

영산강 하구해역에서의 단순 박스모델에 의한 물질수지

이경식 · 전수경[†]
전라남도해양바이오연구원

Material Budgets in the Youngsan River Estuary with Simple Box Model

Kyeong Sig Lee and Sue Kyung Jun[†]
Jeollanamdo Marine Bio institute

요 약

영산강 하구해역에서 계절별로 물질순환과 영양염 플럭스 특성을 파악하기 위해 단순 박스모델을 이용하여 담수수지, 염분수지, 영양염 물질수지를 산정하였다. 외해, 시스템영역으로 유입되는 계절적 평균담수의 양은 $36.481 \times 10^6 \sim 663.634 \times 10^6 \text{m}^3/\text{month}$ 로 나타났다. 염분수지에 의해 계산된 담수존재량은 $2.515 \times 10^6 \sim 5.812 \times 10^6 \text{m}^3$ 이었고 평균 체류시간은 0.26~2.03일로 계산되었다. 평균체류시간은 계절별로 큰 차이를 보였는데 강우가 집중된 하계 풍수기에는 0.26일의 짧은 체류시간을 보인 반면 추계 갈수기에는 2.03일의 평균체류시간을 나타내었다. 해수교환량은 $1,248 \times 10^6 \sim 9,489 \times 10^6 \text{m}^3/\text{month}$ 으로 하계 풍수기에 해수교환량이 가장 크게 나타났다. 영양염의 부하량은 DIP과 DIN가 각각 2.9~61.22 ton/month, 76.63~1,149.91 ton/month로 계산되었다. 영양염의 체류시간은 DIP의 경우 0.45~1.10일의 범위를, DIN의 경우 0.28~1.92일의 범위를 보였고, 담수체류시간과 비교하면 DIP과 DIN는 하계를 제외한 전 계절에서 담수 체류시간 보다 짧은 체류시간을 보여 영양염이 빠르게 순환되는 것을 알 수 있었다. 특히 DIP는 동계에 외해에서 상대적으로 높은 농도를 보이고 같은 시기에 해수교환에 의한 플럭스가 시스템 영역내로 유입되는 결과를 보여 외부 유입원 존재를 추정하게 하였다.

Abstract – Budgets of fresh water, salt, DIP and DIN in the Youngsan river estuary were estimated seasonally in order to clarify the characteristics of material cycling and flux of nutrients with a simple box model. Inflow volumes of freshwater into system was approximately $36.481 \times 10^6 \sim 663.634 \times 10^6 \text{m}^3/\text{month}$ and existing water mass of freshwater in system calculated by salt budget was approximately $2.515 \times 10^6 \sim 5.812 \times 10^6 \text{m}^3$. Mean residence time of freshwater was calculated to be about 0.26~2.03 day. water exchange $1,248 \times 10^6 \sim 9,489 \times 10^6 \text{m}^3/\text{month}$ assumed with salinity between estuary and adjacent ocean. Inflow mass of DIP and DIN were approximately 2.91~61.22 ton/month and 76.63~1,149.91 ton/month, respectively. Residence times of DIP and DIN were calculated to be 0.45~1.10 day and 0.28~1.92 day, respectively. The ratio of water residence time versus DIP, DIN residence time was calculated that freshwater residence time was longer than DIP, DIN residence time except for summer season. Thus, We assume that circulation of Nutrients in the system will happen rapidly except for summer season. Specially DIP in Winter could assume to outer input source existence because of seawater inflow in system and high DIP concentration in open sea

Keywords: Simple box model(국문), Material budget(국문), Residence time(국문), Salt budget(국문), Nutrient budget(국문)

[†]Corresponding author: jskyung@korea.kr

1. 서론

영산강은 한반도 서남부에 위치하고 있는 국내 4대강 중의 하나로 전남 담양군 용면 용연리 용추봉에서 발원하여 황룡강, 지석천, 고막원천 등 지류를 합쳐 하구언을 통해 서해로 흐르는 총 유역면적 3,371.4 km², 유로연장 136.0 km(본류), 하천연장 1,472 km의 강이다(환경부[2000]). 영산강 하구해역은 북쪽으로 목포시의 도심과 목포항 및 기존 산업시설과 접해있고 남쪽의 영암반도에는 개발사업과 병행하여 조성된 대불공단과 삼호공단이 접해 있으며, 1973년부터 시작된 영산강 유역개발 사업의 일환으로 영산강 상류역 개발에 역점을 둔 제 1단계 사업에 이어 1981년에 제 2단계 사업의 하나로 약 2.5 km 길이의 영산강 하구둑이 건설되어(정명선[1992]) 하구 환경의 큰 변화를 가져왔다.

하구해역에서는 복잡한 생물과정과 물리, 화학적인 변동을 정확히 재현하고 예측하기가 어렵기 때문에 전체의 과정을 단순화시킨 물질 수지의 산정을 통한 물질의 유·출입을 고려하려는 접근방법이 매우 효율적이다. Gordon *et al.*[1996] 복잡한 자연현상을 단순화하고 모든 개개의 과정을 거시적으로 포괄하여 양적인 흐름을 전체적으로 파악할 수 있는 장점을 지닌 단순박스모델(simple box model)의 활용이 매우 유용하다고 밝힌 바가 있는데, 최근에는 LOICZ(Land-Ocean Interaction in Coastal Zone)에서 연안환경에 대한 상태를 정량적으로 예측하기 위해 불확실한 항을 감소시킨다는 목적으로 연안역 물질 flux 또는 물질수송에 관한 연구가 진행 중이며(Gordon *et al.*[1996]) 양자강 유역(Shen *et al.*[2000]), 동경만, 이세만, 오사카만(Simth and Yanagi[1997]), Gulf of Riga (Savchuk and Swaney[1999]), 체사피크만(Boynton *et al.*[1995])등 많은 해역을 대상으로 적용되었다. 국내에서도 낙동강 하구해역(홍 등[2000]), 금강하구해역(김 등[2000]), 금소만(유 등[2002]), 마산만(홍 등[2007])에서 물질수지 계산에 적용된 바가 있다.

본 연구에서는 연안 해역의 물질순환의 특성과 영양염의 양적인 거동을 밝히기 위하여 단순화한 박스모델을 이용하여 영산강 하구해역을 대상으로 2001년~2004년 계절별 담수수지, 염분수지 및 비보존성 영양염 수지를 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역

영산강 하구해역의 물질수지산정을 위한 단순 box 모델의 경계는 Fig. 1과 같다. 고하도를 경계로 하여 가로 150 m, 세로 150 m의 격자로 분할하여 면적을 구했고, 각각의 격자에 수심을 기입한 것을 모두 합해 격자수로 나누어 해역의 평균수심으로 구했으며, 구해진 면적에 평균 수심을 곱한 값으로 대상 해역 내 해수 체적을 구하였다. 위와 같은 방법으로 계산된 해역의 전체 면적은 9,697,500 m², 체적은 85,888,145 m³ 이었다.

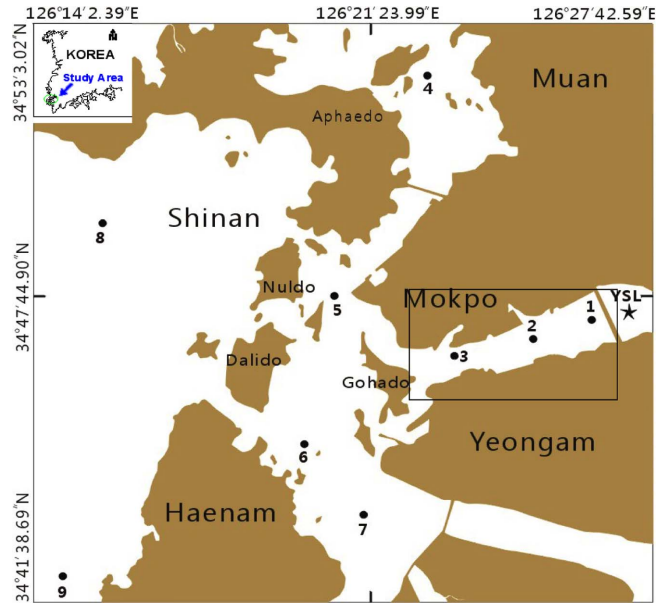


Fig. 1. Map of the system boundaries (Box) and the Youngsasan River estuary (st.1~st.3: syst point, st.4~st.7: ocn point, st.8~st.9: outer point, ★: Youngsasan lake point).

2.2 연구방법

2.2.1 담수수지

시스템의 체적(V)는 유입과 유출에 있어 균형을 이루어 보존된다고 가정한다.

$$\frac{dV}{dt} = V_Q + V_P + V_G + V_O - V_E - V_R \quad (1)$$

여기서 dV/dt 는 모델화한 연안해역에서 수량의 시간변동량(m³/month)이다. V_Q 는 하천수 유입량(m³/month), V_P 는 해면으로의 강수량(m³/month), V_G 는 지하수 유입량(m³/month), V_O 는 공장폐수·하수 유입량(m³/month), V_E 는 해면에서의 증발량(m³/month), V_R 은 외양경계를 통한 유출수량(m³/month)을 나타낸다. 또한 담수존재량(V_i)을 담수 유출량(R)으로 나누어 정의한 담수의 평균체류시간 t_r 는 물질수지모델에서의 시간 scale의 결정요인이 된다.

$$\tau_r = \frac{V_i}{V_R} \quad (2)$$

모델해역 내 담수 존재량(V_i)은 식 (3)과 같고, S_1 은 시스템 내 평균농도, S_2 는 외양의 대표염분을 나타낸다.

$$V_i = \frac{(S_2 - S_1)V}{S_2} \quad (3)$$

2.2.2 염분수지

염분은 해수 중에서 보존성 물질로서 모델영역내에서의 염분변동을 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{d(VS_i)}{dt} = V_Q S_Q + V_P S_P + V_G S_G + V_O S_O - V_E S_1 - V_R S_1 - V_i (S_1 - S_2) \quad (4)$$

여기서 S_1 은 모델영역 내 평균염분농도(%), S_Q 는 하천수의 염분농도(%), S_P 는 강수의 염분농도(%), S_G 는 지하수의 염분농도(%), S_O 는 공장폐수 및 하수중 염분농도(%), S_E 는 증발에 의해 소실되는 염분농도(%), V_X 는 외양경계를 통한 해수교환량(/month), S_2 는 외양의 염분농도(%)를 나타낸다.

S_1 과 S_2 를 제외한 값들은 통상 0으로 가정될 수 있으며, V 를 일정하다고 가정할 때 (4)의 식은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$V \frac{dS_1}{dt} = V_R S_1 + V_X (S_2 - S_1) \tag{5}$$

여기서 해수교환량 V_X 는 정상상태에서의 평균염분자료를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$V_X = \frac{(-V_R S_1)}{(S_2 - S_1)} \tag{6}$$

2.2.3 영양염수지

영양염은 해양에서 생화학적인 과정을 통해 용존성, 현탁성 등 그 형태를 변화시키는 비보존성물질로서 육상으로부터의 공장폐수와 하수, 강수에 의한 농도부하를 무시 할 수 없다. 비보존성 물질의 수지를 수식화 하면 다음과 같다.

$$\frac{V(dY_1)}{dt} = V_Q Y_Q + V_G Y_G + V_O Y_O + V_P Y_P + V_E Y_E + V_R Y_1 + V_X (Y_2 - Y_1) + \Delta Y \tag{7}$$

Y 는 물질의 농도(mg/l), Y_1 은 시스템 내 비보존성 물질의 농도(mg/l), Y_2 는 외양의 농도(mg/l)를 의미한다. 첨자는 염분과 같이 하천유출(Q), 강수(P), 증발(E), 하수(O)를 의미하고 ΔY 는 비보존성물질의 생성 및 소멸항으로서 관측자료로부터 ΔY 를 제외한 모든 자료를 구하여 위 식 (7)에서 ΔY 를 추정한다. ΔY 가 (+)면 생성을, (-)면 소실을 의미한다. ΔY 에는 광합성, 섭식, 포식, 사망, 분해, 퇴적, 용출 등 전체적인 화학, 생물학적 과정에 의한 물질수지가 포함된다고 볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 담수유량수지

영산강 하구해역에서 담수유량 수지를 파악하기 위한 유입인자는 영산강 하구둑 방류량과 대기를 통한 강수유입을 고려하였고 유출인자는 증발과 박스에서의 외해 유출로 정의하였으나, 영산강 인근 시군 생활하수 유입량은 자료가 없어 반영되지 못하여 물질

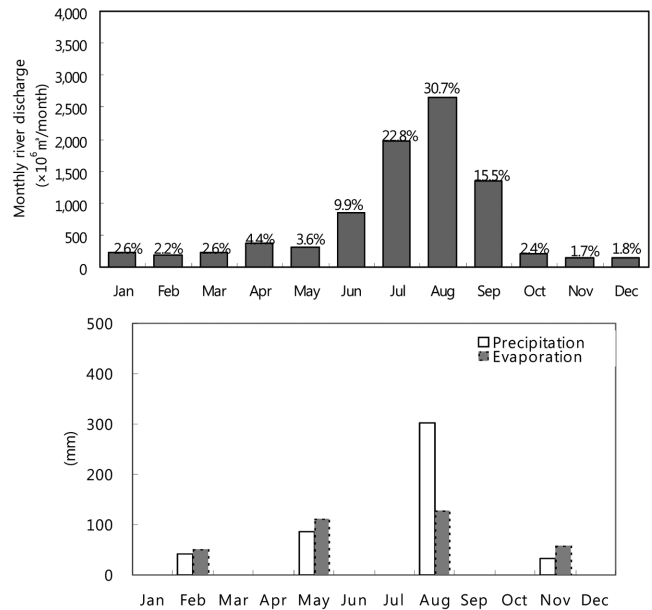


Fig. 2. Monthly mean variation of precipitation and evaporation in study area.

수지 및 체류시간이 다소 불확실하고 제한적일 수 있다.

강수와 증발량은 2001년~2004년까지 목포기상대에서 관측된 자료 중 영양염 자료와 일치 하도록 2월, 5월, 8월, 11월을 평균화하여 겨울, 봄, 여름, 가을 자료로 이용하였다(기상청[2001], [2002], [2003], [2004]). 평균 강수량은 32.9~301.9 mm, 평균 증발량은 50.2~129.0 mm으로 하계에 집중되어 있었다. 그리고 여름철을 제외하고 모든 계절에서 강수량보다 증발량이 더 컸다(Fig. 2). 4년간 영산강 하구둑을 통해 바다로 유출된 월평균 담수 배출 총량은 $8,644.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 이며 8월에 $2,654.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 으로 전체 담수유출량의 30.7%를 차지하여 가장 많았으며 본 논문에서 이용된 담수 배출량 자료는 연구기간 동안의 2월, 5월, 8월, 11월 평균값을 사용하였다. Table 1은 대상유역으로의 계절별 강수, 증발량 및 하천수 유입량을 나타내었으며 식 (1)에서 정상상태 $dV/dt = 0$ 을 가정하여 시스템 밖으로 빠져 나가는 담수 유출량(V_R)을 추정하였다. 담수수지에 의한 담수유출량은 $37.100 \times 10^6 \sim 664.570 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 로 나타났다.

3.2 염분수지

염분수지를 계산하기 위해 박스 내의 해역을 대상해역으로, 박스 바깥해역을 외해역으로 정의하여 2001년에서 2004년까지 계

Table 1. Seasonal mean values of discharge, rainfall and evaporation during 2001~2004

Season	Item	River inflow (V_R) (m^3/month)	Precipitation (V_P) (m^3/month)	Evaporation (V_E) (m^3/month)	Discharge flux (V_Q) (m^3/month)
Spring		76.598×10^6	0.671×10^6	1.093×10^6	77.020×10^6
Summer		664.570×10^6	2.187×10^6	1.251×10^6	663.634×10^6
Autumn		37.100×10^6	1.185×10^6	0.566×10^6	36.481×10^6
Winter		46.579×10^6	0.420×10^6	0.487×10^6	46.646×10^6

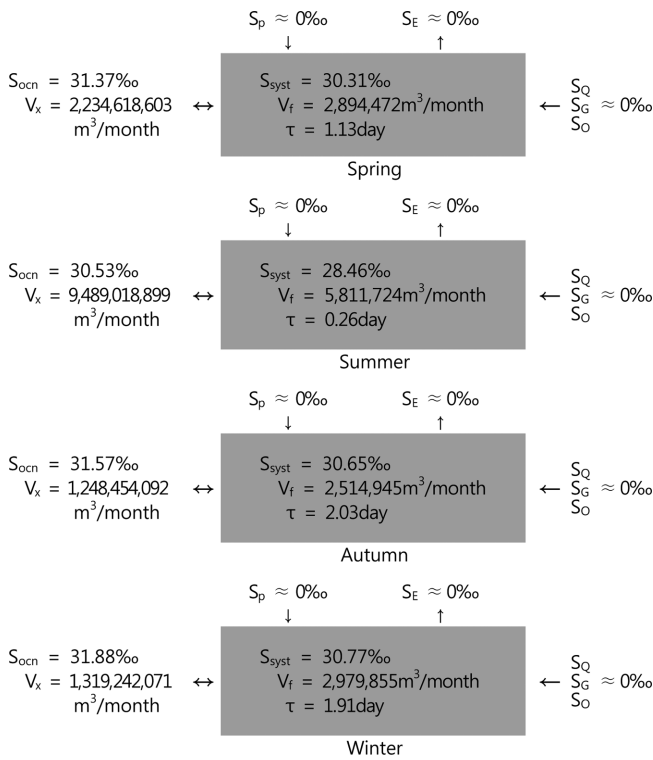


Fig. 3. Box diagram illustrating the salt budget of Youngsan river estuary.

절별 평균 염분농도를 계산하였다. 염분자료는 국립수산과학원 해양수산연구정보 연안환경조사자료(on web) 중 목포 하구해역 조사자료를 이용하여 대상해역과 외해역의 염분농도를 산출하였다. 관측지점은 고하도를 기점으로 대상해역에서 3개 정점, 외해역에서 4개 지점이 조사되었다(Fig. 1). 대상해역의 계절별 평균 염분농도는 28.46~31.88‰의 범위였으며, 인접한 외해역의 염분농도는 30.53~31.88‰이었다. 강우 및 하천을 통한 염분 유입은 무시하였다.

식 (2)-(6)에 의해 계산된 담수존재량, 평균체류시간, 해수교환량을 살펴보면(Fig. 3), 계절별 담수존재량은 $2.515 \times 10^6 \sim 5.812 \times 10^6 \text{ m}^3$ 의 범위로 하계 풍수기에 가장 크고 추계 갈수기에 가장 작았다. 이는 체적이 $212.815 \times 10^6 \text{ m}^3$ 인 금강 하구해역에서 $33.9 \times 10^6 \sim 65.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 범위의 담수존재량(김 등[2000])과 체적이 $248.338 \times 10^6 \text{ m}^3$ 인 낙동강 하구해역의 담수존재량 $64.316 \times 10^6 \text{ m}^3$ (홍 등[2000])에 비해 체적 비율로도 작았다. 영산강 하구해역에서 담수의 평균체류시간은 0.26~2.03일로서 강우집중시기인 하계 풍수기에는 0.26일로 매우 짧은 체류시간을 보인 반면 추계 갈수기에는 2.03일의 평균체류시간을 보였는데 이는 금강 하구해역의 평균체류시간 1.6~10.0일에 비해 짧았고(김 등[2000]), 홍석진[1998]이 낙동강 하구해역에서 구한 연평균체류시간 2.03일과 유사하였으며, 시스템 영역내의 염분이 시간에 따라 변하지 않는다고 가정했을 때, 해수교환량은 $1.248 \times 10^6 \sim 9.489 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 의 범위였으며 하계 해수교환량이 가장 크게 나타났다. 계절별로 계산한 금강하구와 비교해 보면 $534.7 \times 10^6 \sim 2,842.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ (김 등[2000])으로 금

강 하구해역에서의 해수교환량이 체적에 대한 비율로 봤을 때 약 10배 이상 컸다. 영산강 하구해역은 금강 하구해역에 비하여 담수존재량과 해수교환량이 작고 시스템 내 담수체류시간도 짧아 금강 하구해역보다 영산강 하구해역에서 담수순환이 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.3 영양염 수치

대상해역과 외해역의 용존 무기질소(DIN)농도와 용존 무기인(DIP)은 국립수산과학원 해양수산연구정보 연안환경조사자료(on web)와 환경부 물환경정보시스템의 수질측정망(on web) 자료 중 목포 하구해역의 자료를 이용하였으며 여기서 영양염농도는 2001년~2004년까지 계절 평균한 값을 이용하였다. 영산강 유역 생활하수의 영양염 자료는 구하기 어렵고, 강우에 의한 유입은 없는 것으로 간주하였다.

대상해역 내 DIP의 평균농도는 0.007~0.022 mg/L, 외해역의 DIP 평균농도는 0.006~0.012 mg/L였으며, 영산강 방류수의 DIP 평균농도는 0.080~0.122 mg/L로서 영산강에 의한 DIP의 평균 Flux는 5.68~61.22 ton/month이었다. DIN의 경우 대상해역 내에서는 0.174~0.294 mg/L, 외해역에서는 0.117~0.229 mg/L이었으며, 영산강 방류수의 DIN 유입농도는 1.733~4.710 mg/L로 영산강에 의한 DIN의 평균 Flux는 76.63~1,149.91 ton/month로 계산되었다.

영양염 체류시간은 시스템 내부로 유입되는 영양염 부하량에 대한 존재량으로 계산하였으며(Table 2), 시스템 내부의 존재량은 시스템 내 영양염 농도에서 외해역의 기저농도를 뺀 값에 해수의 체적을 곱하여 구하였으며, 이를 한달 동안 시스템 내로 유입하는 양을 나누어 체류시간을 산정하였다(김 등[2000]). 이러한 방법은 물질수송의 비선형성이나 영양염 재순환 등의 복잡한 과정은 고려하지 않은 단순히 유출입의 조건만으로 구한 것이다.

영양염의 체류시간을 살펴보면 DIP의 경우 0.45~1.10일의 범위를, DIN의 경우 0.28~1.92일의 범위를 보였다. 동계의 DIP는 시스템 내에 비해 외해역의 기저농도가 높았는데 이는 1994년부터 2008년까지 15년 동안 동일 지역의 DIP 농도를 살펴본 결과 1994년, 2005년, 2007년, 2008년을 제외하고 모두 외해로 갈수록 높아지는 경향을 보였고, 2005년과 2008년에도 위의 경향과는 다소 다르지만 외해에서 가장 높은 값을 보여(Table 3) 만의 특성을 보이는 동계에 DIP의 체류시간은 계산이 어려웠다. 동계를 제외한 영산강 하구해역에서 DIP의 체류시간은 낙동강 하구해역에서

Table 2. Seasonal residence time of fresh water, DIP, DIN and their ratios

Season	Item	Freshwater t_f (day)	DIP		DIN	
			t_p (day)	t_p/t_f	t_n (day)	t_n/t_f
Spring		1.13	1.09	0.96	0.39	0.35
Summer		0.26	0.45	1.73	0.28	1.08
Autumn		2.03	1.10	0.54	1.92	0.95
Winter		1.91	-	-	0.78	0.41

※ t_f : residence time of fresh water, t_p : residence time of DIP, t_n : residence time of DIN

Table 3. Winter DIP concentration of Youngsan river estuary in from 1994 to 2008

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Avg
DIP _{sys}	0.007	0.002	0.003	0.006	0.012	0.008	0.004	0.015	0.003	0.002	0.008	0.011	0.012	0.016	0.002	0.007
DIP _{ocn}	0.012	0.002	0.004	0.006	0.012	0.007	0.007	0.021	0.006	0.011	0.013	0.004	0.020	0.011	0.001	0.009
DIP _{outer}	0.006	0.005	0.009	0.010	0.016	0.021	0.015	0.025	0.013	0.012	0.023	0.017	0.029	0.010	0.004	0.014

Unit: mg/L

구한 체류시간인 DIP 1.61일, DIN 1.57일(홍석진[1998])과 금강 하구해역에서 DIP의 체류시간 1.1~6.4일의 범위, DIN의 체류시간 1.8~10.9일의 범위(김 등[2000]) 보다 짧은 것으로 나타나 금강과 낙동강에 비해 영양염의 유출이 많음을 알 수 있다. 담수체류시간과 비교해 보면 DIP는 0.54~1.73배, DIN은 0.35~1.08배를 나타내었다. DIP와 DIN 모두 하계를 제외한 전 계절에서 담수 체류시간보다 짧아 영양염이 빠르게 순환되는 것을 알 수 있다. 또한 이들은 Osaka 만과 Tomogashima 해협에서 DIN과 DIP의 체류시간이 약 2달 인 것에 비하여 매우 짧았다(Yanagi[1997], Akira et al[1999]).

대상해역 내에서 DIP와 DIN의 유입량 및 유출량 변화와 단위면적당 변화량을 살펴보면 DIP의 계절별 담수유출에 의한 외해 유출량($V_R \times DIP_R$)은 0.362~11.408 ton/month, 해수교환을 통한 외해 유출량($V_x(DIP_{system} - DIP_{ocean})$)은 1.534~100.425 ton/month의 범위로 나타났으나 동계에는 6.83 ton/month가 시스템내로 유입되고 있어 동계에 영산강 하구해역의 시스템이 바뀌는 것을 알 수 있었다. 식 (7)의 영양염 수치모델을 시스템 영역내의 DIP농도

(DIP_{system})가 시간에 따라 변하지 않는 정상상태로 가정하면 DIP는 갈수기인 추계와 동계에 1.012~12.060 ton/month로 광합성에 의한 소비와 강우시 부유사유출에 의한 퇴적 그리고 외해로의 유출증가로 인하여 소멸되고 있음을 추측 할 수 있었으며 DIP는 춘계와 풍수기인 하계에 각각 0.083, 50.64 ton/month로 생성되고 있음을 알 수 있다(Fig. 4). DIN의 경우 담수유출에 의한 외해 유출량($V_R \times DIN_R$)은 6.028~117.899 ton/month, 해수교환량을 통한 외해 유출량($V_x(DIN_{system} - DIN_{ocean})$)은 70.338~1,154.695 ton/month이다. DIP와 마찬가지로 가정하면 DIN은 하계에 122.68 ton/month으로 생성되는 것을 제외하고 나머지 계절에서는 0.26~176.39 ton/month로 소멸되고 있음을 알 수 있다(Fig. 5).

영산강 하구해역에서 DIN은 풍수기와 갈수기 모두 해수교환을 통한 외해유출이 두드러지게 나타나지만 DIN 수치가 하계에 (+) 값을 보여 소멸보다 생성이 크게 작용하고 담수체류시간에 비하여 긴 DIN 체류시간으로 인하여 하계에 질소의 축적이 예상됨을 알 수 있다. DIP는 담수유입이 많아 하구적 특성을 보이는 하계에는 DIN과 비슷한 변화특성을 보이거나 담수유입이 적어 만의 특

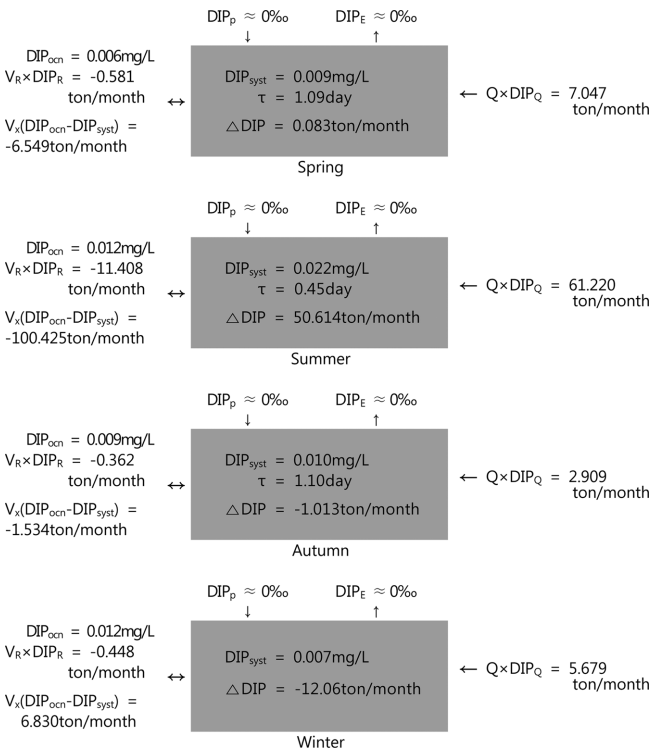


Fig. 4. Box diagram illustrating the DIP budget of Youngsan river estuary.

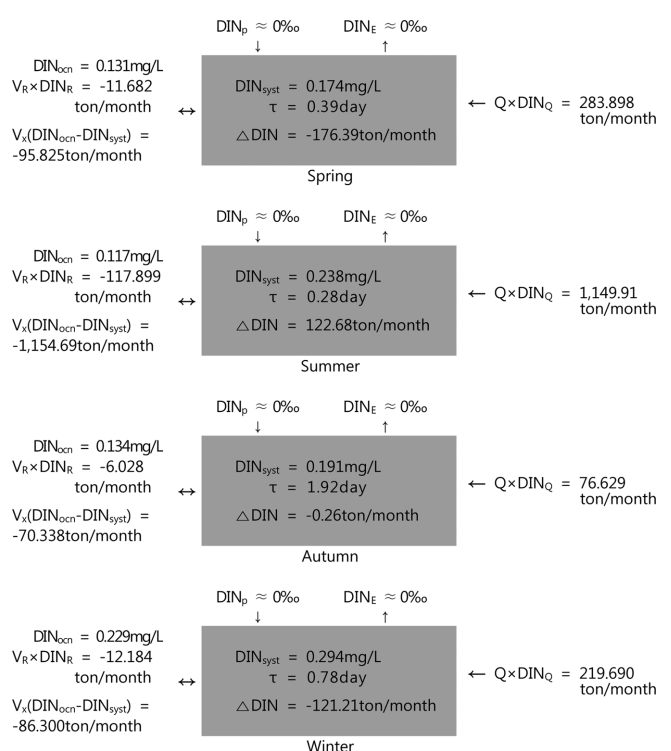


Fig. 5. Box diagram illustrating the DIN budget of Youngsan river estuary.

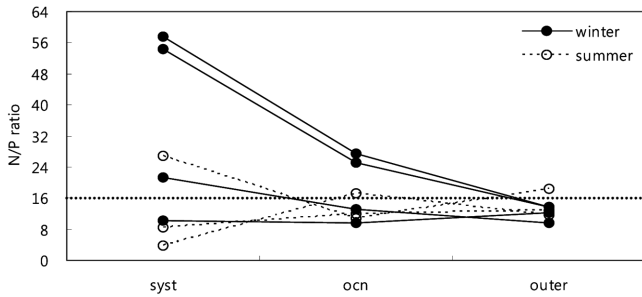


Fig. 6. Winter, Summer mean N/P ratio in Youngsan river estuary during 2001~2004.

성을 보이는 동계에는 시스템 내의 DIP수지 (-)값과 Redfield비 (Redfield *et al.*[1963])를 통한 제한영양염인자로 phosphate가 작용하는 것으로 보아(Fig. 6) DIP가 빠르게 소멸된다는 것을 추측할 수 있다.

이런 계절적 변화는 금강 하구해역의 계절변화와의 비교에 있어 다소 다른 경향을 보였는데 하계에 강우 유입에 따른 담수량 증가로 내부로 유입된 DIP와 DIN의 유출이 두드러지게 증가하여 (김 등[2000]) 대체로 영양염이 생성되는 영산강 하구해역의 하계 변화양상과 달랐다. 또한 DIP의 경우 갈수기에는 영산강 하구해역에서는 소멸되는 반면, 금강 하구해역에서는 생성이 되는 양상을 보였고 DIN은 금강 하구해역에서 생성이 되는 봄과 가을철에 영산강 하구해역에서는 소멸이 되는 양상을 보였다. 이는 각 하구해역에서 방출되는 담수 배출량과 체적, 체류시간 등의 차이가 복합적으로 작용했기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

영산강 하구해역을 대상으로 하여 박스모델을 이용한 담수, 염분수지 및 영양염 수지를 계산한 결과는 다음과 같다.

(1) 영산강 하구해역으로 유입되는 담수의 양은 계절적으로 $36.481 \times 10^6 \sim 663.634 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 로 나타났다.

(2) 염분수지에 의해 계산된 담수존재량은 $2.515 \times 10^6 \sim 5.812 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이었고, 담수의 평균 체류시간은 0.26~2.03일로 강우가 집중된 하계 풍수기에는 0.26일의 짧은 체류시간을 보인 반면 추계 갈수기에는 2.03일의 평균체류시간을 나타내었다.

(3) 영양염 수지로 계산된 영산강에 의한 DIP와 DIN 유입flux는 각각 5.68~61.22ton/month, 76.63~1,149.91ton/month의 범위로 계산되었다.

(4) 영양염의 체류시간을 보면 DIP의 경우 0.45~1.10일의 범위를, DIN의 경우 0.28~1.92일의 범위를 보였고 담수 체류시간과 비교하면 DIP는 0.54~1.73배, DIN은 0.35~1.08배를 나타내었다.

(5) DIP와 DIN은 하계를 제외한 전 계절에서 담수 체류시간보다 짧아 영양염 순환이 빠르게 나타났으며 DIN은 하계에 담수 체류시간보다 긴 체류시간과 더불어 다른 계절과 달리 DIN 수지도 (+) 값을 나타내어 영산강 하구에서는 하계에 질소 축적이

일어남을 알 수 있었으며, DIP는 동계에 해수교환을 통해 외해로 유출되기 보단 유입되고 이 때 유입되는 외해의 DIP는 시스템 내의 것 보다 높아 외부의 유입원이 존재함을 간접적으로 나타내고 있으며, 유입원에 대한 구체적인 정보는 추후 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문에 대한 애정 어린 조언을 해 주신 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 국립수산물품질관리원 해양수산물연구정보 <http://portal.nfrdi.re.kr/envirodata>, 2001~2004.
- [2] 기상청, 2001, 기상연보, 119pp.
- [3] 기상청, 2002, 기상연보, 125pp.
- [4] 기상청, 2003, 기상연보, 125pp.
- [5] 기상청, 2004, 기상연보, 125pp.
- [6] 김종구, 김동명, 양재삼, 2000, "Box 모델을 이용한 금강 하구해역의 물질수지 산정", 한국해양환경공학회지, 3, 76~90.
- [7] 유재원, 홍재상, 양성렬, 박 경, 2002, "Box model을 이용한 서해 곰소만 하전 갯벌의 질소 수지", 한국해양학회지 바다, 7, 257~266.
- [8] 정명선, 1992, "목포 연안역 개발에 따른 연안수역 변화에 관한 연구", 한국해양대학교 박사학위논문, 124pp.
- [9] 홍석진, 1998, "낙동강 하구해역의 담수, 질소 및 인수지", 부경대학교 석사학위논문, 25pp
- [10] 홍석진, 이대인, 김동명, 박청길, 2000, "낙동강 하구해역에서의 단순박스모델에 의한 물질수지", 한국해양환경공학회지, 3, 50~57.
- [11] 홍석진, 이원찬, 윤상필, 박성은, 조윤식, 권정노, 김동명, 2007, "마산만의 자생 유기물 저감을 위한 단순 박스모델의 적용", 해양환경안전학회지, 13, 111~118.
- [12] 환경부 물환경정보시스템 <http://water.nier.go.kr/>, 2001~2004.
- [13] 환경부, 2000, 호남의 생명수 지키기 대역사 - 영산강수계 물관리종합대책, 37pp.
- [14] Akira Hoshika, Terumi Tanimoto and Yasufumi Mishima, 1999, "Current and Material Transport at Tomogashima Strait", Journal of Oceanography, Vol. 55, 427~437.
- [15] Boynton, W.R., Garber, J.H., Summers, R., Kemp., W.M., 1995, "Inputs, transformations, and transport of nitrogen and phosphorus in Chesapeake Bay and selected tributaries", Estuaries, Vol. 18, 285~314.
- [16] Gordon, D.C. Jr., Boudreau, P.R, Mann, K.H., Ong., J.-E., Silvert, W.L., Smith, S.V., Wattayakorn, G, Wuff. F. and Yanagi, T., 1996, "LOICZ Biogeochemical Modeling Guideline". LOICZ Reports & Studies No. 5.
- [17] Redfield, A. C., Ketchum, B. and Richards, F. A., 1963, The influence of organisms on the composition of seawater. In : The

- sea, 2, M.H. Hill. ed. Wiley. New York, 26~77.
- [18] Savchuk O. P., Swaney D. P., 1999, Water and Nutrient Budgets of the Gulf of Riga.
- [19] Shen, H.T., Huang, Q.H. and Liu, X.C., 2000, Fluxes of the dissolved inorganic nitrogen and phosphorus through the key interfaces in the Changjiang estuary.
- [20] Smith S. V. and Yanagi T., 1997, NP Budgets for three Japanese Bays.
- [21] Yanagi, T., 1997, "Water, Salt, DIP and DIN budgets in Tokyo, Ise and Osaka bay", Bull. Coastal Oceanogr., Vol. 35, 72~77.
-
- 2009년 6월 12일 원고접수
2009년 7월 6일 심사완료
2009년 9월 24일 수정본 채택