

낙동강 하구해역에서의 단순 박스모델에 의한 물질수지

홍석진⁽¹⁾, 이대인⁽¹⁾, 김동명⁽¹⁾, 박청길⁽²⁾

Material Budgets in the Nakdong River Estuary with Simple Box Model

by

Suk-Jin Hong⁽¹⁾, Dae-In Lee⁽¹⁾, Dong-Myung Kim⁽¹⁾ and Chung-Kil Park⁽²⁾

요 약

낙동강 하구해역에서의 물질순환과 영양염 flux의 특성을 파악하기 위해 단순박스 모델을 이용하여 담수수지, 염분수지, DIN과 DIP의 물질수지를 산정하였다.

하구와 인근해역의 염분으로 산정한 수지에 의해, 모델영역으로 유입되는 담수의 양은 $0.94 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{month}$ 였고, 해수에 의한 교환량은 $2.7 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{month}$ 였으며, 담수의 체류시간은 2.03 day으로 나타났다. 영양염의 부하량은 DIN과 DIP가 각각 $3.7 \times 10^3 \text{ ton/month}$, 69.4 ton/month 로 나타났다. 유입 DIN의 2.6%와 유입 DIP의 8.6%가 식물플랑크톤에 의해 섭취되고 있고, 장림하수처리장에서의 영양염 부하량은 모델영역으로 유입되는 질소부하량의 16%, 인부하량의 10.2%를 차지하고 있다

Abstract

Budgets of fresh water, salt, DIN and DIP in the Nakdong river estuary were estimated in order to clarify the characteristics of material cycling and fluxes of nutrients with a simple box model. Freshwater inflow into this system was approximately $1.1 \text{E}+10 \text{ m}^3/\text{y}$, water exchange was $3.3 \text{E}+10 \text{ m}^3/\text{y}$ and water residence time was 2.03 day assumed with salinity between estuary and adjacent ocean. Nutrients loadings were $3.2 \text{E}+09 \text{ mol DIN/y}$, 3.7×10^3 , $2.7 \text{E}+07 \text{ mol DIP/y}$, respectively. net ecosystem metabolism was $2.4 \text{E}+07 \text{ mol C/y}$. Although the Nakdong river discharge was the main source of nutrients but Jang-rim sewage treatment plant effluent take parts of 16% of nitrogen and 10.2% of phosphorus loadings.

Keywords: Nakdong river Estuary, Simple-box model, Material budget

(1) 부경대학교, 환경공학과

(2) 정회원, 부경대학교, hohg@mail.pknu.ac.kr

1. 서론

낙동강은 상류도시에서의 공단조성과 낙동강 하구둑 축조로 인한 강의 호수화 등에 의해 수질오염과 생태계변화가 가중되고 있으며, 하천수가 유출되는 하구해역에서도 오염문제가 피할 수 없는 현실에 놓여있다. 특히, 국내에서 유일하게 잘 발달된 하구사주의 내측은 해역의 부영양화 기준을 훨씬 초과하는 과영양단계의 수질을 보이고, 이러한 측면에서 하구내부의 수질을 효과적으로 관리하기 위해서 주요물질의 거동을 파악함이 중요한 과제라 하겠다. 그런데, 하구역에서는 복잡한 생물 과정과 물리, 화학적인 변동을 정확히 재현하고 예측하기가 어렵기 때문에 전체의 과정을 단순화시킨 물질 수지의 산정을 통한 물질의 유·출입을 고려하려는 접근방법이 매우 효과적이라고 할 수 있겠다.

따라서, 본 연구에서는 낙동강 하구해역에서 물질순환의 특성과 영양염의 양적인 거동을 밝히기 위하여 단순화한 box모델을 이용하여 담수, 염분, 질소와 인 수지를 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역

대상해역의 물질수지산정을 위한 단순 box모델의 경계는 Fig. 1과 같다

울속도와 명지·녹산과 진해만을 향하는 수로를 거쳐 가덕도 동안과 장림에서 다대포서안 남단의 쥐섬(鼠島)을 연하는 선과 남쪽으로는 개방된 가덕도 남부해안을 경계로 하여, 가로 250m, 세로 250m의 격자로 분할하여 면적을 구했고, 각각의 격자에 수심을 기입한 것을 모두 합해 격자수로 나누어 해역의 평균수심으로 구했으며, 구해진 면적에 평균수심을 곱한 값으로 대상해역의 체적, 즉 대상 해역내의 해수의 체적을 구했다. 이런 방법으로 계산된 해역의 전체 면적은 121,125,000m² 이었으며, 체적은 248,337,500 m³이었다

2.2 연구방법

전체적인 연구방법의 단계는 1) 물(水) 수지의 산정, 2) 염분 수지의 산정, 3) 비보존성 물질수지 산정, 4) 비보존성 물질간의 화학양론적인 관계 고찰 등의 순서로 연구를 수행하였다. 물질 수지의 산정과정은 Gordon [1994] 등을 따랐다.

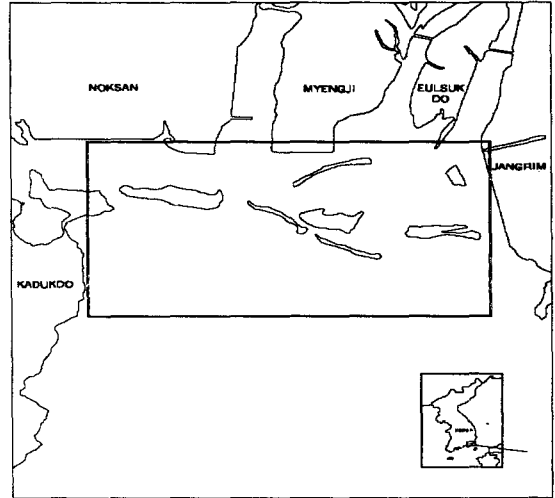


Fig. 1 Map of the system boundaries and the Nakdong River estuary.

2.2.1 담수수지

물은 자연계에서 보존된다. 즉, 모델영역내의 수량의 시간변동은 모델영역으로의 수유입량으로부터 유출량을 뺀 것과 같다.

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

여기서, dV/dt 는 모델화한 연안해역에서 수량의 시간변동량(m³/month)이다. V_Q 는 하천수의 유입량, V_P 는 해면으로의 강수량, V_G 는 지하수의 유입량, V_O 는 공장폐수·하수 등에 의한 수유입량, V_E 는 해면으로부터의 증발량, V_R 은 모델화한 연안해역에서 외양경계를 통해 외해로 빠져나가는 담수유출량을 나타낸다. 또, 모델영역내의 담수 존재량을 담수 유출량으로 나누어 정의되는 담수의 평균체류시간 τ_f 는 물질수지 모델에서의 시간 스케일을 결정하는 기본이 된다.

$$\tau_f = \frac{V_f}{V_R} \quad (2)$$

$$V_f = \frac{S_{OCEAN} - S_{SYSTEM}}{S_{OCEAN}} V \quad (3)$$

모델 해역내의 담수존재량 V_f 는 (3)식에서 추정할 수 있다. 여기서, S_{SYSTEM} 는 모델영역내의 평균 염분, S_{OCEAN} 는 외양의 대표염분, V 는 모델 영역의 체적을 나타낸다.

2.2.2 염분수지

염분은 해수 중에서 생·화학적인 과정을 통해 그 형태를 변화하지 않는 비보존성물질(conservative material)이므로, 염분수지는 다음 식의 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d(V S_{SYSTEM})}{dt} = & V_Q S_Q + V_P S_P \quad (4) \\ & + V_G S_G + V_O S_O \\ & - V_E S_E - V_R S_{SYSTEM} \\ & - V_X (S_{SYSTEM} - S_{OCEAN}) \end{aligned}$$

여기서, S_I 는 모델영역내의 평균염분, S_Q 는 하천수의 염분, S_P 는 우수의 염분, S_G 는 지하수의 염분, S_O 는 공장배수·하수의 염분, S_E 는 증발에 의해 소실되는 염분, S_R 모델영역과 외양간의 평균염분, V_R 은 모델영역 밖으로의 잔차 유량을 나타내고, V_X 는 외양경계를 통한 해수교환량을 나타낸다. S_{SYSTEM} 과 S_{OCEAN} 이외는 거의 0이기 때문에, 모델영역의 체적 V 를 일정하다고 생각하면, (4)식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V \frac{d S_{SYSTEM}}{dt} = & - V_R S_R \quad (5) \\ & - V_X (S_{SYSTEM} - S_{OCEAN}) \end{aligned}$$

전항은 이류에 의한 담수의 유출을, 후항은 계방경계를 통한 해수교환을 나타내는데, S_R 은 모델영역내·외의 평균염분값을 적용한다. (5)식에서는 미지의 항은 V_X 뿐이다. 따라서, (6)식을 이용하여 얻어진 V_X 를 사용하여 비보존성 물질의 수지를 구한다. 해수교환량 (V_X)은,

$$V_X = \frac{V_R S_{SYSTEM}}{(S_{SYSTEM} - S_{OCEAN})} \quad (6)$$

모델영역과 표층의 농도구배를 비교하기 위한 인접한 외해의 염분 및 영양염 농도는 내만이나 폐쇄된 해역의 경우와는 달리 모델 영역에서 보다

멀리 떨어진 외양으로 설정하였다.

2.2.3 영양염 수지

질소나 인과 같은 영양염은 해양에서 화학, 생물 과정에 의해 용존성, 현탁성으로 형태가 변하며 (non-conservative material) 육상으로부터의 공장 폐수나 강수에 의한 농도부하를 무시할 수 없다. 비보존성 물질의 수지를 수식화 하면,

$$\begin{aligned} V \frac{d Y_{SYSTEM}}{dt} = & V_Q Y_Q + V_P Y_P \quad (7) \\ & + V_G Y_G + V_O Y_O - V_E Y_E - V_R Y_R \\ & - V_X (Y_{SYSTEM} - Y_{OCEAN}) + \Delta Y \end{aligned}$$

여기서, Y 는 물질농도를 나타내는데 Y_{SYSTEM} 은 시스템내의 비보존 물질의 농도, Y_{OCEAN} 는 인접한 외양의 농도를 나타낸다. 첨자는 염분의 경우와 같이 하천의 유출(Q), 강우(P), 증발(E), 하수(O)를 뜻한다. 보존물질의 수지에 관한 (4)식과 비보존물질에 관한 (7)식의 차이점은, 비보존물질의 생성, 소멸항 ΔY 이다.

인의 경우로 예를 들면, 모델영역내로 유입된 DIP로부터 담수유출이나 해수교환에 의해 모델영역 밖으로 유출하는 DIP를 빼서 얻어진 ΔP 의 sink(-)와 source(+)로 나타낼 수 있는데, 모델영역내에서 ΔP 의 부분만큼 DIP가 생물체에 흡수되어 OP(Organic Phosphorus, 유기인 = Particulate Organic Phosphorus, 입자성유기인 + Dissolved Organic Phosphorus, 용존성유기인)로 변환되거나, 입자물질에 흡착하여 해저에 퇴적하거나 그대로 만 외로 유출할 수도 있고, 저질로부터 용출되어 증가될 수도 있으며 또는 내부생산에 의해 순환될 수도 있어서, ΔP 에는 광합성, 섭식, 포식, 사망, 분해, 퇴적, 용출등 전체의 화학, 생물과정에 의한 물질수지가 포함한다고 볼 수 있다.

2.2.4 화학양론적 고찰

질소, 인, 탄소 등의 생물 친화적인 원소는 해수중의 화학, 생물과정에 관하여는 독립적으로 순환하고 있는 것이 아니라, 일정비율(Redfield 비)로 해수중의 화학, 생물과정에 관여한다. 그래서, 이들 물질의 화학양론적 관계를 이용하여 물질수지를 계산하고 대상모델 내에서 일어나는 화학 생물과정에 대한 이해를 구하고자 시도하였다.

식물플랑크톤세포에서 C:N:P = 106:16:1의 Redfield비를 이용하여, 기초생산과 호흡의 차

(p-r)를 다음과 같이 정의 하였다.

$$\begin{aligned} & \text{primary production} - \text{respiration} \\ & = \text{NEM}(\text{net ecosystem metabolism}) \end{aligned}$$

또, 질소, 인, 탄소와 같은 3개의 비보존물질 중에서는, 인의 거동이 가장 단순하다. 즉, 인은 해수중에서 용존 무기인산인(PO₄-P, DIP, Dissolved Inorganic Phosphorus)과 용존 유기인(DOP, Particulate Organic Phosphorus), 입자상 유기인(POP, Particulate Organic Phosphorus) 등이 주로 존재하고, 가스상태로는 존재하지 않는다. 용존 유기인(DOP) 또한 수중 환경에 존재하며 생산되거나 소비되지만, DIP와 비교하여 양적으로 미미하다고 볼 수 있겠다. 입자상 인의 거동은 명확히 알 수가 없는데, 입자상 인은 유기물과 무기물의 형태로 존재하고 생물과정에도 포함되기 때문이다. 일반적으로 해역에서 용존인에서 입자상 인으로의 전환은 유기물질의 생성을 의미한다.³⁾ 따라서, ΔDIP (단위시간당의 DIP의 생성 또는 소멸율)와 $(\text{C/P})_{\text{part}}$ (입자태의 탄소와 인의 비, 일반적으로는 106)를 알면, (p-r)(net ecosystem metabolism, NEM), 즉 단위시간당의 무기탄소의 생성·소멸율의 대략적인 산정이 가능해진다.

$$(p-r) = -\Delta\text{DIP} \times (\text{C/P})_{\text{part}} \quad (8)$$

여기에서, $(\text{C/P})_{\text{part}}$ 는 반응하는 입자상물질의 C:P비이다. 본 연구에서는 Redfield의 C:P비(106:1)는 $(\text{C/P})_{\text{part}}$ 의 값을 사용하였다.

질소 순환은 인이나 탄소보다 훨씬 복잡하고, 단순한 질소의 유기물질로 흡수나 해리라고 하기 보다는 훨씬 더 복잡한 생물·화학적인 거동이 포함되지만, 화학량론적인 분석을 이용하여 종합적인 산정을 시도할 수 있다. 즉, 식물플랑크톤에 의해 흡수된다고 기대되는 질소의 양을 ΔN_{exp} 라 하

고, 시스템에서의 입자상 물질의 N:P의 비를 $(\text{N/P})_{\text{part}}$ 라고 하면,

$$\begin{aligned} \Delta N_{\text{exp}} & \equiv (\Delta\text{DIN} + \Delta\text{DON})_{\text{exp}} \\ & = (\Delta\text{DIP} + \Delta\text{DOP}) \times (\text{N/P})_{\text{part}} \quad (9) \end{aligned}$$

의 형태로 나타낼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 담수수지

담수수지는 Fig. 2에 나타내었다. 식 (1)에서 정상상태 $\frac{dV}{dt} = 0$ 을 가정하면, 시스템 밖으로 빠져나가는 담수 유출량(V_R)은 $1.1\text{E}+10\text{m}^3/\text{y}$ 로 나타났고, 낙동강 하구둑을 통한 담수 총 유입 (V_Q)은 $1.1\text{E}+10\text{m}^3/\text{y}$ 로 총 담수 유입의 대부분(98.9%)을 차지하고 있다. 이것은 1990년부터 1997년까지의 하구둑 방류량(한국수자원공사, [1990~1997])을 평균한 값으로, 월평균 411,776,000~1,587,334,000 m³에 분포하였고, 강우량의 변동(부산지방기상청, [1992~1997])에 크게 좌우되고 있다.

또한, 하구축을 통한 담수입력량 외에 공단과 생활하수를 처리하는 장립하수처리장으로부터의 평균담수입력량(V_O)(홍석진 [1998])은 $1.1\text{E}+08\text{m}^3/\text{y}$ 였다. 1992년부터 1997년까지의 평균자료를 사용한 강수량(V_P)과 증발량(V_E)은, 각각 1,296mm/year, 1,165mm/year였다. 해수면에서의 강수(V_P)와 증발(V_E)에 의한 물의 유·출입은 강수량과 증발량의 평균값에 해역의 면적을 곱하여 산출하였는데, 각각 $1.6\text{E}+08\text{m}^3/\text{y}$ 와 $-1.4\text{E}+08\text{m}^3/\text{y}$ (부산지방기상청, [1990~1997])으로 나타났다

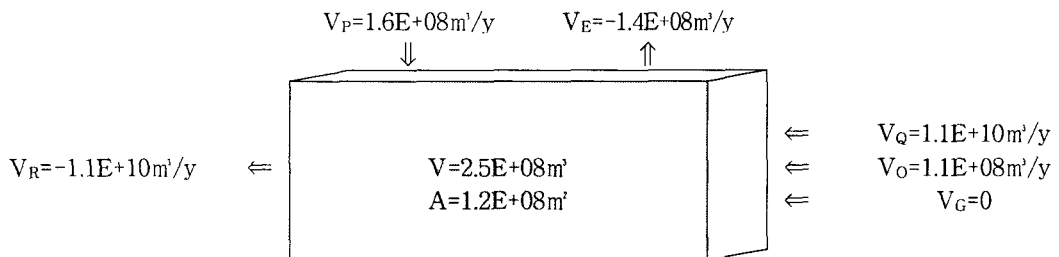


Fig. 2 Box diagram illustrating the water budget of the Nakdong River estuary.

유입되는 지하수량은 명백히 알 수가 없고, 발표된 자료가 부족하여 담수수지 중에서는 0으로 하였다.

3.2 염분수지

염분수지는 Fig. 3에 나타내었다. 모델 영역내의 평균 염분 값은 24.95이었으며(최혜지 [1990]), (부산시 건설관리본부 [1994~1997]), 인접한 외해의 염분 값은 33.67이었다(국립수산진흥원 [1995~1996]). 강우(S_p)나 하수(S_o)의 염분 농도와 하천수에서의 염분농도는 0으로 하였다. 식 (2)와 (3)에 의해 구한 담수의 존재량과 담수의 평균 체류시간은 각각 $64,315,503\text{m}^3$ 과, 2.03일 이었다. 하구역이면서 시스템 체적이 $1.8 \times 10^9\text{m}^3$ 인 solent강 (Smith [1996])의 19일, $1.6 \times 10^8\text{m}^3$ 인 Bang Pakong강 (Wattayacorn [1996])의 5일, $2.25 \times 10^9\text{m}^3$ 인 Hau강 (Phan Minh Thu, 2000)의 4일과 비교하여도 상당히 체류시간이 짧은 것을 알 수 있는데, 반 폐쇄성의 내만인 일본의 동경만(1개월), 이세만(0.9개월), 오사카만(1.9개월)등(T.Yanagi [1997])과 비교할 때, 극히 체류시간이 짧은 것으로 보아서 이는 외양으로 개방되어 있는 하구해역의 성격이 반영

된 것으로 사료된다. 모델영역내의 염분이 시간에 따라 변하지 않는다고 가정하면, 식 (6)에 의해 구한 해수교환량은 $3.3\text{E}+10\text{m}^3/\text{y}$ 로 담수유출량의 약 3배에 해당하였다.(Gordon [1994]).

3.3 영양염 수치

DIP수지는 Fig. 4에 나타내었다. 낙동강 하구둑 수문을 통한 유입 하천수 중의 DIP농도(Y_Q)는 $0.52 \sim 8.97\text{mol}/\text{m}^3$ 의 농도 범위를 보였고(낙동강연구센터 [1997]), 그 평균값인 $2.13\text{mol}/\text{m}^3$ 를 유입 DIP 농도로 사용하였다.

장립하수처리장의 방류수중의 DIP농도(Y_O)는 $27.58\text{mol}/\text{m}^3$ 를 사용하였고(홍석진 [1998]) 강수에 의한 부하(Y_P)는 무시할 수 있는 작은 양으로 간주하였다. 또한, 이류에 의해 외양으로부터 모델영역내로 유입하는 부하는 없다고 가정하였다.

외양의 DIP농도(Y_{OCEAN})는 $0.29\text{mmol}/\text{m}^3$ 이고, 하구사주 내부에 대해서는 1994년~97년의 실측자료와 외측은 최(최혜지 [1990])의 연구자료를 바탕으로 각각의 연평균 자료를 종합한 모델영역내의 인 농도(Y_{SYSTEM})는 $0.77\text{mol}/\text{m}^3$ 이다. 낙동강 하구둑과 장립하수처리장을 통해 모델 영역내로 유입

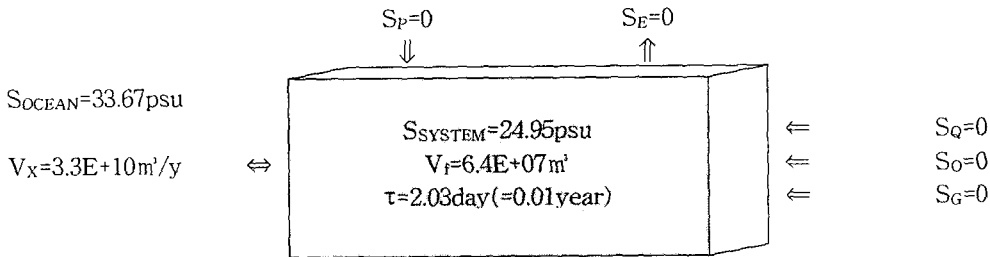


Fig. 3. Box diagram illustrating the salt budget of the Nakdong River estuary.

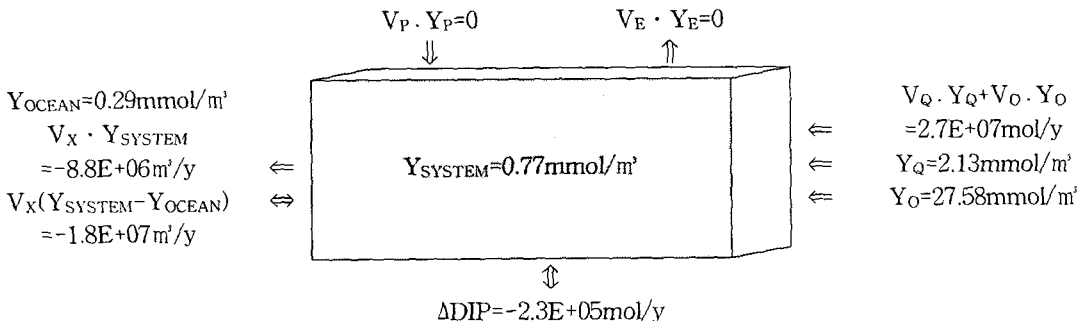


Fig. 4. Box diagram illustrating the DIP budget of the Nakdong River estuary.

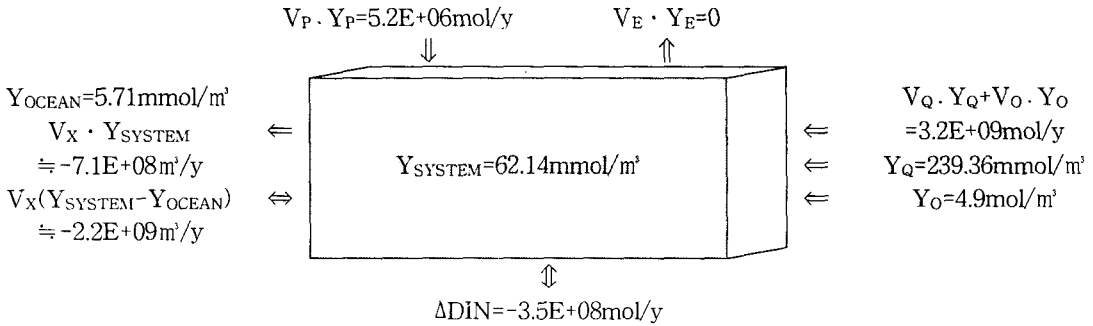


Fig. 5. Box diagram illustrating the DIN budget of the Nakdong river estuary.

하는 DIP flux는 약 $2.7 \times 10^7 \text{ mol/y}$ 인데, 이중에 하천에 의한 부하가 $2.40 \times 10^7 \text{ mol/y}$ 로 전체 부하의 89.8%를 차지하고 있고, 장림 하수처리장에 의한 부하가 $2.91 \times 10^6 \text{ mol/y}$ 로 전체 유입되는 부하의 10.2%에 해당하고 있는 것을 알 수 있었다. 특히, 하수처리장의 방류수에 대해서는 전질소(TN)와 전인(TP)의 자료만이 사용 가능하여 유입수의 성상에 따라 다소 차이는 있겠지만, 宗¹¹⁾의 장림 하수처리장과 같은 활성오니에 의해 처리되는 방류수중의 전질소·전인에 대한 실측치에 의한 용존 무기질소와 인의 비(각각, 95%, 96%)를 적용하여 DIN과 DIP로 계산하였다.

담수유출에 의한 외해유출량($V_X \cdot Y_{SYSTEM}$)은 $8.8E+06 \text{ m}^3/\text{y}$ 이고, 해수교환을 통한 외해유출량($V_X(Y_{SYSTEM}-Y_{OCEAN})$)은 $1.8E+07 \text{ m}^3/\text{y}$ 이다. 식 (7)의 영양염 수치모델을 모델영역내의 DIP농도(Y_{SYSTEM})가 시간에 따라 변하지 않는 정상상태를 가정하면, 모델영역에서 DIP는 $2.3E+05 \text{ mol/y}$ 가 흡수(sink)되고 있음을 알 수 있다.

DIN의 수지는 Fig. 5에 나타내었다. 하천의 유입농도(Y_Q)은 4.9 mol/m^3 였다. 강우에 의한 부하는 김해지방의 강수 중에 존재하는 화학물질에 관한 연구⁵⁾를 참고하였다. 인의 경우는 검출이 되지 않거나 무시할 수 있는 정도이지만, 질산이온의 경우 평균 약 33.21 mmol/m^3 로 장림 하수처리장 유출수(Y_O)에 의한 부하의 1%에 해당하는 $5.2E+06 \text{ mol/y}$ 이 유입되는 것으로 사료된다.

하수처리장의 부하는 전체 질소부하의 약 16%를 차지하는 $5.1E+08 \text{ mol/y}$ 로 수심이 얕은 하구사주 내측에 대해 방류수가 유출되어 초기 희석시 큰 오염원이 될 것으로 생각되었다. 물질수지에 의해 모델영역에서 DIN은 $3.5E+08 \text{ mol/y}$ 가 흡수(sink)되고 있음을 알 수 있다.

유사한 관점에서 일정 기간동안 유입되는 부하

량에 대해 모델영역 내부의 존재하는 영양염에 대한 체류시간을 계산하였다(Table 4). 이는 모델영역 내의 영양염농도에서 외양의 기저농도를 뺀 값을 일정기간동안 모델영역내로 유입하는 부하량으로 나누고 모델영역의 전체 체적을 적용하여 계산하였는데, 이것은 물론 기저농도와 이 값의 설정에 따른 차이, 물질수송의 비선형성, 영양염의 재순환 등의 복잡한 과정을 고려하지 않고 단순하게 고려한 것이다. 그 결과 인의 경우 체류시간이 약 1.9일, 질소의 경우 1.6일로 나타났다. 반폐쇄성의 내만의 경우 담수의 체류시간과 비교할 때 인의 경우 1.2~1.7배, 질소의 경우 1.0~1.6배 정도의 비율인데 반해, 본 대상해역에서는 인이 0.93배, 질소가 0.79배로 담수의 체류시간보다 짧았다. 즉, 물 자체의 위치변화에 비해서 영양염이 빠르게 순환되고 있다는 것을 알 수 있었다.

Table 4 Average residence times of fresh water, DIP, DIN and their ratios

Item	Residence time(day)
Fresh water(τ_f)	2.03
DIP(τ_P)	1.88
τ_P / τ_f	0.93
DIN(τ_N)	1.60
τ_N / τ_f	0.79

3.4 화학양론적 고찰

Table 5에 비보존물질의 플럭스중에서 ΔDIP , ΔDIN 의 계산 값을 요약하였다.

Table 5 Estimated rates of nonconservative nutrients fluxes, Δ DIP, Δ DIN and Δ N_{exp}, (p-r) in the Nakdong river estuary

Item	estimated values (mol/y)
Δ DIP	-2.3E+05
Δ DIN(Δ N _{obs})	-3.5E+08
Δ N _{exp}	-3.7E+06
net ecosystem metabolism(p-r)	2.4E+07

Δ DIP가 모두 광합성에 이용되고 있다고 가정하고 방정식 (8)을 이용하여 계산하면 영양염에 의한 순 생태계 대사는(p-r)은 2.4E+07molC/y로 이 양만큼 탄소가 고정된다. 역시, 본 해역에서 입자상 물질의 C:N:P 비가 조사된 바가 없으므로 Redfield 비를 사용하여, Δ N_{exp}를 구하면, Δ DIP \times (N/P)_{part} = -3.7E+06mol/y로 수지에 의한 값(Δ N_{obs})인 -3.5E+08mol/y와는 큰 차이가 나는 것을 알 수가 있다. 이것은 질소에 관해서는 실제 해양 환경 중에서 탈질 또는 침강 등에 의해 소실되는 부분이 매우 크다(Seitlinger [1998])는 것과는 관련이 있다.

물론, 여기에서 산정한 영양염 플럭스의 양적인 관계는 매우 단순화된 형태의 것이어서 유입되는 입자상물질의 양과 그에 따른 입자의 침강·용출, 생성된 입자성 물질로부터의 영양염 재순환, 또는 해수유동적인 측면을 고려한 물질이송 등의 관계를 세부적으로 고려할 때와는 다소 차이가 있을 수 있다고 보고 있으며, 모델영역 내부에서는 양식장(해조류와 굴 등)은 고려하기가 어려웠다. 그러므로, 본 해역의 생산량이나 입자상 물질내의 영양염 및 수질과 저질환경에 대한 보다 세부적·종합적이며 다양한 자료를 구축할 수 있는 연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 생각되어진다.

4. 결 론

낙동강하구해역을 대상으로 연안과 외양의 염분, 영양염의 농도차이를 이용한 물질수지 모델에 의해 담수, 질소 및 인의 수지를 산정하였다.

1. 하구해역에서의 이류에 의한 담수 유출량은 1.1E+10m³/y로 이중에서 낙동강 물이 1.1E+10m³/y, 강수에 의해 1.6E+08m³/y가 유입되고, 장립 하

수처리장 유출수가 1.1E+08m³/y가 유입되고 있었다. 담수존재량은 6.4E+07m³이며, 해수교환량은 3.3E+10m³/y이었으며, 유입된 담수는 2.03일정도 체류하였다.

2. 유입되는 질소와 인의 부하량은 각각 약 3.2E+09mol/y와 2.7E+07mol/y이었다. 질소와 인의 체류시간이 담수의 체류시간에 대해 각각 0.79과 0.93의 비율로 짧은 것을 알 수 있었다.

3. 장립 하수처리장의 부하가 차지하는 비율은 질소와 인의 전체량에 대하여 각각 16%, 10%정도였고, 수심이 낮은 하구사주 내측에 대해서는 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

4. 유입되는 영양염에 의해 2.4E+07mol/y 만큼의 유기화가 일어나고 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 국립수산진흥원, 1995-1996, 해양조사연보
- [2] 낙동강 연구센터, 1997, 낙동강 조사월보, 1호 -12호.
- [3] 문창호, 최혜지, 1991, 낙동강 하구환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. Journal of the Oceanological Society fo Korea. Vol. 26, No. 2 144-154.
- [4] 부산수산대학교 해양공동연구소, 1991, 낙동강 하류 수역의 어장 생태조사보고서.
- [5] 부산시 건설관리본부, 1994-1997, 명지주거단지 조성 사후 환경관리 조사보고서
- [6] 부산지방 기상청, 1992-1997, 기상월보
- [7] 박종길, 황용식, 1997, 김해지방의 강수의 산도 및 화학적 성분 특성. 한국환경과학회지 제6권(제5호), 461-472.
- [8] 박청길, 조규대, 허성희, 김삼근, 조창환, 1986, 낙동강 하구 부근의 해양환경 조사 연구. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 22(4).
- [9] 宗宮 功, 김동하, 1995, 고도하수처리법의 처리 효율과 경제성평가. 상수도공학회지 제 9권 제 1호, 37-45.
- [10] 신성교, 박청길, 송교육, 1995, 낙동강 하구해역의 자생 COD 평가. J. Korean Fish. Soc. 28(3), 263-269.
- [11] 최혜지, 1990, 낙동강 하구역 식물플랑크톤에 관한 연구. 부경대학교 해양학과 석사학위논문
- [12] 한국수자원공사, 1990-1997, 낙동강 하구독수문관리연보, .
- [13] 홍석진, 1998, 낙동강 하구해역에서의 담수, 질소·인 수지. 부경대학교 환경공학과 석사학위

논문

[14] 柳 哲雄, 1997, 東京湾, 伊勢湾, 大阪湾の淡水・塩分・DIP・DIN收支. 沿岸海洋研究ノート第35卷, 第1号.

[15] 柳 哲雄, 1997, 沿岸海域の物質收支モデル. 海の研究 Vol. 6, No. 3, 163-171.

[16] 柳 哲雄, 1997, 瀬戸内海の淡水・塩分・窒素・リン收支. 海の研究 Vol. 6, No. 3, 157~161.

[17] Gordon, D.C. Jr., P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.-E. Ong, W.L. Silvert, S.V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff, and T. Yanagi, 1996, LOICZ Biogeochemical Modelling Guideline. LOICZ Reports & Studies No. 5

[18] Sybil P. Seitzinger, 1988, Denitrification in freshwater and coastal and marine ecosystem, Oceanography., 33(4 part 2), 702-724.