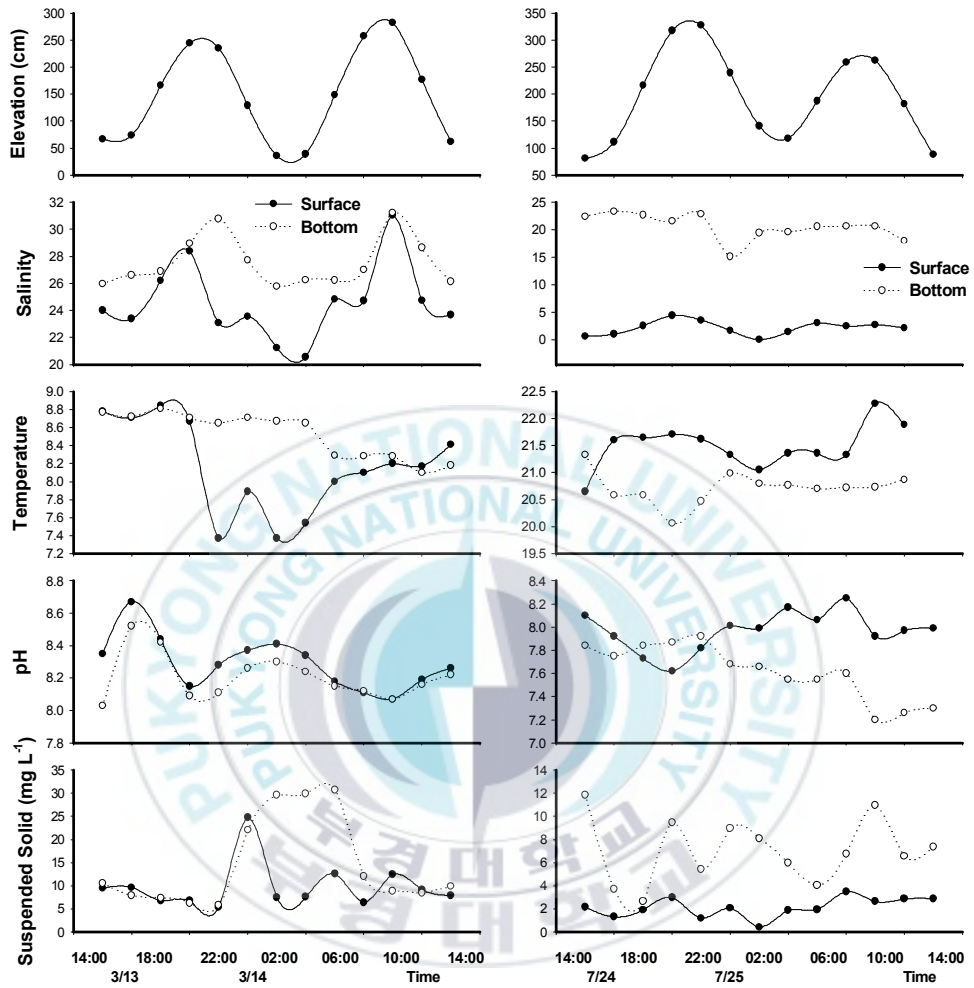


Fig. 5. Hourly variations of tide, salinity, temperature(°C), pH, SPM(mg L⁻¹) (The dry season and rainy season).

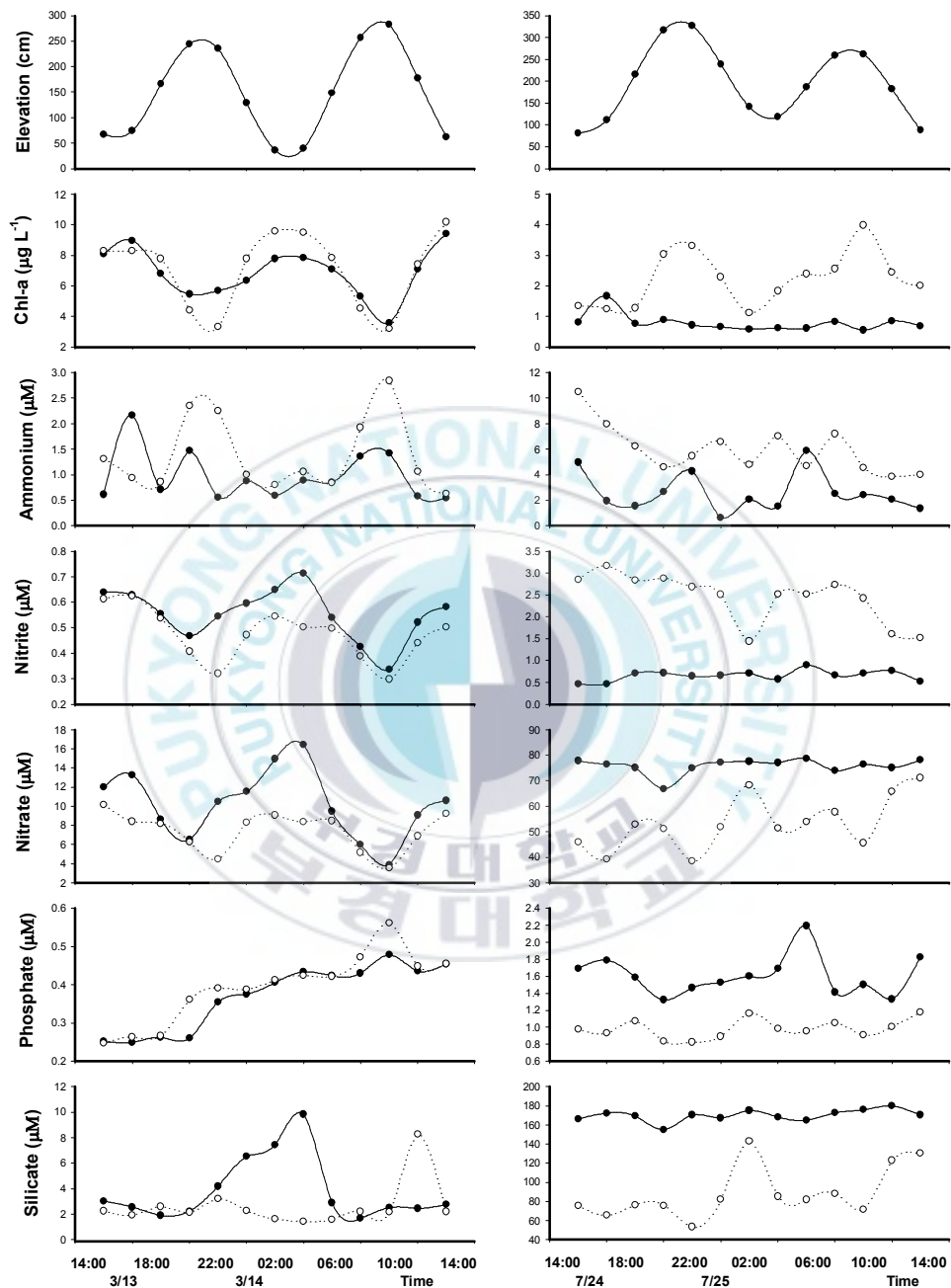


Fig. 6. Hourly variations of tide, Chl- α ($\mu\text{g L}^{-1}$), ammonium(μM), nitrite(μM), nitrate (μM), phosphate(μM) and silicate(μM). (The dry season and rainy season).

2. 염분경사에 따른 물리·화학적 농도 분포 특성

조사시기 및 측정 결과값은 건기와 우기로 나누어 Table 3, 4에 나타냈다. 각 결과의 시기별 농도분포 특성은 건기는 Fig. 7과 Fig. 8에 나타냈고, 우기는 Fig. 9와 Fig. 10에 나타냈다.

2-1. 건기 분포특성

2005년 3월

염분 범위는 0~33.27 (평균 20.43), 수온은 7.39~7.80 °C (평균 7.56 °C)로 분포했다. 수소이온농도는 8.16~8.35 (평균 8.25)의 범위로 염분이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다. 용존산소의 농도범위는 3.56~11.90 mg L⁻¹ (평균 5.62 mg L⁻¹)로 용존산소 역시 염분이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

부유물질의 농도 범위는 2.88~9.38 mg L⁻¹ (평균 6.20 mg L⁻¹), 클로로필-*a* 농도 범위는 1.50~13.75 µg L⁻¹ (평균 4.45 µg L⁻¹)로 염분 10~20 psu 사이에서 고농도를 나타냈다.

또한, 영양염류 중 DIN의 농도 범위는 5.24~97.87 µM (평균 51.03 µM)이고, 특이하게 암모니움은 염분 10~20 psu 변화 구간에서 저농도를 나타냈다. 아질산염과 질산염은 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈고, 광양만과 인접해 있는 하구입구로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 인산염의 농도 범위는 0.20~1.98 µM (평균 0.86 µM)로 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈다. 규산염의 농도 범위는 4.54~98.61 µM (평균 39.23 µM)로 초기혼합구간에서 하구입구까지 일정하게 감소하였다.

2006년 3월

염분 범위는 0.09~32.49 (평균 21.47)로 분포했고, 하구 전체가 고염으로 하구가 거의 바다화 현상을 보였다. 수온의 범위는 5.50~8.72 °C (평균 7.63 °C)로, 염분

이 증가 할수록 수온도 증가했다. 수소이온농도 분포 범위는 7.97~8.77 (평균 8.25)로 염분 약 5 psu 구간에서 최소값을 보였다. 용존산소 농도는 12.04~17.41 mg L⁻¹ (평균 14.70 mg L⁻¹)범위로 상부역에서 17.41 mg L⁻¹로 높았고, 광양만과 접해있는 하구 입구에서 12.04 mg L⁻¹으로 상대적으로 낮게 검출되었다.

부유물질의 농도 범위는 3.95~16.40 mg L⁻¹ (평균 6.81 mg L⁻¹)로 낙동강이나 금강에 비해 탁도가 낮았다. 클로로필-*a* 농도 범위는 2.90~9.19 µg L⁻¹ (평균 6.27 µg L⁻¹)이고, 염분 약 20~25 psu 구간에서 고농도를 보였다.

또한 영양염류 중 DIN은 3.37~69.23 µM (평균 22.47 µM)의 농도 범위였다. 암모니움은 염분 약 20~25 psu 구간에서 저농도로 나타났다. 아질산염과 질산염은 염분이 증가 할수록 감소했다. 인산염의 농도 범위는 0.14~0.75 µM (평균 0.28 µM)이고, 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈다. 규산염의 농도 범위는 0.51~32.31 µM (평균 8.02 µM)이고, 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈다.

2007년 3월

염분의 범위는 0.89~34.10 (평균 20.45)이고, 수온의 분포 범위는 10.36~11.18 °C (평균 10.73 °C)였다. 용존산소 농도 범위는 9.44~13.55 mg L⁻¹ (평균 11.76 mg L⁻¹)로 염분 약 10~20 psu 구간에서 고농도를 보였다.

부유물질은 3.87~37.56 mg L⁻¹ (평균 19.11 mg L⁻¹)로 다른 시기에 비해 약 4 배정도 높게 나타났다. 클로로필-*a* 농도 범위는 0.87~12.78 µg L⁻¹ (평균 3.49 µg L⁻¹)로 염분 약 10~20 psu 구간에서 고농도를 나타냈다.

또한 영양염류 중 DIN은 0.77~94.83 µM (평균 49.96 µM)의 농도 범위를 보였다. 암모니움은 염분 약 5 psu 구간에서 크게 증가한 후 하부 하구역으로 갈수록 감소했다. 아질산염과 질산염은 염분이 증가 할수록 감소했다. 인산염은 0.09~0.49 µM (평균 0.23 µM)의 농도 범위로 염분 약 10~25 psu 구간에서 크게 감소했다. 규산염의 농도범위는 0.76~62.82 µM (평균 20.53 µM)로 염분이 증가 할수록 그 농도는 감소했다.

2-2. 우기 분포특성

2005년 6월

염분 범위는 0~30.01 (평균 11.83)이고, 수온은 23.22~25.51 °C (평균 24.71 °C)로 염분이 증가함에 따라 감소하였다. 수소이온농도는 7.23~8.19 (평균 7.68)로 염분 약 5 psu 구간에서 7.23의 최소값을 나타내다가 염분이 증가함에 따라 증가했다. 용존산소 농도 범위는 6.74~10.15 mg L⁻¹ (평균 7.91 mg L⁻¹)였다.

부유물질의 농도 범위는 3.50~8.13 mg L⁻¹ (평균 5.71 mg L⁻¹)로 불규칙적으로 분포했다. 클로로필-a 농도 범위는 5.23~25.78 µg L⁻¹ (평균 10.16 µg L⁻¹)로 초기혼합구간에서 농도가 급격히 감소했다.

또한, 영양염류 중 DIN의 농도 범위는 10.18~176.20 µM (평균 98.85 µM)이고, 암모니움 농도는 염분 약 10~20 psu 구간에서 증가하는 경향을 보였다. 아질산염은 염분 약 10~20 psu 구간에서 증가했고, 질산염은 염분이 증가 할수록 일정하게 감소했다. 인산염의 농도 범위는 1.12~4.37 µM (평균 2.88 µM)로 특히, 다른 시기에 비해 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도였다. 규산염 농도 범위는 7.90~109.33 µM (평균 67.54 µM)로, 규산염 역시 염분 증가에 따라 감소했다.

2005년 8월

염분 범위는 0~21.34 (평균 7.90 °C), 수온의 범위는 22.00~25.99 °C (평균 24.16 °C)이다. 수소이온농도는 7.46~8.00 (평균 7.76)의 분포로 염분 약 1~2 psu 구간에서 최소값을 나타낸 후, 하부 하구역으로 갈수록 점점 증가했다. 용존산소 농도 범위는 7.18~9.76 mg L⁻¹ (평균 8.47 mg L⁻¹)이고, 염분이 증가 할수록 감소했다.

부유물질의 농도 범위는 1.51~8.95 mg L⁻¹ (평균 3.66 mg L⁻¹)이고, 염분이 0인 구간에서 8.95 mg L⁻¹로 최대값을 나타냈다. 클로로필-a 농도 범위는 0.45~3.91 µg L⁻¹ (평균 1.35 µg L⁻¹)로 담수와 접한 초기혼합구간에서 최대값을 나타

낸 후 염분 증가에 따라 감소했다.

또한, 영양염류 중 DIN은 35.45~108.69 μM (평균 65.36 μM)의 농도범위로 나타났다. 그 중 암모니움 농도는 염분 약 5~20 psu 구간에서 크게 증가했다. 아질산염은 염분이 증가함에 따라 그 농도도 증가했다. 반대로 질산염은 염분이 증가할수록 감소했다. 인산염의 농도 범위는 0.25~1.16 μM (평균 0.85 μM)이고, 염분 구간 약 5~20 psu 구간에서 고농도를 나타냈다. 규산염의 농도 범위는 80.65~165.86 μM (평균 137.04 μM)이며, 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도를 보였다.

2006년 7월

염분의 범위는 0.04~16.48 (평균 4.65)이고, 장마기간 동안 내린 다량의 강우량이 강물 배출량에 영향을 주어 광양만 주변이 거의 기수역으로 나타났다. 수온의 분포 범위는 21.3~23.44 $^{\circ}\text{C}$ (평균 22.03 $^{\circ}\text{C}$)이고, 수소이온농도는 7.49~8.45 (평균 7.97)의 범위로 염분이 증가할수록 증가했다. 용존산소 농도는 5.32~12.73 mg L^{-1} (평균 10.08 mg L^{-1})였다.

부유물질의 농도 범위는 1.42~7.03 mg L^{-1} (평균 3.50 mg L^{-1})로 다른 연안역에 비해 매우 낮았다. 클로로필-*a* 농도 범위는 0.68~8.89 $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 1.88 $\mu\text{g L}^{-1}$)로 염분이 증가할수록 클로로필-*a* 농도가 증가했다.

또한 영양염류 중 DIN은 55.87~80.14 μM (평균 75.57 μM)의 농도 범위로 암모니움 농도는 염분 약 10 psu 부근까지 고농도였다. 아질산염은 염분이 증가할수록 그 농도도 증가했다. 질산염은 아질산염과 반대로 염분이 증가할수록 감소했다. 인산염은 0.36~0.99 μM (평균 0.87 μM)의 농도 범위로 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도를 보였다. 규산염의 농도 범위는 78.19~166.97 μM (평균 139.12 μM)로 염분이 증가할수록 감소했다.

Table 3. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (The dry season).

		Salinity	Temp.	pH	DO	SS	Chl-a	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si
			℃		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	ug L ⁻¹				Nutrient (ug-at L ⁻¹)		
March-05													
	Min	0.00	7.39	8.16	3.56	2.88	1.50	0.98	0.14	2.78	5.24	0.20	4.54
	Max	33.27	7.80	8.35	11.90	9.38	13.75	3.57	1.40	94.55	97.87	1.98	98.61
	Average	20.43	7.56	8.25	5.62	6.20	4.45	2.07	0.64	48.32	51.03	0.86	39.23
	S. D.	11.84	0.13	0.07	2.39	1.79	4.10	0.74	0.41	32.91	32.94	0.53	
March-06													
	Min	0.09	5.50	7.97	12.04	3.95	2.90	0.04	0.13	2.55	3.37	0.14	0.51
	Max	32.49	8.72	8.77	17.41	16.4	9.19	11.05	1.85	61.73	69.23	0.75	32.31
	Average	21.47	7.63	8.25	14.70	6.81	6.27	2.02	0.71	19.75	22.47	0.28	8.02
	S. D.	11.06	1.10	0.19	1.98	3.03	2.03	2.87	0.50	19.95	22.31	0.19	11.52
March-07													
	Min	0.89	10.36		9.44	3.87	0.87	0.34	0.15	0.20	0.77	0.09	0.76
	Max	34.10	11.18		13.55	37.56	12.78	3.52	0.86	91.61	94.83	0.49	62.82
	Average	20.45	10.73		11.76	19.11	3.49	1.20	0.60	48.16	49.96	0.23	20.53
	S. D.	10.91	0.20		1.18	9.66	3.16	1.07	0.22	35.13	36.16	0.13	22.06

Table 4. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary (The rainy season).

		Salinity	Temp.	pH	DO	SS	Chl-a	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si
			°C		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	ug L ⁻¹	Nutrient (ug-at L ⁻¹)					
June-05													
	Min	0.00	23.22	7.23	6.74	3.50	5.23	2.60	0.25	6.56	10.18	1.12	7.90
	Max	30.01	25.51	8.19	10.15	8.13	25.78	6.75	2.02	170.80	176.20	4.37	109.33
	Average	11.83	24.71	7.68	7.91	5.71	10.16	4.45	1.41	94.24	98.85	2.88	67.54
	S. D.	9.98	0.62	0.31	0.82	1.39	5.17	0.87	0.42	50.67	50.82	1.00	28.72
August-05													
	Min	0.00	22.00	7.46	7.18	1.51	0.45	0.87	0.26	28.75	35.45	0.25	80.65
	Max	21.34	25.99	8.00	9.76	8.95	3.91	5.68	1.25	107.34	108.69	1.16	165.86
	Average	7.90	24.16	7.76	8.47	3.66	1.35	3.02	0.62	61.71	65.36	0.85	137.04
	S. D.	7.71	0.85	0.19	0.75	2.10	1.05	1.29	0.34	20.71	19.76	0.25	26.19
July-06													
	Min	0.04	21.30	7.49	5.32	1.42	0.68	0.22	0.19	52.74	55.87	0.36	78.19
	Max	16.48	23.44	8.45	12.73	7.03	8.89	3.17	1.79	79.61	80.14	0.99	166.97
	Average	4.65	22.03	7.97	10.08	3.50	1.88	1.69	0.73	73.14	75.57	0.87	139.12
	S. D.	5.17	0.51	0.25	1.59	1.58	1.94	1.14	0.52	6.96	5.99	0.15	24.40

3. 섬진강 하구에서 영양염의 시·공간적 분포특성

시기별 염분 경사도에 따른 물질 농도 분포 특성은 Table 2, 3에 나타났다.

전시기에 걸쳐 수온은 건기에 10℃ 안팎으로 분포했고, 부유물질과 높은 양의 상관성을 보였다. 우기에는 수온이 20℃ 이상으로 분포했다. 수소이온농도는 건기에 담수와 접해 있는 상부 하구역에서 높고 해양으로 갈수록 낮아졌다. 염분이 증가 할수록 감소함을 보였다. 이는 식물플랑크톤의 활발한 광합성 작용에 의한 영향으로 판단된다. 반면, 우기에는 반대로 염분이 증가 할수록 수소이온농도가 함께 증가했다. 용존산소는 2007년 3월을 제외하고는 전시기에 초기혼합구간에서 비교적 높았다.

부유물질은 2007년 3월에 다른 시기에 비해 농도가 3~4배 높았고, 이 시기를 제외하고는 평균 10 mg L⁻¹ 이하의 낮은 농도를 보였다. 클로로필-a는 건기에 염분 약 10~20 psu 구간에서 고농도였다. 이때, 암모니움 농도가 크게 감소했다. 이는 암모니움이 식물플랑크톤 성장에 필요한 주된 영양염원으로서 아질산염 및 질산염보다 먼저 선택적으로 이용되었기 때문이다 (Carpenter et al., 1972 ; McCarthy et al., 1977). 반면, 우기에 클로로필-a 농도는 초기혼합구간에서 급격한 감소를 보인 것으로 보아 염분 변화에 적응하지 못해 사멸한 것으로 생각된다. 특히 클로로필-a 농도는 2005년 6월에 담수와 접해 있는 곳에서 다른 시기에 비해 농도가 약 5배 이상 높았다. 이는 수온 상승, 일광시간 및 광도 등의 증가로 인해 식물플랑크톤이 성장하기에 좋은 조건이 갖추어졌기 때문인 것으로 판단된다.

영양염류 중 암모니움은 건기에 중간 염분 구간에서 제거되었고, 우기에는 이 구간에서 공급이 일어났다. 건기시 제거는 생물학적 영향으로 판단되고, 우기시 공급은 오염된 저층 퇴적물의 재용출, 혹은 다량의 강우로 인한 비점원 공급원에서 유입된 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 암모니아의 공급은 기초생산자를 포식하는 동물성플랑크톤의 최종 산물로서 분비되어 공급되기도 한다. 아질산염은 건기에 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도를 보였고, 우기에는 2005년 6월을 제외하고는 해양과 접해있는 광양만 부근에서 고농도를 보여 각각의 유입원

이 시기에 따라 달라짐을 시사했다. 질산염은 전시기에 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈고, 대부분 염분과 보존적인 거동을 보였다.

인산염은 건기에 대부분 중간 염분 구간에서 제거되었다. 특히, 2007년 3월에는 용존산소가 풍부하고 부유물질 농도가 높은 중간 염분 구간에서 입자에 흡착되어 제거된 것으로 판단된다. 또한 인산염은 식물플랑크톤에 의해서 제거되는 것으로 알려져 있다 (Froelich et al., 1985). 반면, 인산염은 우기시 중간 염분 구간에서 공급되었다. 특이하게 2005년 6월에 담수와 인접해 있는 초기혼합구간에서 다른 시기에 비해 농도가 3~4배 높았다. 이는 농사철 사용된 비료 성분이 강우에 유출되어 영향을 미친 것으로 생각된다. 규산염은 전시기에 걸쳐 담수와 접해있는 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈다. 건기시 대부분 하구내에서 제거되었고, 우기시 염분과 보존적인 거동을 보였다.

질산염과 규산염은 상부 하구역에서 고농도로 나타나 공급원이 섬진강이라는 기존의 연구 결과와 일치하였다. 하지만 인산염은 광양만에서 공급된다는 기존의 연구 결과(권, 2002)와 일치하지 않았다. 인산염은 대부분 담수와 접해 있는 상부 하구역에서 고농도를 보였고, 특히 우기에 상부 하구역에서 고농도를 보였다. 유일하게 2007년 3월에 광양만 입구에서 고농도를 보였다. 인산염의 다양한 분포 특성 및 공급원에 대해서는 좀더 구체적이고 체계적인 분석이 이루어져야 할 것이다.

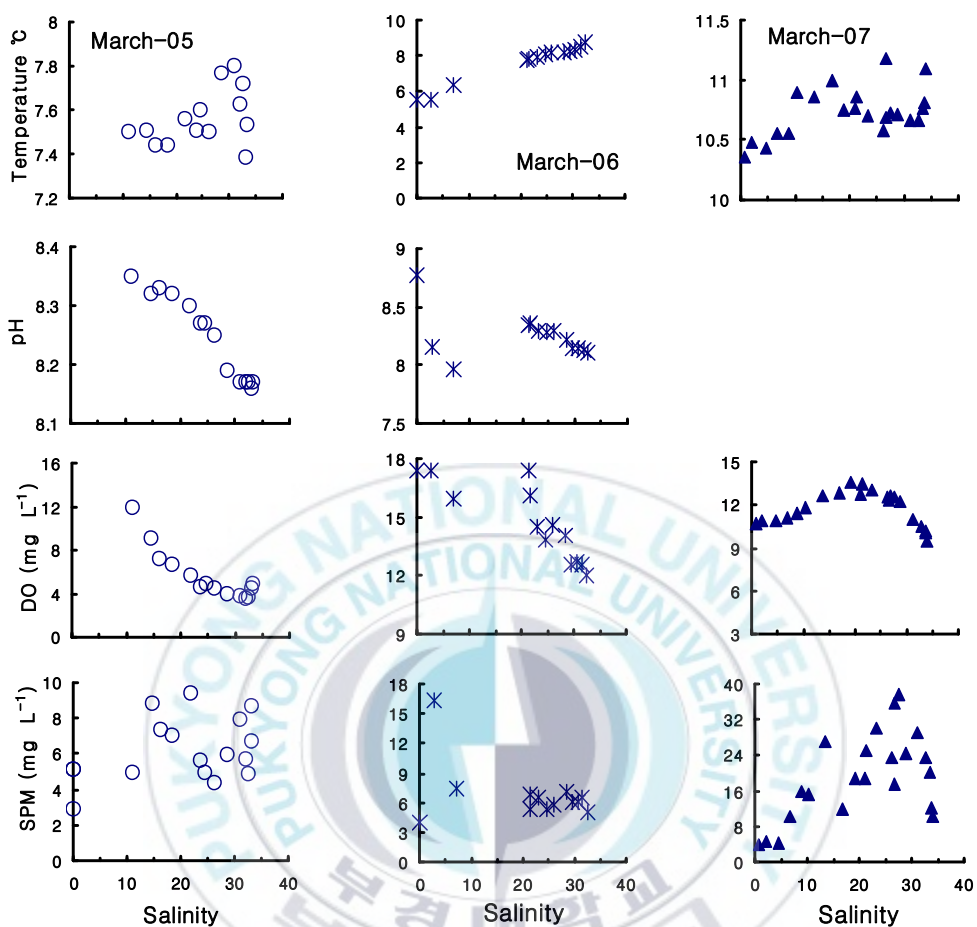


Fig. 7. Relationship of temperature(°C), pH, DO (mg L⁻¹), SPM (mg L⁻¹) with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (the dry season).

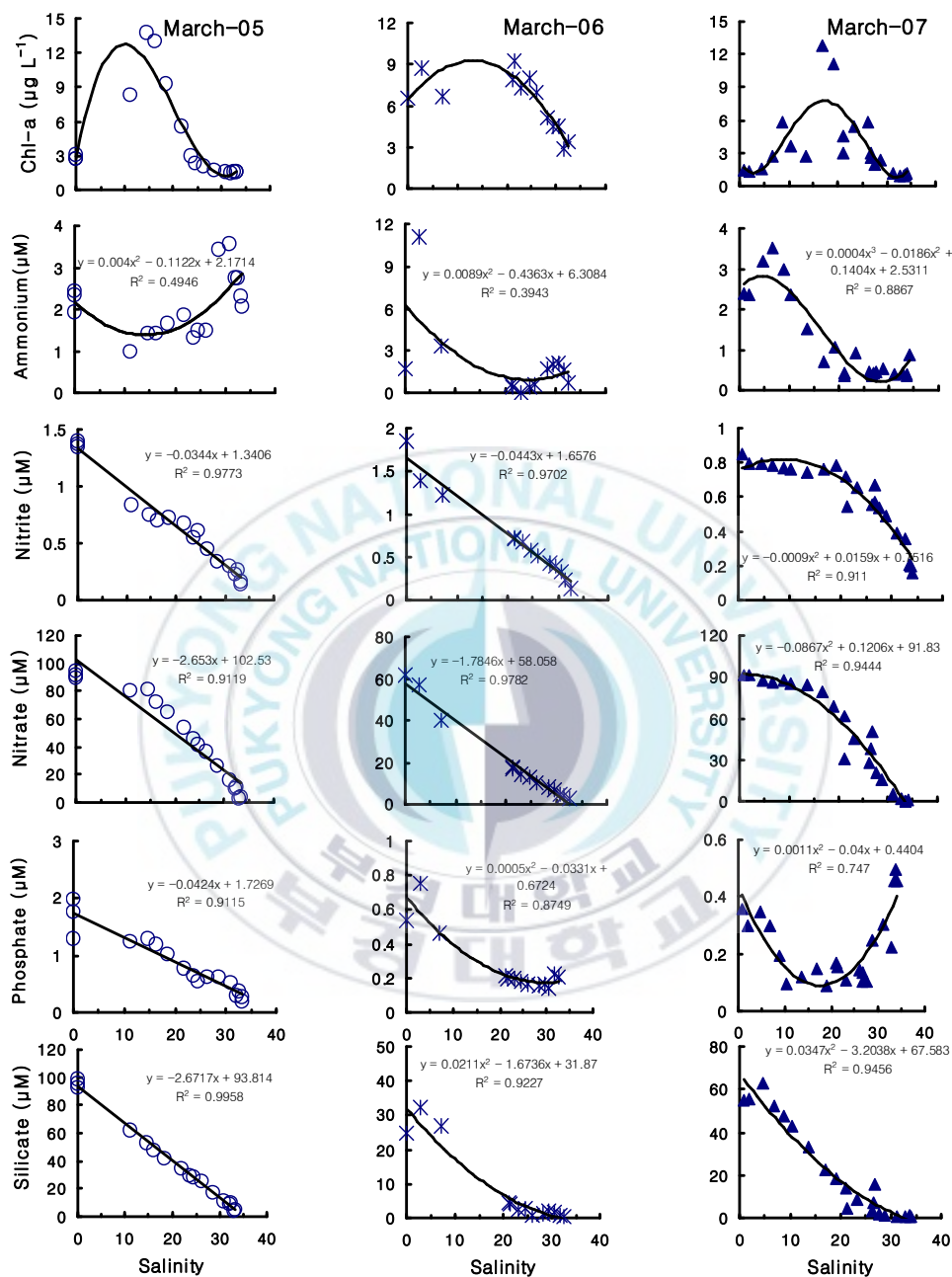


Fig.8. Relationship of Chl-a ($\mu\text{g L}^{-1}$), ammonium (μM), nitrite (μM), nitrate (μM), phosphate (μM), silicate (μM) with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (the dry season).

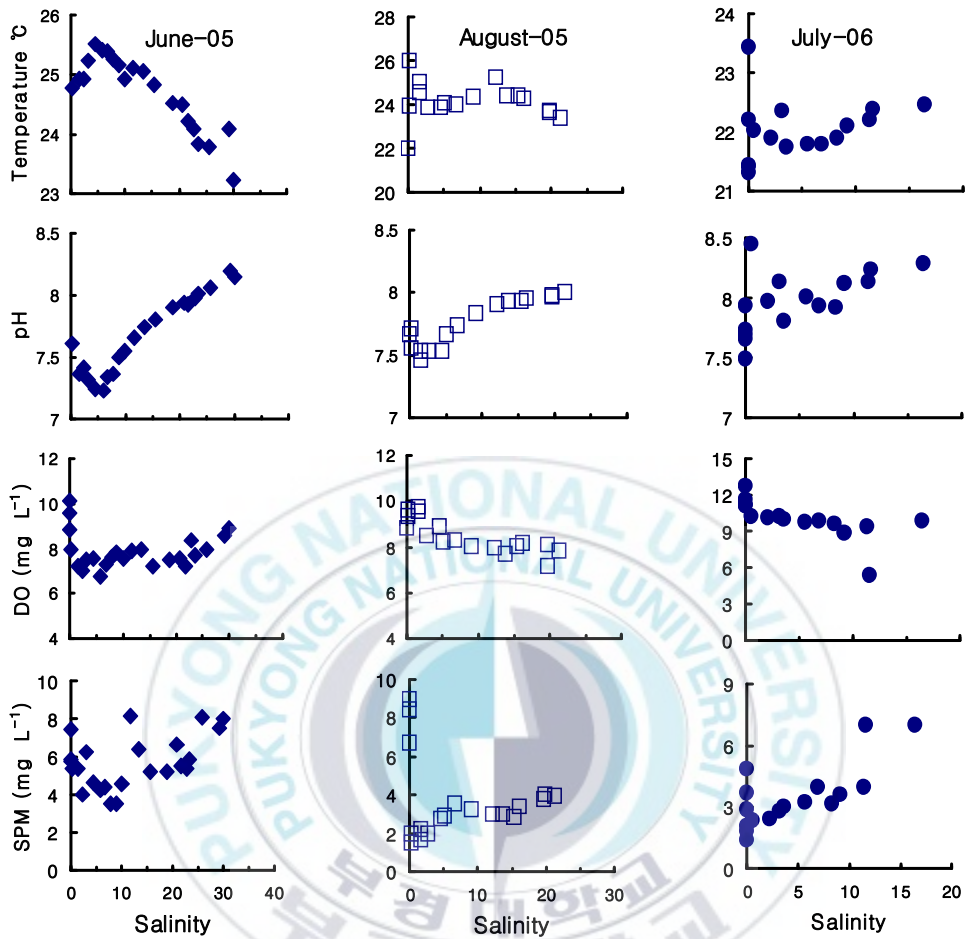


Fig. 9. Relationship of temperature (°C), pH, DO (mg L⁻¹), SPM (mg L⁻¹) with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (the rainy season).

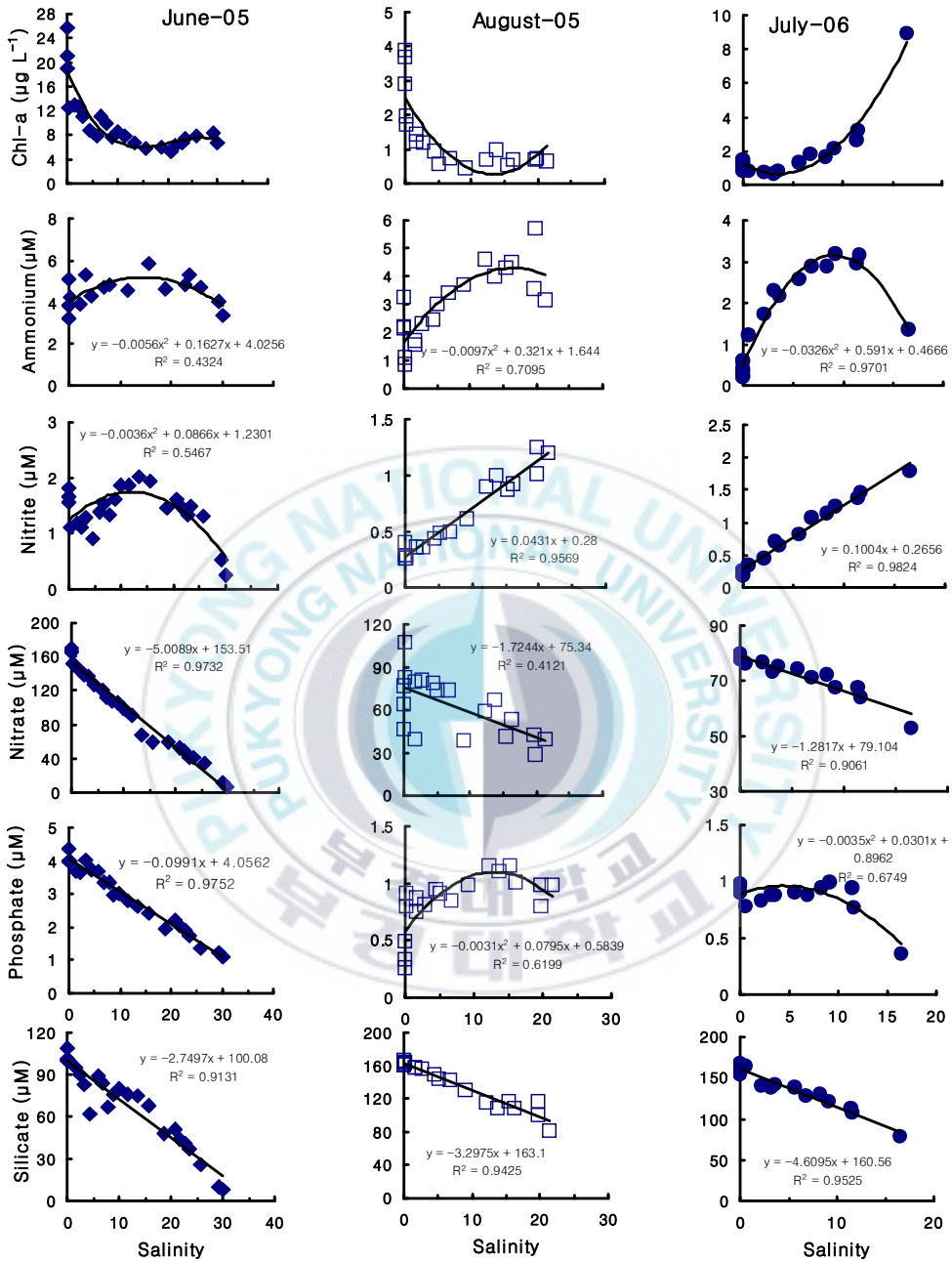


Fig. 10. Relationship of Chl-*a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), ammonium (μM), nitrite (μM), nitrate (μM), phosphate (μM), silicate (μM) with salinity in the surface water of Seomjin River Estuary (the rainy season).

4. 섬진강 하구역에서 영양염의 거동양상과 flux 추정

제시한 식과 그림(Fig. 2 및 Fig. 3)를 이용하여 flux를 계산하였고, 계산된 영양염의 flux는 Table 5에 요약하였다.

담수를 통해 섬진강 하구로 유입되는 영양염의 일평균 flux (F_{Riv})는 암모니움의 경우 건기시 $0.065 \text{ tons day}^{-1}$ 였고, 우기시 $0.174 \text{ tons day}^{-1}$ 였다. 아질산염은 건기시 $0.024 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $7.625 \text{ tons day}^{-1}$ 가 담수로부터 유입되었다. 질산염은 건기시 $1.478 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $7.625 \text{ tons day}^{-1}$ 가 담수로부터 유입되었다. DIN은 건기시 $1.567 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $7.837 \text{ tons day}^{-1}$ 가 유입되었고, 인산염은 건기시 $0.034 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.190 \text{ tons day}^{-1}$, 규산염은 건기시 $2.119 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $31.939 \text{ tons day}^{-1}$ 가 담수를 통해 섬진강 하구로 유입되었다. 건기 보다 우기에 많은 양의 플럭스가 담수로부터 유입됨을 알 수 있었다.

하구를 통해 광양만으로 배출되는 영양염의 일평균 flux (F_{Est})는 암모니움의 경우 건기시 $-0.046 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.705 \text{ tons day}^{-1}$ 였다. 아질산염은 건기시 $0.029 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $7.625 \text{ tons day}^{-1}$, 질산염은 건기시 $2.139 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $7.625 \text{ tons day}^{-1}$ 가 광양만으로 배출되었다. DIN은 건기시 $2.122 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $8.785 \text{ tons day}^{-1}$ 이 광양만으로 배출되었고, 인산염은 건기시 $0.014 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.469 \text{ tons day}^{-1}$, 규산염은 건기시 $1.260 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $31.939 \text{ tons day}^{-1}$ 로 우기시 광양만으로 배출되는 양이 많았다.

또한 섬진강 하구에서 공급된 영양염의 일평균 flux (F_{In})은 암모니움이 건기시 $0.037 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.532 \text{ tons day}^{-1}$ 이었다. 아질산염은 건기시 $0.005 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 공급된 양이 없었다. 질산염은 건기시 $0.661 \text{ tons day}^{-1}$ 으로 우기시 공급된 양이 없었다. DIN은 건기시 $0.703 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.948 \text{ tons day}^{-1}$ 가 하구내에서 공급되었다. 인산염은 건기시 공급된 양이 없었고, 우기시 $0.279 \text{ tons day}^{-1}$ 이 하구내에서 공급되었고, 규산염은 하구내에서 공급된 양이 없었다.

하구내에서 제거된 영양염의 일평균 flux (F_{Rem})은 암모니움이 건기시 $-0.147 \text{ tons day}^{-1}$ 로 우기시에는 제거된 양이 없었다. 아질산염과 질산염은 또한 하구내

에서 제거된 양이 없었고, DIN은 건기에 $-0.147 \text{ tons day}^{-1}$, 우기에는 제거된 양이 없었다. 인산염은 건기시 $-0.020 \text{ tons day}^{-1}$, 규산염은 건기시 $-0.860 \text{ tons day}^{-1}$ 로 우기에는 제거된 양이 없었다.

암모니움은 건기에 제거 형태를 보였고, 우기에 공급 형태를 나타냈다. 아질산염은 2007년 3월에 공급 형태를 제외하고는 대부분 염분과 보존적인 거동을 보였다. 질산염 또한, 2007년 3월에 공급 형태를 제외하고는 염분과 보존적인 거동을 보였다. 인산염의 경우 건기에 대부분 제거, 우기에 공급되었다. 규산염 또한 건기에 제거 형태를 보였고, 우기에 염분과 보존적인 거동을 보였다.

섬진강 하구에서 영양염은 건기에는 제거되고, 우기에는 공급됨을 알수 있다.



Table 5. Flux of nutrients in the Seomjin River estuary

항목	시기	F_{Riv}	F_{In}	F_{Rem}	F_{Est}	F_{In}/F_{Riv}	F_{Rem}/F_{Riv}	F_{Est}/F_{Riv}
		tons day ⁻¹				%		
NH_4^+-N	2005.3	0.040	0	-0.096	-0.056	0	-239	-139
	2006.3	0.109	0	-0.175	-0.067	0	-161	-61
	2007.3	0.045	0.111	-0.169	-0.015	246	-378	-32
	mean	0.065	0.037	-0.147	-0.046	57	-228	-71
	2005.6	0.083	0.096	0	0.177	114	0	212
	2005.8	0.403	0.410	0	0.813	102	0	202
	2006.7	0.035	1.090	0	1.125	3107	0	3207
	mean	0.174	0.532	0	0.705	306	0	406
NO_2^--N	2005.3	0.025	0	0	0.025	0	0	100
	2006.3	0.032	0	0	0.032	0	0	100
	2007.3	0.016	0.016	0	0.032	100	0	200
	mean	0.024	0.005	0	0.029	22	0	122
	2005.6	3.455	0	0	3.455	0	0	100
	2005.8	9.953	0	0	9.953	0	0	100
	2006.7	9.469	0	0	9.469	0	0	100
	mean	7.625	0	0	7.625	0	0	100
NO_3^--N	2005.3	1.669	0	0	1.669	0	0	100
	2006.3	1.045	0	0	1.045	0	0	100
	2007.3	1.720	1.983	0	3.701	115	0	215
	mean	1.478	0.661	0	2.139	45	0	145
	2005.6	3.455	0	0	3.455	0	0	100
	2005.8	9.953	0	0	9.953	0	0	100
	2006.7	9.469	0	0	9.469	0	0	100
	mean	7.625	0	0	7.625	0	0	100
DIN	2005.3	1.735	0	-0.096	1.639	0	-6	94
	2006.3	1.185	0	-0.175	1.010	0	-15	85
	2007.3	1.781	2.108	-0.169	3.718	118	-10	209
	mean	1.567	0.703	-0.147	2.122	45	-9	135
	2005.6	3.573	1.345	0	4.916	38	0	138
	2005.8	10.406	0.410	0	10.816	4	0	104
	2006.7	9.533	1.090	0	10.623	11	0	111
	mean	7.837	0.948	0	8.785	12	0	112
$PO_4^{3-}-P$	2005.3	0.067	0	0	0.067	0	0	100
	2006.3	0.019	0	-0.013	0.005	0	-71	29
	2007.3	0.016	0	-0.046	-0.030	0	-283	-183
	mean	0.034	0	-0.020	0.014	0	-58	42
	2005.6	0.188	0	0	0.188	0	0	100
	2005.8	0.129	0.619	0	0.747	481	0	581
	2006.7	0.255	0.217	0	0.471	85	0	185
	mean	0.190	0.279	0	0.469	146	0	246
SiO_2-Si	2005.3	3.459	0	0	3.459	0	0	100
	2006.3	0.837	0	-0.486	0.351	0	-58	42
	2007.3	2.061	0	-2.093	-0.032	0	-102	-2
	mean	2.119	0	-0.860	1.260	0	-41	59
	2005.6	4.251	0	0	4.251	0	0	100
	2005.8	52.061	0	0	52.061	0	0	100
	2006.7	39.506	0	0	39.506	0	0	100
	mean	31.939	0	0	31.939	0	0	100

IV. 결 론

섬진강 하구역에서 강수량과 담수 유입량은 계절적으로 큰 변화를 보였다. 대체로 7월과 8월(우기)에 강우가 집중적으로 분포함에 따라 하계에는 다량의 담수가 하구역으로 유입되었다. 이에 따라 하구역의 염분이 건기에 평균 20 이상, 우기에는 10이하로 감소하였다.

조석 주기에 따른 연속조사 결과, 전체적으로 갈수기 때 조석과 두드러진 특징을 보였고, 염분은 조석 주기와 유사하게 변동하였다.

건기에는 부유물질과 엽록소 및 질산염, 규산염이 간조시 고농도를 보여 육상 기원물질임을 시사했다. 우기에는 다량의 담수 유입으로 표·저층의 염분 차이가 크게 나타났고, 전반적으로 조석에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 하루동안 조석 주기를 통한 물질 분포 특성을 파악하기에는 한계가 있었고, 특히 인산염의 분포 특성을 파악하기에는 무리였다. 조석에 따른 연속조사는 하루 주기보다는 좀더 긴 시간 연속 조사가 이루어져야 할 것이다.

염분 경사도에 따른 물질 분포 특성을 살펴보면, 부유물질은 2007년 3월에 다른 시기에 비해 농도가 3~4배 높았고, 이 시기를 제외하고는 평균 10 mg L^{-1} 이하의 낮은 농도를 보였다. 클로로필-a 농도는 건기에 중간 염분구간 (10~20 psu)에서 가장 높게 나타났고, 암모니움은 제거되었다. 인산염은 2005년 3월을 제외하고는 건기에 제거됨을 보였고, 특히 2007년 3월에 뚜렷이 제거됨을 보였다 (Fig. 8). 규산염 또한 건기에 2005년 3월을 제외하고 제거됨을 보였다. 암모니움, 규산염의 제거는 생물학적인 영향으로 판단된다. 하지만 인산염의 경우, 생물학적인 영향 뿐만 아니라 고탁도시(2007년 3월)에 인산염의 뚜렷한 제거로 보아 입자에 흡착되어 제거되었음을 알 수 있다. 그러나 영양염의 거동이 우기에는 반대의 경향으로 대부분 공급되었다. 암모니움의 공급은 오염된 저층 퇴적물의 재용출, 혹은 다량의 강우로 인한 하구 주변의 비점원 공급원에서 유입된 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 암모니아의 공급은 기초생산자를 포식하는 동물성플랑크톤의 최종 산물로서 분비되어 공급되기도 한다. 인산염 또한 우기에 공급 형태를 나타냈고, 특히 2005년 6월에 담수와 인접해 있는 초기혼합구간에서 다른 시기에

비해 농도가 3~4배 높았다. 이는 농사철 사용된 비료 성분이 강우에 유출되어 영향을 미친 것으로 생각된다. 질산염과 규산염은 담수와 접해 있는 상부 하구역에서 높은 농도를 나타내어 공급원이 섬진강임을 알수있다.

flux를 추정한 결과, 섬진강 하구를 통해 남해연안으로 배출되는 일평균 플럭스 (F_{Est})는 용존무기질소의 경우 건기시 $2.122 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $8.785 \text{ tons day}^{-1}$ 의 양이 남해연안으로 배출되었고, 인산염은 건기시 $0.014 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.469 \text{ tons day}^{-1}$, 규산염은 건기시 $1.260 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $31.939 \text{ tons day}^{-1}$ 의 양이 남해연안으로 배출되었다. 해양으로 배출되는 플럭스 양은 건기 보다 우기에 배출되는 양이 많았다. 건기에는 암모니움, 인산염, 규산염이 다양한 생지화학적 반응을 통해 중간 하구역에서 대부분 제거되어 남해연안으로 배출되는 영양염 플럭스 양이 적은 것으로 판단된다. 반면, 우기에는 영양염이 중간 하구역에서 공급형태를 보이거나 염분에 보존적인 거동을 보여 영양염의 플럭스가 높은 것으로 판단된다.

담수로부터 유입되는 영양염은 하구역의 부영양화를 일으키고, 남해안의 적조 발생을 야기시켜 해양생태계에 영향을 준다. 연안의 오염을 관리하기 위해서는 하구역에서 일어나는 다양한 생지화학적 순환을 해석하는 보다 체계적이고 종합적인 연구가 필요하다. 따라서 물리, 화학, 생물학적 연구가 동시에 수행되어야 하며, 무기화합물 뿐만 아니라 유기화합물 분포 특성 또한 함께 병행되어 연구되어야 할 것이다.

V. 요 약

섬진강 하구역에서 25시간 조석주기에 따른 영양염의 시·공간적 변화 양상 및 염분 경사에 따른 영양염 분포 특성을 파악하고 섬진강 하구역에서 영양염 flux를 추정했다.

연속조사는 건기(2006년 3월)와 우기(2006년 7월)에 실시하였고, 염분 경사에 따른 조사 또한 건기(2005년 3월, 2006년 3월, 2007년 3월)와 우기(2005년 6월, 8월, 2006년 7월) 총 6회 실시하였다.

조석에 따른 연속 조사 결과, 건기의 경우 염분은 조석 주기와 유사하게 변동하였고, 부유물질과 클로로필-a는 간조시에 고농도로 나타났다. 영양염 중 질산염과 규산염 역시 간조시에 고농도로 나타나 이들 물질이 육상기원물질임을 알 수 있었다.

염분 경사에 따른 영양염 분포를 보면, 암모니움은 건기에 중간 염분 구간에서 제거되었고, 이때 클로로필-a 농도는 증가했다. 이것은 암모니움이 식물플랑크톤 성장에 필요한 주된 영양염원으로서 아질산염 및 질산염보다 먼저 선택적으로 이용된 것으로 판단된다. 우기시 암모니움은 이 염분 구간에서 공급이 일어났다. 암모니움의 공급은 오염된 저층 퇴적물의 재용출, 혹은 다량의 강우로 인한 비점원 공급원에서 유입된 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 암모니아의 공급은 기초생산자를 포식하는 동물성플랑크톤의 최종 산물로서 분비되어 공급되기도 한다. 아질산염은 건기에 담수와 접해 있는 초기혼합구간에서 고농도를 보였고, 우기에는 2005년 6월을 제외하고는 해양과 접해있는 광양만 부근에서 고농도를 보여 각각의 유입원이 시기에 따라 달라짐을 시사했다. 질산염은 전시기에 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈고, 대부분 염분과 보존적인 거동을 보였다. 인산염은 건기에 대부분 중간 염분 구간에서 제거되었다. 특히, 2007년 3월에는 용존산소가 풍부하고 부유물질 농도가 높은 중간 염분 구간에서 입자에 흡착되어 제거된 것으로 판단된다. 그 외 시기에 인산염은 식물플랑크톤에 의해서 제거되는 것으로 판단된다. 그러나 우기시에는 인산염이 중간 염분 구간에서 공급되었다. 2005년 6월에 담수와 인접해 있는 초기혼합구간에서 다른 시기에 비해 농도가 3~4배 높았

다. 이는 농사철 사용된 비료 성분이 강우에 쓸려 내려와 영향을 미친 것으로 생각된다. 규산염은 전시기에 걸쳐 담수와 접해있는 초기혼합구간에서 고농도를 나타냈다. 건기에는 대부분 하구내에서 제거되었고, 우기에는 염분과 보존적인 거동을 보였다.

flux를 추정된 결과, 섬진강 하구를 통해 남해연안으로 배출되는 일평균 플럭스 (F_{Est})는 용존무기질소의 경우 건기시 $2.122 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $8.785 \text{ tons day}^{-1}$ 이 광양만으로 배출되었고, 인산염은 건기시 $0.014 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $0.469 \text{ tons day}^{-1}$, 규산염은 건기시 $1.260 \text{ tons day}^{-1}$, 우기시 $31.939 \text{ tons day}^{-1}$ 의 양이 남해연안으로 배출되었다. 해양으로 배출되는 플럭스 양은 건기 보다 우기에 배출되는 양이 많았다. 건기시에는 암모니움, 인산염, 규산염이 다양한 생지화학적 반응을 통해 중간 하구역에서 대부분 제거되어 남해연안으로 배출되는 영양염 플럭스 양이 적은 것으로 판단된다. 반면, 우기시에는 영양염이 중간 하구역에서 공급형태를 보이거나 염분에 보존적으로 혼합하였기 때문에 영양염의 플럭스가 높은 것으로 판단된다.

키워드 : 섬진강, 하구역, 영양염, 플럭스, 조석, 염분

VI. 감사의 글

논문이 나오기까지 지속적인 관심과 세심한 배려로 지도해 주신 이석모 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 부족한 제 논문을 심사해주신 김일규 교수님과 이태윤 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 늘 관심을 가지고 논문에 대한 지도를 아끼시지 않았던 이재성 박사님, 김성수 박사님, 김성길 박사님께도 깊은 감사를 드립니다. 힘이 되는 한마디와 자신감을 북돋아주신 이원찬 박사님, 정래홍 박사님, 오현택 박사님, 엄기혁 박사님, 문효방 박사님, 최민규 박사님, 유준 박사님께도 감사의 마음을 전합니다.

과학적인 사고와 합리적인 사고를 일깨워주신 장석우 박사님, 황동운 박사님, 홍석진 박사님, 박성은 박사님, 윤상필 박사님 그리고 많은 조언과 도움을 주신 하천 및 해양생태실험실 영운선배, 봉균선배, 문보선배, 영애, 혜현, 혜옥, 종명, 혜민, 자리아에게도 감사의 글을 남깁니다. 함께 생활하며 많은 도움을 주신 수산과학원 환경분석 실험실 경희, 정선, 현성, 윤빈, 지남, 석원, 유진, 미숙, 현주, 영주오빠 그리고 많은 고민을 함께 나누고 따뜻한 충고와 격려를 해준 지은, 재현, 다정, 연정, 지영이에게 감사의 마음을 전하며, 생활의 활력소가 되어준 소중한 친구들에게 감사의 마음을 띄웁니다.

부족한 저를 믿고 든든한 방패막이가 되어준 민준씨와 그동안 사랑으로 지켜봐 주신 우리 부모님, 오빠, 올케언니, 큰언니, 큰형부, 작은언니, 작은형부 사랑스런 조카들, 모든 친지분들께 고마움과 함께 사랑의 마음을 전합니다.

VII. 참고문헌

- 건설교통부, 2001. 한국수문조사연보.
- 권기영, 이평강, 박 철, 문창호, 박미옥, 2001. 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 동·식물플랑크톤의 현존량 및 종조성. 한국해양학회지, 6, 93-102.
- 권기영, 김창훈, 강창근, 문창호, 박미옥, 양성렬, 2002. 생물검정실험에 의한 섬진강 하구역 식물플랑크톤 성장의 제한영양염 평가. 한수지, 35(5), 455-462.
- 권기영, 문창호, 강창근, 김영남, 2002. 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 입자성 유기물질의 분포. 한수지, 35(1), 86-96.
- 권기영, 문창호, 이재성, 양성렬, 박미옥, 이필용, 2004. 섬진강 하구역에서 영양염의 하구내 거동과 플럭스. 한국해양학회지, 9(4), 153-163.
- 김동화, 박용철, 이효진, 손주원, 2004. 한강 기수역에서 염분구배에 따른 지화학적 특성 변화. 한국해양학회지, 9(4), 196-203.
- 김종구, 1998. 다변량 해석기법에 의한 금강 하구역의 수질평가. 한국환경과학회지, 제7권(제5호), 591-598.
- 김종구, 강 훈, 2002. 금강 하구역에서 영양염 거동에 대한 조석 및 담수 유출의 영향. 한국환경과학회지, 11(6), 519-528.
- 문창호, 권기영, 1994. 낙동강 하구역 입자성 유기 규소의 계절적 변화, 한국해양학회지, 29, 5-16
- 문창호, 양한섭, 이광우, 1996. 동해 극전선역의 영양염류 순환 과정 I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계. 한국수산학회지, 29, 503-526.
- 박 철, 이평강, 양성렬, 2002. 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회지, 7(2), 51-59.
- 양성렬, 송환석, 문창호, 권기영, 양한섭, 2001. 낙동강 하구역의 담수유입에 따른 해양환경 및 일차생산력 변화. Algae, 16(2), 165-177.
- 양재삼, 정주영, 허진영, 이상호, 최진용, 1999. 금강하구의 물질수지 1. 영양염의 계절적 분포. 한국해양학회지, 4, 71-79.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995. 득량만 표층수중 영양염류의 시공간적 분포특성:

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한수지, 28, 475-488.
- 이동섭, 1999. 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포특성. 한국해양학회지, 4(4), 371-382.
- 이용혁, 양재삼, 1997. 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속 관측. 한국해양학회지, 2(1), 1-7.
- 이재성, 2005. 미세전극을 이용한 연안 퇴적물 초기속성 작용의 전기화학적 연구. 충남대학교 해양학과 박사학위 청구 논문
- 이창희 외 한국환경정책 평가연구원, 2005. 지속가능한 하구역 관리방안 I
- 이창희 외 한국환경정책 평가연구원, 2004. 지속가능한 하구역 관리방안 II
- 이필용, 강창근, 박종수, 박주석, 1994. 한국진해만 입자유기물 함량과 C:N:P비의 연변화. 한국해양학회지, 29, 107-118.
- 정경호, 박용철, 1988. 서해 경기만 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. *The Journal of Oceanological Society of Korea*, 23(4), 194-206
- 정래홍, 홍재상, 이재학, 1997. 광양제철소 건설을 위한 매립과 준설공사 기간 중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절변화, 한국수산학회지, 30, 730-743
- 조경제, 최만영, 곽승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절 변동. 한국해양학회지, 3, 193-202.
- 차현주, 김준영, 고철환, 이창복, 1998. 황해 중동부 해역 표층수에서 영양염 원소의 시공간적 분포. 한국해양학회지, 3(1), 25-33.
- 홍재상, 서인수, 윤건택, 황인서, 김창수, 2004. 강릉 남대천 하구역의 1997년 9월중 대형저서동물의 분포패턴. *Environment. Biol.*, 22(2), 341-350.
- Balls, P.W., 1992. Nutrient behaviour in two contrasting Scottish estuaries. the Forth and Tay. *Oceanol. Acta.*, 15, 261-277.
- Boyle E., R. Collier, A. T. Dengler, J. M. Edmond, A. C. Ng and R. F. Stallard, 1974. On the chemical mass-balance in estuaries. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 38: 1719-1728.
- Carpenter, E.J., C.C. Rensen and S.W. Waston, 1972. Utilization of urea by

- some marine phytoplankton. *Limnol. and Oceanogr.*, 17:265-269.
- Charles B. Officer, 1978. Discussion of the Behaviour of Nonconservative Dissolved Constituents in Estuaries. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 9, 91-94.
- Choi, J.K., 1985. The Ecological Study of Phytoplankton in Gyeonggi Bay, Korea. Ph.D. thesis. Inha University, p.320.
- Choi, J.K., 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of Phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 26: 223-241.
- Choi, J.K., J.H. Noh, K.S. Shin and K.H. Hong, 1995. The early autumn distribution of chlorophyll-a and primary productivity in the Yellow Sea, 1992. *The Yellow Sea*, 1:68-80.
- Edmond J.M., E.A. Boyle, B. Grant and R.F. Stallard, 1981. The chemical mass balance in the Amazon plume. I : The nutrients, *Deep-sea Res.*, 28a, 1339-1374.
- Edmond J.M., A. Spivack, B.C. Grant, H. Ming-Hui, C. Zexian, C. Sung and Z. Xiushan, 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Continental Shelf Res.*, 4, 17-36.
- Fisher, T.R., L.W. Harding, D.W. Stanley and L.G. Ward, 1988. Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries. *Estuar. Coast. shelf Sci.*, 27, 61-93.
- Froelich, P.N., L.W. Kaul, J.T. Byrd, M.O. Andreae and K.K. Roe, 1985. Arsenic, Barium, Germanium, Tin, Dimethylsulfide and nutrient biogeochemistry in Charlotte Harbor, Florida, a phosphorus-enriched estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 21, 239-264.
- Kaul, L.W. and P.N. Froelich. 1984. Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1417-1433.
- Kaul, L.W. and Philip N. Froelich, Jr. 1984. Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta*,

48, 1417-1433.

McCarthy, J.J., and J.C. Goldman, 1979. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. *Science*, 203: 670-672.

Montani, S., P. Magni, M. Shimamoto, N. Abe, and K. Okutani, 1998, The Effect of a Tidal cycle on the Dynamics of Nutrients in a Tidal Estuary in the Seto Inland Sea, Japan, *Journal of Oceanography*, 54, 66-76.

Moon, C.H. and W.M. Dunstan, 1990. Hydrodynamic trapping in the formation of chlorophyll a peak in turbid, very low salinity waters of estuaries. *J. Plankton*, 12, 323-336.

Sharp, J.H., C.H. Culberson and T.M. Church, 1982. The chemistry of the Delaware estuary. General consideration. *Limnol. Oceanogr.*, 27, 1015-1028.

Webb, K.L., 1988. COMMENT ON 'Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds' by Caraco, Tamse, Boutros and Valiela, 1987. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45, 380.

Zwolsman J.J.G., 1994. Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt estuary, south-west Netherlands. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 39, 227-248.

Appendix



Appendix 1. Range and mean values of chemical constituents at an interval of two hours for day in the Seomjin River estuary

Sampling Date	Station Time	Sal. psu	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
3월 13일	14:00	23.99	8.78	10.06	8.35	9.50	3.23	8.07	0.61	0.64	11.98	13.22	40.09	0.25	3.06	3.01
	16:00	23.38	8.71	10.12	8.67	9.65	3.09	8.97	2.17	0.63	13.26	16.06	50.70	0.25	3.28	2.55
	18:00	26.20	8.84		8.44	6.75	2.67	6.80	0.71	0.55	8.65	9.91	27.29	0.26	3.01	1.90
	20:00	28.39	8.67		8.15	6.80	2.19	5.46	1.47	0.47	6.48	8.41	20.19	0.26	2.62	2.23
	22:00	23.06	7.37		8.28	5.35	3.28	5.68	0.55	0.54	10.48	11.57	52.49	0.35	2.49	4.18
3월 14일	0:00	23.55	7.89	16.35	8.37	24.80	2.86	6.35	0.88	0.60	11.53	13.00	45.22	0.38	2.63	6.54
	2:00	21.23	7.37	11.62	8.41	7.55	2.73	7.77	0.59	0.65	14.94	16.18	86.75	0.41	2.89	7.43
	4:00	20.54	7.54	10.96	8.34	7.60	2.80	7.85	0.89	0.71	16.41	18.01	63.15	0.43	2.95	9.83
	6:00	24.83	8.00	10.92	8.18	12.60	2.56	7.10	0.85	0.54	9.46	10.85	33.67	0.42	2.97	2.89
	8:00	24.70				6.45	1.18	5.31	1.36	0.43	5.97	7.75	27.19	0.43	3.02	1.68
	10:00	31.03	8.20	13.24	8.07	12.50	1.07	3.57	1.42	0.34	3.88	5.64	22.91	0.48	3.07	2.50
	12:00	24.74	8.17	14.75	8.19	9.20	2.45	7.10	0.57	0.52	9.05	10.14	42.23	0.44	2.96	2.44
	14:00	23.67	8.41	12.64	8.26	7.90	2.49	9.42	0.54	0.58	10.58	11.70	37.45	0.45	3.13	2.75
	Max	31.03	8.84	16.35	8.67	24.80	3.28	9.42	2.17	0.71	16.41	18.01	86.75	0.48	3.28	9.83
	Min	20.54	7.37	10.06	8.07	5.35	1.07	3.57	0.54	0.34	3.88	5.64	20.19	0.25	2.49	1.68
	average	24.56	8.16	12.30	8.31	9.74	2.51	6.88	0.97	0.55	10.20	11.73	42.26	0.37	2.93	3.84
	S.D.	2.77	0.54	2.16	0.16	5.03	0.69	1.61	0.49	0.10	3.55	3.56	18.29	0.09	0.22	2.51
Sampling Date	Station No.	Sal. ppt	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
3월 13일	14:00	25.97	8.77	9.66	8.03	10.55	3.06	8.30	1.31	0.61	10.16	12.08	43.02	0.25	2.83	2.25
	16:00	26.60	8.72	9.13	8.52	7.90	2.55	8.30	0.94	0.62	8.39	9.96	41.48	0.26	2.90	1.91
	18:00	26.89	8.81		8.42	7.35	2.17	7.77	0.86	0.54	8.18	9.57	24.51	0.27	3.08	2.58
	20:00	28.96	8.71		8.09	6.25	1.81	4.41	2.35	0.41	6.23	8.99	23.11	0.36	2.71	2.14
	22:00	30.78	8.65		8.11	5.80	1.56	3.32	2.25	0.32	4.45	7.02	17.93	0.39	2.90	3.19
3월 14일	0:00	27.73	8.71	10.91	8.26	22.05	2.80	7.77	1.00	0.47	8.31	9.79	38.84	0.39	3.06	2.26
	2:00	25.79	8.67	9.58	8.30	29.55	2.30	9.57	0.80	0.55	9.06	10.41	26.69	0.41	3.23	1.62
	4:00	26.23	8.65	7.03	8.24	29.85	2.73	9.49	1.05	0.50	8.36	9.92	34.56	0.42	3.16	1.41
	6:00	26.22	8.29	6.47	8.15	30.70	2.55	7.85	0.84	0.50	8.46	9.80	25.50	0.42	3.61	1.56
	8:00	27.00				12.05	1.49	4.54	1.92	0.39	5.17	7.48	25.70	0.47	3.31	2.19
	10:00	31.22	8.28	9.17	8.07	8.85	1.08	3.21	2.84	0.30	3.54	6.67	19.32	0.56	3.22	2.17
	12:00	28.64	8.10	9.74	8.16	8.45	1.88	7.40	1.06	0.44	6.86	8.37	25.20	0.45	3.19	8.26
	14:00	26.13	8.18	8.97	8.22	9.90	2.38	10.16	0.62	0.50	9.21	10.34	44.12	0.45	3.38	2.20
	Max	31.22	8.81	10.91	8.52	30.70	3.06	10.16	2.84	0.62	10.16	12.08	44.12	0.56	3.61	8.26
	Min	25.79	8.10	6.47	8.03	5.80	1.08	3.21	0.62	0.30	3.54	6.67	17.93	0.25	2.71	1.41
	average	27.55	8.55	8.96	8.21	14.56	2.18	7.08	1.37	0.47	7.42	9.26	30.00	0.39	3.12	2.60
	S.D.	1.82	0.25	1.38	0.15	9.71	0.58	2.40	0.72	0.10	2.01	1.52	9.17	0.09	0.25	1.76

Appendix 2. Range and mean values of chemical constituents at an interval of two hours for day in the Seomjin River estuary

Sampling Date	Station Time	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
7월 24일	14:00	0.61	20.65	8.82	8.10	2.18	1.49	0.81	4.96	0.47	77.78	83.21	143.30	1.69	1.16	166.21
	16:00	1.01	21.60	8.76	7.92	1.32	1.97	1.67	1.93	0.46	76.47	78.87	118.79	1.79	1.11	172.29
	18:00	2.52	21.65	8.58	7.73	1.93	1.91	0.77	1.54	0.71	75.08	77.33	158.61	1.58	1.06	169.25
	20:00	4.40	21.71	8.44	7.62	3.00	1.34	0.89	2.65	0.72	66.79	70.16	104.86	1.32	1.07	154.98
	22:00	3.56	21.62	8.25	7.82	1.21	1.29	0.72	4.26	0.64	74.92	79.82	81.48	1.46	0.84	170.37
7월 25일	0:00	1.68	21.33	8.93	8.01	2.10	1.37	0.66	0.62	0.66	77.18	78.46	115.70	1.52	0.91	167.12
	2:00	0.01	21.05	9.84	7.99	0.43	2.01	0.58	2.06	0.71	77.58	80.36	111.61	1.60	1.12	175.05
	4:00	1.42	21.36	11.36	8.17	1.89	1.87	0.62	1.52	0.57	77.07	79.16	113.06	1.69	1.15	168.21
	6:00	3.03	21.36	8.65	8.06	1.95	1.70	0.61	5.89	0.89	78.73	85.51	109.02	2.19	1.06	165.03
	8:00	2.46	21.33	7.89	8.25	3.52	1.87	0.84	2.51	0.66	73.89	77.06	112.53	1.41	0.96	172.70
	10:00	2.72	22.28	12.14	7.92	2.64	1.72	0.55	2.42	0.70	76.35	79.48	111.80	1.50	0.93	175.82
	12:00	2.14	21.89	10.16	7.97	2.88	1.80	0.85	2.04	0.77	75.10	77.91	112.01	1.33	0.96	179.85
	14:00					2.91	1.92	0.69	1.34	0.52	78.07	79.92	123.92	1.83	1.01	170.37
	Max	4.40	22.28	12.14	8.25	3.52	2.01	1.67	5.89	0.89	78.73	85.51	158.61	2.19	1.16	179.85
	Min	0.01	20.65	7.89	7.62	0.43	1.29	0.55	0.62	0.46	66.79	70.16	81.48	1.32	0.84	154.98
	average	2.13	21.49	9.32	7.96	2.15	1.71	0.79	2.60	0.65	75.77	79.02	116.67	1.61	1.03	169.79
	S.D.	1.26	0.41	1.31	0.18	0.85	0.25	0.29	1.53	0.12	3.05	3.53	18.40	0.24	0.10	6.09
Sampling Date	Station Time	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
7월 24일	14:00	22.42	21.33	5.60	7.84	11.85	2.32	1.35	10.49	2.85	45.96	59.30	93.68	0.98	1.13	75.55
	16:00	23.32	20.58	6.36	7.75	3.72	1.82	1.25	7.96	3.16	39.27	50.40	76.51	0.93	0.96	65.35
	18:00	22.66	20.58	5.73	7.84	2.65	1.99	1.28	6.21	2.84	52.84	61.89	82.19	1.07	1.07	76.42
	20:00	21.56	20.06	5.97	7.87	9.46	2.23	3.03	4.61	2.88	51.22	58.72	82.51	0.83	1.18	75.65
	22:00	22.83	20.47	6.04	7.92	5.42	1.97	3.32	5.46	2.68	38.51	46.65	71.65	0.82	0.85	53.39
7월 25일	0:00	15.10	20.99	7.00	7.68	8.99	1.77	2.29	6.59	2.51	51.96	61.07	91.19	0.89	0.93	81.93
	2:00	19.38	20.80	6.72	7.66	8.07	1.89	1.11	4.80	1.44	68.17	74.40	92.11	1.16	0.89	142.90
	4:00	19.62	20.77	6.85	7.55	5.98	1.75	1.83	7.01	2.52	51.37	60.90	78.94	0.98	1.00	85.11
	6:00	20.56	20.70	6.74	7.55	4.06	1.94	2.39	4.68	2.51	53.86	61.05	51.80	0.95	1.08	81.82
	8:00	20.63	20.72	6.01	7.60	6.76	2.23	2.56	7.19	2.73	57.72	67.65	87.18	1.05	1.00	88.34
	10:00	20.63	20.73	13.26	7.20	10.94	1.61	3.98	4.54	2.42	45.56	52.52	70.55	0.91	0.92	71.84
	12:00	17.94	20.87	8.39	7.26	6.56	1.85	2.44	3.85	1.61	65.72	71.18	92.80	1.01	0.96	122.91
	14:00					7.37	2.35	2.00	3.98	1.52	71.07	76.57	113.16	1.18	1.01	130.56
	Max	23.32	21.33	13.26	7.92	11.85	2.35	3.98	10.49	3.16	71.07	76.57	113.16	1.18	1.18	142.90
	Min	15.10	20.06	5.60	7.20	2.65	1.61	1.11	3.85	1.44	38.51	46.65	51.80	0.82	0.85	53.39
	average	20.55	20.72	7.06	7.64	7.06	1.98	2.22	5.95	2.44	53.33	61.71	83.41	0.98	1.00	88.60
	S.D.	2.35	0.30	2.09	0.23	2.78	0.23	0.88	1.89	0.56	10.21	8.95	14.72	0.11	0.10	26.67

Appendix 3. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2005. 3)

Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
2005/03/09	F1	0.00				5.14	2.77	2.70	2.33	1.38	91.71	95.41	98.64	1.98	2.77	98.61
	F2	0.00				5.13	2.58	3.08	1.92	1.40	94.55	97.87	101.13	1.77	2.58	92.28
	F3	0.00				2.88	1.77	2.71	2.44	1.35	89.13	92.91	98.58	1.29	1.77	95.47
	섬진1	11.04	7.50	11.90	8.35	4.98	1.77	8.30	0.98	0.84	80.14	81.95	134.86	1.24	1.77	62.54
	2	14.65	7.51	9.02	8.32	8.88	2.03	13.75	1.41	0.75	81.51	83.67	135.36	1.29	2.03	52.39
	3	16.20	7.44	7.19	8.33	7.36	1.87	13.06	1.41	0.70	72.57	74.68	125.07	1.19	1.87	47.32
	4	18.51	7.44	6.69	8.32	7.01	1.58	9.35	1.66	0.72	64.78	67.16	109.71	1.01	1.58	42.03
	5	21.78	7.56	5.63	8.30	9.38	1.35	5.64	1.88	0.67	53.80	56.35	91.79	0.77	1.35	34.81
	6	23.72	7.51	4.67	8.27	5.61	1.19	2.98	1.31	0.55	45.32	47.17	72.43	0.64	1.19	29.91
	7	24.58	7.60	4.84	8.27	4.93	1.10	2.35	1.49	0.61	41.95	44.05	47.29	0.54	1.10	28.81
	8	26.34	7.50	4.49	8.25	4.36	1.13	2.08	1.50	0.45	36.26	38.21	55.36	0.62	1.13	25.16
	9	28.58	7.77	3.88	8.19	5.97	1.03	1.71	3.43	0.34	26.09	29.86	56.21	0.63	1.03	17.61
	10	30.97	7.80	3.74	8.17	7.91	1.16	1.60	3.57	0.29	15.87	19.74	35.79	0.51	1.16	11.32
	11	32.04	7.63	3.56	8.17	5.66	0.94	1.50	2.75	0.23	9.72	12.70	29.86	0.30	0.94	8.83
	12	32.54	7.72	3.62	8.17	4.85	0.81	1.64	2.74	0.26	11.39	14.39	32.86	0.38	0.81	10.12
	13	33.11	7.39	4.53	8.16	8.70	0.71	1.62	2.30	0.17	2.78	5.24	19.93	0.20	0.71	4.54
	14	33.27	7.53	4.87	8.17	6.68	0.84	1.59	2.08	0.14	3.96	6.18	9.00	0.27	0.84	5.12
	Max	33.27	7.80	11.90	8.35	9.38	2.77	13.75	3.57	1.40	94.55	97.87	135.36	1.98	2.77	98.61
	Min	0.00	7.39	3.56	8.16	2.88	0.71	1.50	0.98	0.14	2.78	5.24	9.00	0.20	0.71	4.54
	average	20.43	7.56	5.62	8.25	6.20	1.45	4.45	2.07	0.64	48.32	51.03	73.76	0.86	1.45	39.23
	S.D.	11.84	0.13	2.39	0.07	1.79	0.61	4.10	0.74	0.41	32.91	32.94	41.27	0.53	0.61	31.71

Appendix 4. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2005. 6)

Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
2005/06/16	F1	0.00		10.15		5.82	4.48	21.11	3.24	1.67	167.01	171.92	175.07	4.37	6.19	100.65
	F2	0.05		9.61		7.44	3.93	19.06	5.08	1.82	165.78	172.68	194.80	4.00	5.45	109.33
	F3	0.00		8.83		5.76	3.80	25.78	3.85	1.56	170.80	176.20	183.24	4.00	6.23	100.42
2005/06/17 섬진1		0.27	24.78	7.96	7.61	5.40	3.74	12.48	4.26	1.10	152.00	157.36	167.27	4.00	5.12	99.78
	2	1.49	24.92	7.22	7.37	5.36	3.82	12.85		1.19	144.36	145.55	148.90	3.67	4.77	94.98
	3	2.31	24.94	7.05	7.41	4.00	3.52	12.71	3.88	1.12	138.47	143.46	153.93	3.65	4.43	90.46
	4	3.16	25.24	7.47	7.32	6.27	3.41	11.21	5.32	1.28	137.08	143.68	147.11	4.04	5.40	82.58
	5	4.43	25.51	7.58	7.25	4.66	3.34	8.82	4.30	0.90	127.41	132.60	136.64	3.71	5.10	62.22
	6	5.88	25.41	6.74	7.23	4.21	3.15	7.77		1.39	119.97	121.36	136.52	3.70	4.87	88.84
	7	6.78	25.40	7.29	7.34	4.42	3.58	11.14	4.68	1.54	112.06	118.27	140.37	3.35	4.41	83.67
	8	7.91	25.26	7.60	7.37	3.52	3.05	9.94	4.84	1.35	107.70	113.88	134.41	3.33	4.08	67.12
	9	8.82	25.15	7.85	7.50	3.50	3.02	7.55		1.62	106.31	107.93	117.31	2.98	3.44	76.10
	10	9.94	24.94	7.57	7.55	4.58	3.64	8.52		1.85	99.01	100.86	113.60	2.99	3.42	80.41
	11	11.58	25.12	7.93	7.66	8.13	3.25	7.77	4.59	1.86	90.47	96.93	105.27	2.80	3.12	76.13
	12	13.46	25.05	7.95	7.75	6.43	3.13	6.65		2.02	68.12	70.14	88.33	2.64	3.10	75.22
	13	15.55	24.83	7.20	7.80	5.22	3.61	5.75	5.85	1.95	59.82	67.63	93.52	2.42	2.83	67.67
	14	18.77	24.53	7.52	7.90	5.23	2.85	5.98	4.66	1.47	58.86	64.99	76.06	1.96	2.43	48.09
	15	20.76	24.50	7.57	7.94	6.61	2.46	5.23		1.62	53.18	54.80	62.82	2.20	2.43	51.26
	16	21.59	24.21	7.21	7.93	5.51	3.01	6.35		1.48	49.24	50.72	57.80	2.01	2.11	43.89
	17	22.80	24.10	8.35	7.97	5.40	2.49	6.73	4.82	1.35	41.70	47.87	54.47	1.91	2.42	40.53
	18	23.46	23.83	7.70	8.01	5.87	2.77	7.47	5.30	1.49	41.14	47.93	52.97	1.73	1.86	37.14
	19	25.73	23.78	7.96	8.06	8.11	2.62	7.92	4.72	1.30	33.97	39.99	53.96	1.36	1.87	26.23
	20	29.23	24.10	8.60	8.19	7.53	2.40	8.30	4.05	0.54	10.81	15.39	18.93	1.24	1.37	10.40
	21	30.01	23.22	8.94	8.15	7.97	2.21	6.65	3.37	0.25	6.56	10.18	20.46	1.12	1.43	7.90
	Max	30.01	25.51	10.15	8.19	8.13	4.48	25.78	5.85	2.02	170.80	176.20	194.80	4.37	6.23	109.33
	Min	0.00	23.22	6.74	7.23	3.50	2.21	5.23	3.24	0.25	6.56	10.18	18.93	1.12	1.37	7.90
	average	11.83	24.71	7.91	7.68	5.71	3.22	10.16	4.52	1.41	94.24	98.85	109.74	2.88	3.66	67.54
	S.D.	9.98	0.62	0.82	0.31	1.39	0.56	5.17	0.70	0.42	50.67	50.82	51.31	1.00	1.51	28.72

Appendix 5. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2005. 8)

Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)								
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄	
2005/08/14	F1	0.00				8.39	2.49	3.91	2.13	0.29	46.19	48.61	97.64	0.50	1.61	161.65	
	F2	0.00				6.66	1.95	2.90	2.21	0.40	76.74	79.34	102.86	0.25	1.13	165.86	
	F3	0.03	22.00	8.84	7.66	8.95	1.49	3.69	3.23	0.26	64.15	67.64	90.51	0.33	0.87	161.45	
	섬진 1		0.15	25.99	9.38	7.71	1.51	1.65	1.72	0.87	0.29	82.80	83.96	119.79	0.80	1.10	163.55
		2	0.26	23.92	9.63	7.56	1.93	1.36	1.98	1.09	0.26	107.34	108.69	115.91	0.91	1.55	163.79
		3	1.59	24.58	9.76	7.46	2.23	1.41	1.43	1.55	0.36	39.43	41.34	92.93	0.75	1.48	158.20
		4	1.65	25.01	9.54	7.53	1.62	1.68	1.21	1.70	0.36	79.61	81.67	88.14	0.88	1.55	158.36
		5	4.46	23.83	8.89	7.53	2.79	1.55	0.93	2.47	0.43	78.30	81.21	107.19	0.94	1.45	148.91
		6	2.76	23.89	8.49	7.53	2.01	1.73	1.20	2.32	0.36	80.22	82.90	100.29	0.81	1.65	155.48
		7	5.15	24.09	8.26	7.66	2.88	1.63	0.56	2.99	0.48	73.60	77.08	105.66	0.91	1.32	144.36
		8	6.72	23.99	8.29	7.74	3.54	1.61	0.74	3.40	0.50	73.73	77.64	96.21	0.84	0.97	143.06
		9	9.14	24.37	8.01	7.83	3.26	1.31	0.45	3.69	0.61	38.83	43.14	69.79	0.98	1.03	131.19
		10	19.73	23.71	7.18	7.97	3.76	1.58	0.70	3.56	1.25	42.40	47.21	51.64	0.98	1.00	116.86
		11	13.72	24.44	7.72	7.93	3.01	1.31	0.97	4.00	1.01	67.20	72.20	73.71	1.10	1.12	108.49
		12	12.17	25.26	7.94	7.91	2.99	1.28	0.68	4.62	0.90	59.36	64.88	81.36	1.15	1.29	115.17
		13	15.34	24.41	8.05	7.93	2.83	1.60	0.55	4.32	0.88	41.30	46.50	95.29	1.16	1.32	117.31
		14	16.18	24.26	8.14	7.96	3.36	1.41	0.70	4.51	0.92	53.07	58.51	90.71	1.01	1.26	108.72
		15	19.76	23.65	8.08	7.98	3.99	1.36	0.72	5.68	1.02	28.75	35.45	68.29	0.80	1.42	100.78
		16	21.34	23.36	7.82	8.00	3.91	1.20	0.65	3.13	1.20	39.52	43.84	84.21	0.98	1.39	80.65
	Max	21.34	25.99	9.76	8.00	8.95	2.49	3.91	5.68	1.25	107.34	108.69	119.79	1.16	1.65	165.86	
	Min	0.00	22.00	7.18	7.46	1.51	1.20	0.45	0.87	0.26	28.75	35.45	51.64	0.25	0.87	80.65	
	average	7.90	24.16	8.47	7.76	3.66	1.56	1.35	3.02	0.62	61.71	65.36	91.16	0.85	1.29	137.04	
	S.D.	7.71	0.85	0.75	0.19	2.10	0.29	1.05	1.29	0.34	20.71	19.76	17.01	0.25	0.23	26.19	

Appendix 6. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2006. 3)

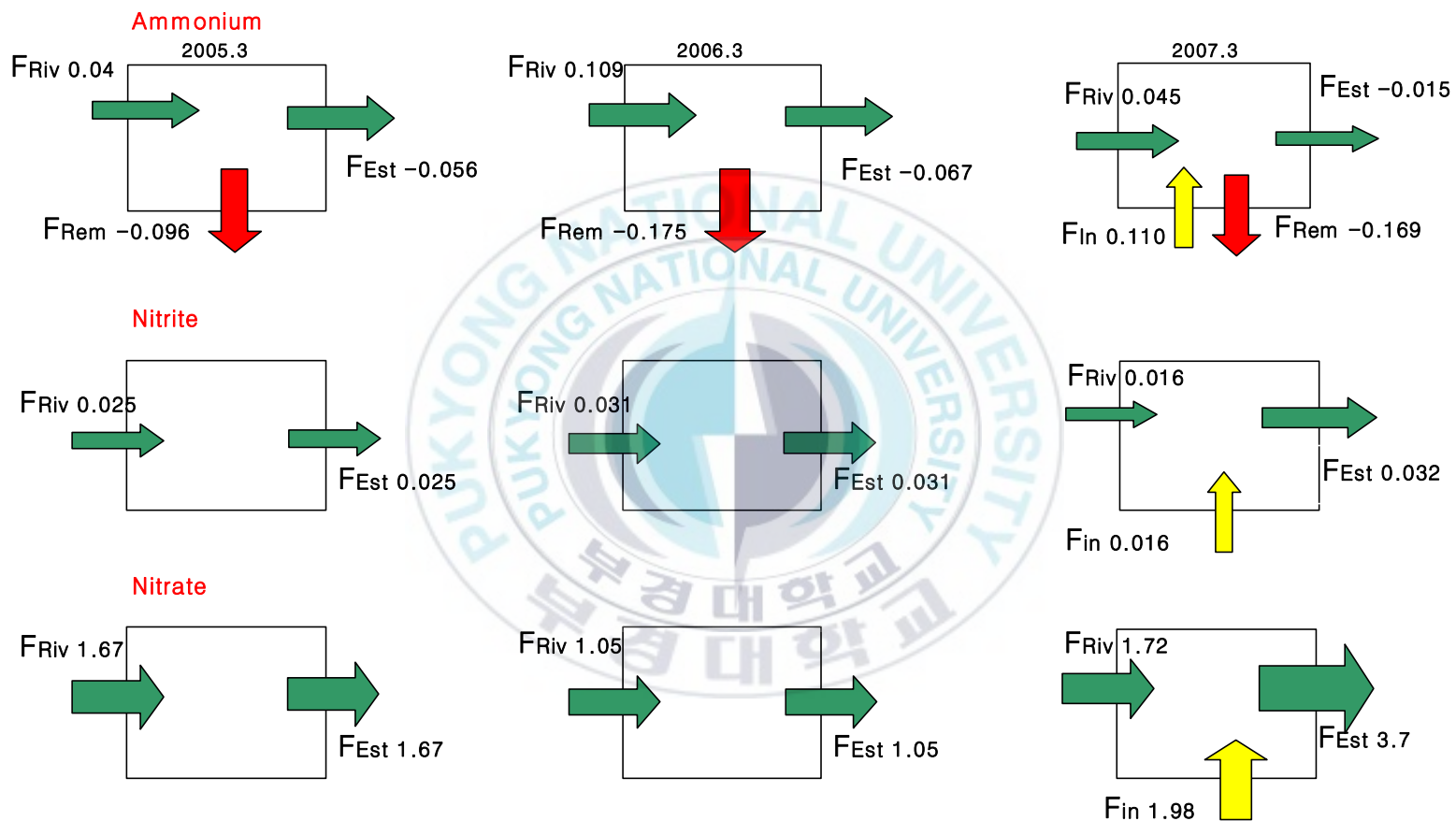
Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
2006/03/13	F1	0.09	5.54	17.41	8.77	3.95	2.13	6.58	1.76	1.85	61.73	65.34	112.66	0.53	3.10	24.69
	F2	2.82	5.50	17.40	8.15	16.40	2.72	8.67	11.05	1.39	56.79	69.23	134.02	0.75	5.69	32.31
	F3	7.05	6.34	15.99	7.97	7.45	3.05	6.65	3.33	1.22	39.77	44.33	90.64	0.46	4.07	26.70
2006/03/14	섬진1	21.27	7.74	17.40	8.35	5.40	2.60	7.92	0.58	0.71	16.81	18.10	41.48	0.21	2.77	4.68
	2	21.50	7.83	16.08	8.36	6.80	2.68	9.19	0.36	0.74	17.46	18.55	38.41	0.20	2.59	4.02
	3	23.06	7.94	14.49	8.30	6.55	2.41	7.25	0.04	0.67	14.46	15.17	37.09	0.20	2.49	2.32
	4	24.71	8.10	13.83	8.28	5.40	2.32	8.00	0.36	0.58	12.61	13.55	44.84	0.18	2.69	2.69
	5	25.97	8.15	14.63	8.29	5.80	2.30	6.95	0.59	0.52	10.48	11.59	26.26	0.16	2.41	0.62
	6	28.38	8.17	14.04	8.22	7.10	1.79	5.08	1.68	0.44	8.15	10.26	25.09	0.15	2.42	1.13
	7	29.51	8.28	12.57	8.14	6.05	1.43	4.50	2.06	0.39	6.80	9.25	28.46	0.17	2.24	1.89
	8	30.60	8.38	12.68	8.14	6.05	1.11	4.52	2.14	0.33	4.98	7.45	19.46	0.14	2.97	1.77
	9	31.63	8.52	12.58	8.13	6.55	1.14	2.90	1.61	0.23	4.12	5.96	12.22	0.23	2.21	0.88
	10	32.49	8.72	12.04	8.10	5.00	1.01	3.34	0.69	0.13	2.55	3.37	14.12	0.21	1.83	0.51
	Max	32.49	8.72	17.41	8.77	16.40	3.05	9.19	11.05	1.85	61.73	69.23	134.02	0.75	5.69	32.31
	Min	0.09	5.50	12.04	7.97	3.95	1.01	2.90	0.04	0.13	2.55	3.37	12.22	0.14	1.83	0.51
	average	21.47	7.63	14.70	8.25	6.81	2.05	6.27	2.02	0.71	19.75	22.47	48.06	0.28	2.88	8.02
	S.D.	11.06	1.10	1.98	0.19	3.03	0.69	2.03	2.87	0.50	19.95	22.31	39.03	0.19	1.00	11.52

Appendix 7. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2006. 7)

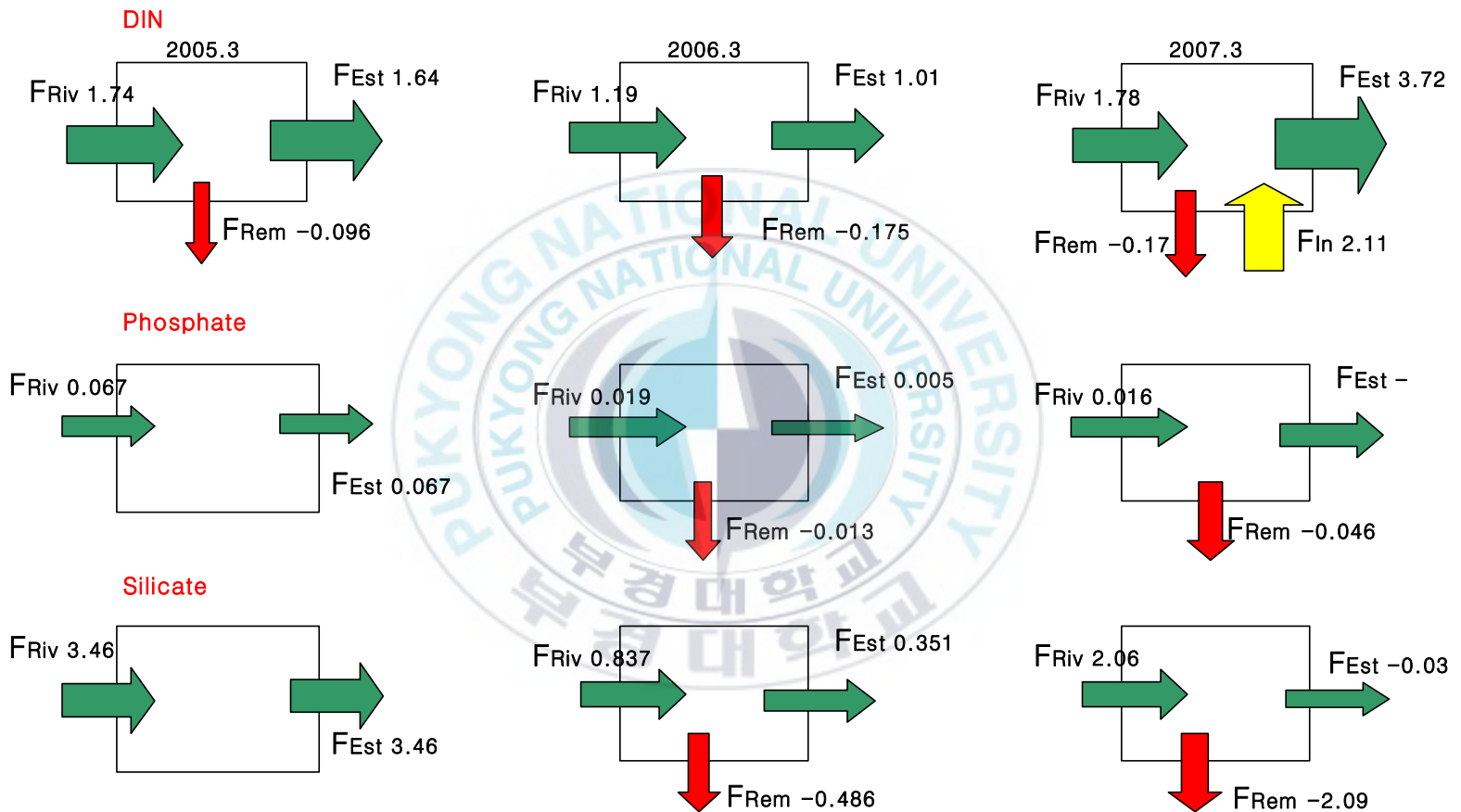
Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)							
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄
2006/07/25	F1-1	0.04				3.72	2.31	1.46	0.22	0.25	77.55	78.02	108.45	0.98	3.90	162.60
	F1	0.04	23.44	11.67	7.69	4.87	2.28	1.43	0.25	0.26	78.91	79.43	93.86	0.91	2.58	166.97
	F2	0.04	21.44	12.73	7.93	2.90	2.18	1.26	0.42	0.20	78.37	78.98	89.44	0.96	3.29	160.22
	F3	0.04	21.30	11.10	7.49	2.06	1.99	1.24	0.34	0.19	79.61	80.14	84.83	0.91	3.71	153.22
	섬진1	0.06	21.40	11.29	7.73	1.85	2.09	0.81	0.60	0.21	78.89	79.70	86.18	0.98	1.90	163.53
	2	0.05	22.21	11.11	7.66	1.42	2.23	0.90	0.56	0.25	78.56	79.37	107.15	0.95	4.23	156.56
	3	0.54	22.03	10.31	8.45	2.34	2.39	0.85	1.21	0.35	76.25	77.82	105.47	0.78	3.45	164.43
	4	2.14	21.89	10.16	7.97	2.40	2.20	0.78	1.73	0.46	76.69	78.88	88.16	0.83	4.45	140.75
	5	3.59	21.75	10.01	7.81	3.03	1.98	0.84	2.17	0.66	75.08	77.90	103.45	0.88	1.90	142.34
	6	3.13	22.37	10.22	8.13	2.83	2.67	0.68	2.30	0.71	73.29	76.30	94.90	0.88	13.97	138.94
	7	5.59	21.79	9.78	8.01	3.28	1.96	1.29	2.59	0.82	74.49	77.90	94.76	0.91	3.00	138.92
	8	6.83	21.79	9.86	7.93	3.97	1.93	1.79	2.89	1.08	71.01	74.98	113.07	0.87	1.45	128.73
	9	8.33	21.89	9.61	7.92	3.16	1.91	1.69	2.88	1.14	72.36	76.38	111.69	0.94	1.52	129.18
	10	9.17	22.09	8.93	8.12	3.62	1.80	2.19	3.17	1.26	67.87	72.30	99.07	0.99	1.29	121.64
	11	11.38	22.20	9.37	8.14	4.01	1.67	2.65	2.95	1.37	67.81	72.13	95.68	0.94	1.29	111.98
	12	11.61	22.38	5.32	8.23	7.00	2.36	3.21	3.15	1.46	63.95	68.55	103.77	0.76	1.52	106.84
	13	16.48	22.45	9.85	8.28	7.03	2.52	8.89	1.34	1.79	52.74	55.87	89.95	0.36	1.52	78.19
	Max	16.48	23.44	12.73	8.45	7.03	2.67	8.89	3.17	1.79	79.61	80.14	113.07	0.99	13.97	166.97
	Min	0.04	21.30	5.32	7.49	1.42	1.67	0.68	0.22	0.19	52.74	55.87	84.83	0.36	1.29	78.19
	average	4.65	22.03	10.08	7.97	3.50	2.15	1.88	1.69	0.73	73.14	75.57	98.23	0.87	3.23	139.12
	S.D.	5.17	0.51	1.59	0.25	1.58	0.26	1.94	1.14	0.52	6.96	5.99	9.07	0.15	2.98	24.40

Appendix 8. Range and mean values of chemical constituents in the surface water of Seomjin River Estuary.(2007. 3)

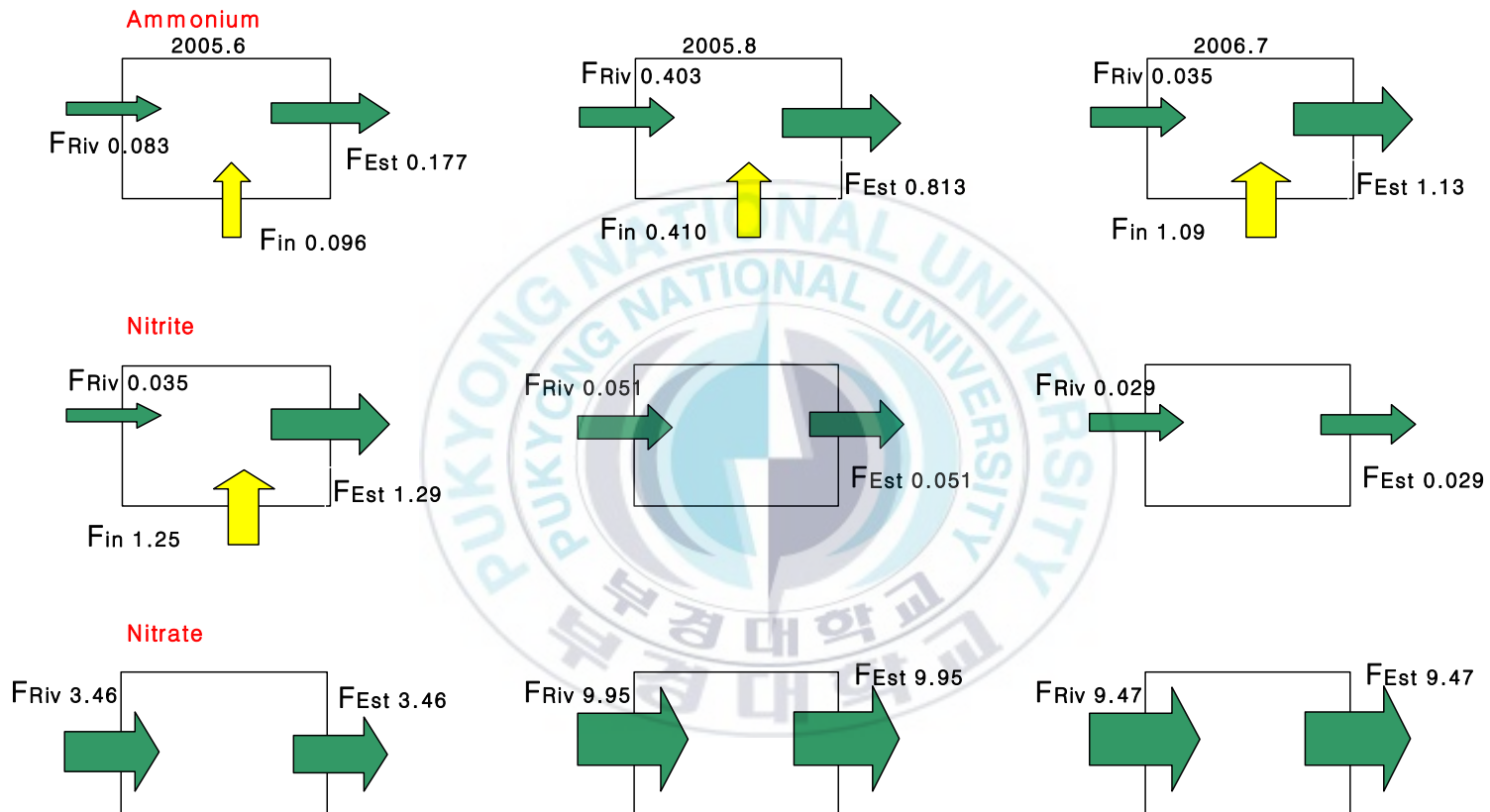
Sampling Date	Station No.	Sal.	Temp. °C	DO mg/L	pH	SS mg/L	COD mg/L	Chl. A ug/L	Nutrient (ug-at/L)								
									NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	TN	PO ₄ ³⁻ -P	TP	Si(OH) ₄	
2007/03/21	9	0.89	10.36	10.70		3.87		1.46	2.37	0.86	91.61	94.83		0.36		55.08	
	10	2.05	10.48	10.92		4.58		1.31	2.36	0.79	91.09	94.24		0.30		55.67	
	11	4.62	10.43	10.89		4.45		1.55	3.19	0.80	87.22	91.21		0.35		62.82	
	12	6.74	10.55	11.10		10.30		2.68	3.52	0.79	86.57	90.88		0.30		52.31	
	13	8.83	10.55	11.42		15.78		5.83	2.97	0.77	87.23	90.97		0.20		47.80	
	14	10.32	10.90	11.87		15.25		3.59	2.34	0.76	85.21	88.31		0.09		42.96	
	15	13.61	10.86	12.67		27.26		2.77	1.52	0.75	84.32	86.59		0.12		33.18	
	SJ1		16.86	11.00	12.82		12.02	3.09	12.78	0.71	0.76	78.89	80.36	61.06	0.15	1.65	22.41
		6	19.07	10.75	13.55		18.81	3.55	11.14	1.07	0.79	68.52	70.37	40.42	0.09	2.19	18.25
		2	21.15	10.76	12.79		18.86	3.31	3.03	0.35	0.72	61.87	62.94	42.32	0.17	1.56	14.05
		8	21.24	10.86	13.46		25.15	2.14	4.56	0.43	0.54	31.11	32.08	20.42	0.15	2.05	4.76
		7	23.25	10.70	13.07		30.15		5.38	0.92	0.65	45.46	47.03		0.11		8.27
		7	26.18	10.58	12.50		23.53	2.84	5.75	0.44	0.56	27.89	28.89	19.67	0.14	3.04	3.17
		5	26.64	11.18	12.34		17.41	3.87	2.95	0.36	0.57	38.32	39.26	29.78	0.13	1.47	7.14
		8	26.81	10.69	12.63		35.86		2.57	0.43	0.67	49.94	51.04		0.10		15.74
		6	27.58	10.72	12.51		37.56		1.97	0.45	0.54	20.01	21.00		0.10		1.98
		9	28.82	10.71	12.23		24.60	1.52	2.30	0.51	0.49	14.95	15.95	10.84	0.25	2.29	1.57
	10	31.13	10.67	11.05		29.01	15.26	1.12	0.39	0.39	5.47	6.25	11.56	0.30	1.90	0.90	
	S1	5	32.79	10.67	10.52		23.62		0.87	0.40	0.36	2.45	3.21		0.22		0.95
		4	33.57	10.76	10.13		20.23		0.91	0.37	0.20	0.20	0.77		0.46		0.89
		2	33.69	10.81	10.05		12.12		1.05	0.34	0.20	0.35	0.89		0.49		1.01
			34.10	11.09	9.44		10.12		1.20	0.88	0.15	0.95	1.99		0.46		0.76
	Max	34.10	11.18	13.55		37.56	15.26	12.78	3.52	0.86	91.61	94.83	61.06	0.49	3.04	62.82	
	Min	0.89	10.36	9.44		3.87	1.52	0.87	0.34	0.15	0.20	0.77	10.84	0.09	1.47	0.76	
	average	20.45	10.73	11.76		19.11	4.45	3.49	1.20	0.60	48.16	49.96	29.51	0.23	2.02	20.53	
	S.D.	10.91	0.20	1.18		9.66	4.44	3.16	1.07	0.22	35.13	36.16	17.44	0.13	0.51	22.06	



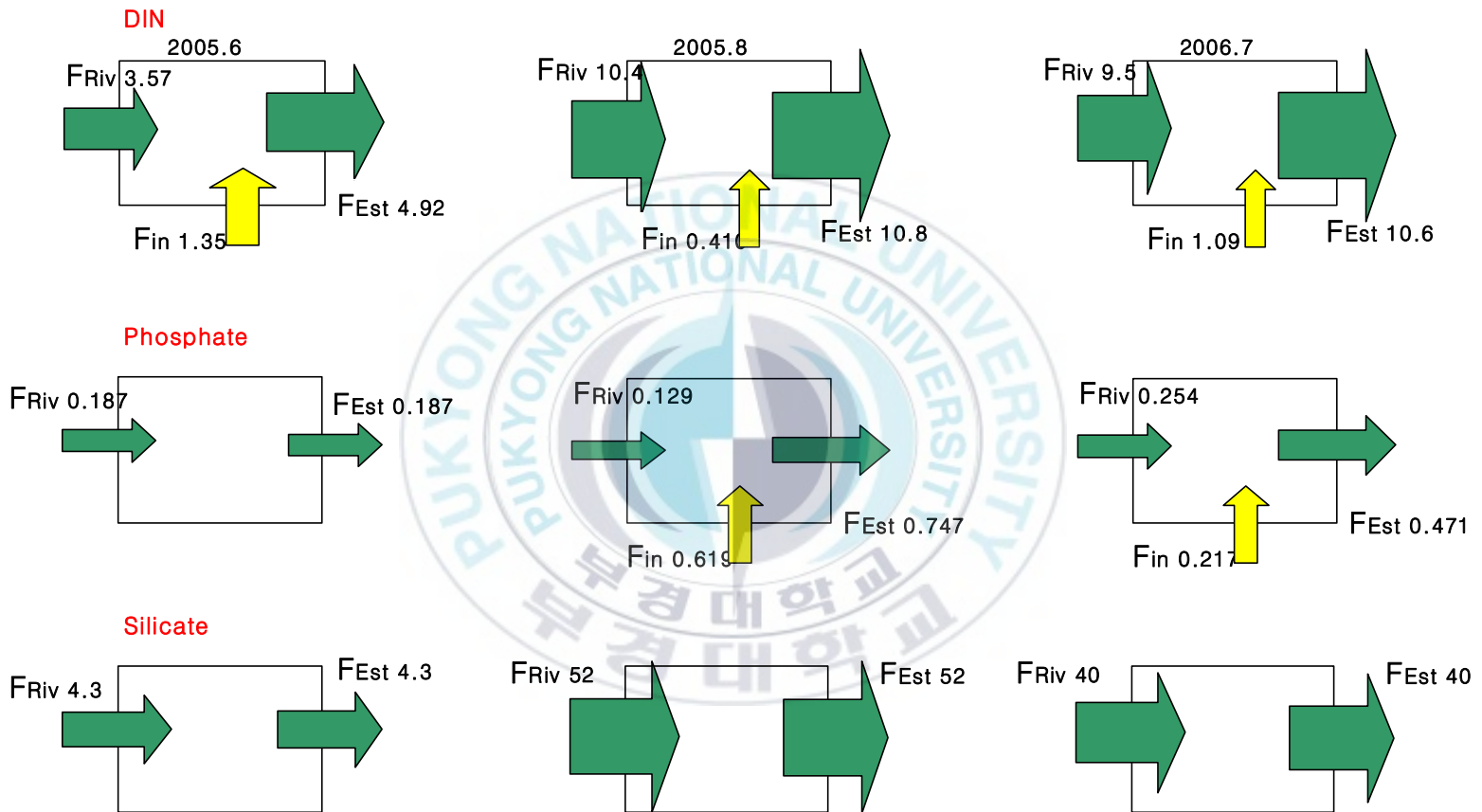
Appendix 9. Diagrams of Ammonium, Nitrite, Nitrate fluxes (the dry season)



Appendix 10. Diagrams of DIN, Phosphate, Silicate fluxes (the dry season)



Appendix 11. Diagrams of Ammonium, Nitrite, Nitrate fluxes (the rainy season)



Appendix 12. Diagrams of DIN, Phosphate, Silicate fluxes (the rainy season)

Appendix 13. Correlation matrix(the dry season)

	Salinity	Temp.	pH	DO	COD	SS	Chl-a	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si
Salinity	1												
Temperature	0.08	1											
pH	-0.49	-0.34	1										
DO	-0.37	0.16	0.22	1									
COD	-0.03	0.39	0.26	0.26	1								
SS	0.23	0.63	-0.26	0.25	0.59	1							
Chl-a	-0.26	-0.32	0.40	0.37	-0.01	-0.13	1						
NH ₄ ⁺ -N	-0.41	-0.42	-0.31	-0.05	-0.16	-0.22	0.01	1					
NO ₂ ⁻ -N	-0.90	-0.25	0.57	0.53	0.09	-0.12	0.35	0.34	1				
NO ₃ ⁻ -N	-0.88	0.14	0.47	0.09	-0.01	-0.08	0.27	0.26	0.72	1			
DIN	-0.89	0.11	0.44	0.09	-0.01	-0.09	0.27	0.30	0.73	0.99	1		
PO ₄ ³⁻ -P	-0.48	-0.51	0.28	-0.36	-0.07	-0.38	0.16	0.22	0.49	0.00	0.00	1	
SiO ₂ -Si	-0.84	-0.08	0.30	-0.13	-0.07	-0.32	0.09	0.32	0.68	0.87	0.87	0.76	1

Appendix 14. Correlation matrix(the rainy season)

	Salinity	Temp.	pH	DO	COD	SS	Chl-a	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si
Salinity	1												
Temperature	0.16	1											
pH	0.52	-0.53	1										
DO	-0.46	-0.65	0.16	1									
COD	-0.11	0.37	-0.35	-0.23	1								
SS	0.37	0.14	0.19	-0.37	0.45	1							
Chl-a	-0.04	0.51	-0.37	-0.24	0.85	0.52	1						
NH ₄ ⁺ -N	0.53	0.57	-0.10	-0.77	0.36	0.42	0.42	1					
NO ₂ ⁻ -N	0.40	0.38	0.04	-0.57	0.60	0.43	0.58	0.69	1				
NO ₃ ⁻ -N	-0.65	0.28	-0.71	0.00	0.66	-0.03	0.67	0.06	0.25	1			
DIN	-0.62	0.32	-0.71	-0.04	0.68	-0.01	0.69	0.11	0.29	0.99	1		
PO ₄ ³⁻ -P	-0.11	0.61	-0.60	-0.38	0.84	0.25	0.84	0.54	0.57	0.76	0.79	1	
SiO ₂ -Si	-0.79	-0.41	-0.13	0.59	-0.46	-0.56	-0.48	-0.71	-0.66	0.13	0.09	-0.46	1