

〈논 문〉

## 河川 感潮部에 있어서 窒素의 長期變動에 관한 研究

## Study on the Long-term Change of nitrogen in the Tidal Area of River

金 元 圭\* 姜 周 復\*\*  
KIM, Won Kyu · KANG, Ju Bok

**Abstract** □ Several field surveys were conducted to investigate changes of water quality with time in a tidal river. Results indicated that nitrification process were dependent on the change of salinity and suspended solids concentration. Therefore laboratory batch experiments were conducted, using suspended solids and sediment taken from a tidal river, to study the effect of salinity on nitrification and to estimate kinetic parameters of it in the tidal river. Suspended solids and sediment were sampled at a point in the middle stream. Sediments were collected from the aerobic layer of mud. The change of nitrogen concentration with time was clearly explained with Monod growth model and kinetic parameters were obtained by curve fitting method. Changes in  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations in the river ROKKAU with time were simulated well using Lagrangian reference frame and parameter values obtained in the laboratory tests. The mechanism of nitrification by suspended solids and sediment in a tidal river is shown to depend on tidal effects.

**要 旨** : 實感潮河川을 대상으로 현지관측을 실시하여 長期間에 걸친 鹽分과 浮遊物質의 변동상태를 조사하고, 그리고 이러한 것들이 長期間의 窒素변동에 미치는 영향을 조사하였다. 실내실험을 실시하여 窒化과정에 있어서 鹽分の 영향을 조사하고, 대상으로 한 感潮河川에서의 底泥와 浮遊物質중의 窒化박테리아량을 추정하였다. 실험결과를 동역학적으로 해석하여 增殖모델에서의 諸係數를 결정하였다. 이러한 결과들을 이용하고, 物質收支式을 Lagrange적 이동좌표계로 변환하여 窒素濃度에 대한 수치시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과와 관측결과를 비교, 검토하여 본 연구모델의 타당성을 검토하였다. 그리고 河川 感潮部에 있어서 窒素舉動의 특성을 조사하였다.

## 1. 서론

河川 感潮部에 있어서 수질은 주변 주민의 생활환경과 수자원 이용 등에 큰 영향을 미치고 있어, 수질환경관리의 측면으로 보아 이곳에서의 수질예측법의 확립이 필요하다. 특히, 流域의 市街地와 하수처리시설로부터 방류되어 河川으로 유입되는 암모니아鹽( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 亞硝酸鹽

( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) 등은 富營養化로서나 산소소비적인 면에서 중요한 오염원이 되고 있다. 따라서 河川에서 窒素의 舉動을 定量的으로 평가하는 것은 수질오염제어에 있어서 중요한 부분이라 할 수 있다. 특히 河川 感潮部에 있어서 窒素의 舉動은 河川固有流의 흐름외에 潮汐作用의 영향을 받아 매우 복잡하다. 즉 河川 感潮部에 있어서는 1일 2회의 滿, 干潮외에 약 2주일을 주기로 하는 潮相의 변화

\* : 부산공업대학 토목공학과 강사

\*\* : 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수

(大潮, 小潮)에 의해 수질이 변동하여 장기적인 수질에 축이 곤란하다. 특히 窒素는 潮相의 변동에 의한 鹽分濃도의 변동과 潮流流에 의한 浮遊物質濃도의 변동에 의해 窒化過程에 많은 영향을 받는다. 따라서 이러한 河川 感潮部에 있어서 窒化反應을 고려하여 長期間에 걸친 窒素의 變動을 밝히는 것이 매우 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 實感潮河川을 대상으로 하여 20 일간의 연속관측을 실시한 결과를 이용하여 潮汐週期에 있어서 窒素變動의 특성을 검토하였다. 또 실내실험을 통하여 窒化과정에서 鹽分の 영향을 밝히고, 浮遊物質과 底泥에 있어서 窒化박테리아량을 추정하였다. 그리고 河川 感潮部에 있어서 물질수송을 1차원 부정류로써 모델화 하고, 浮遊物質과 底泥에 있어서의 窒化反應을 물질수지식에 적용하여 窒素變動의 장기 시社레이션을 실시하였다. 窒素濃度 변화의 관측결과와 시社레이션을 결과를 비교, 검토하여 본 연구모델의 타당성을 검증하고, 河川 感潮部에 있어서 窒素의 장기적인 변동에 대한 고찰을 실시하였다.

## 2. 현지관측

### 2. 1 대상河川 및 관측방법

본 연구에서 대상으로 한 六角川은 日本의 九州에 위치하고 있는 佐賀縣의 白石平野를 통하여 有名海로 흘러 나간다. 六角川 河口部에서의 潮差는 大潮時에 5m에 달할 만큼 상당히 크다. 河道內와 沿岸部에는 粘土로 부터 생성된 泥(mud)가 넓게 분포하고, 이 河川의 感潮部는 다른 河川에 비해 浮遊物質의 濃도가 꽤 높은 것이 특징이다. 이 河川의 개요는 Fig.1에 나타난 것과 같이 河口로부터 4.5km 上流에서 牛津川과, 26.5km 上流에서 武雄川과 합류하고 있다. 主河川의 感潮區間은 河口로부터

29km 상류까지이고, 鹽分分布에 있어서 强混合形 條件(二渡等, 1987)으로 수질의 변화는 有名海灣의 潮汐運動에 의해 많은 영향을 받고 있다. 그리고 窒素는 武雄川 상류에 위치하고 있는 武雄市로부터의 가장 잡폐수와 河口로부터 22.2km 상류지점에 위치하고 있는 糞尿處理場으로부터 河川으로의 유입이 있다. 현지관측은 Fig.1에 나타난 바와 같이 河口로부터 24.2km (St. A), 17.2km (St. B) 및 11.2km (St. C) 상류의 세 지점에서 실시하였으며, 각 지점에서 河床으로부터 0.2 - 0.5m의 높이에서 1시간 간격으로 자동채수장치로써 採水하여 鹽分, 浮遊物質 및 各 窒素濃도를 측정하였다. 관측은 1988년 11월 27일부터 12월 16일까지 20일간 실시하였으며, 관측기간중 12월 9일이 大潮였고, 12월 1일 및 16일이 小潮였다.

### 2. 2 관측결과

Fig.2에 각 관측지점에서의 鹽分濃度 및 浮遊物質濃도의 시간에 따른 변동을 나타낸다. 鹽分濃도의 주기적 변동상태는 지점마다 다르다. 즉 상류측인 St. A에서는 1일 2회의 주기에 대하여 각 주기에서의 最大濃度만이 변동하고 있고, 하류측인 St. C에서는 각 주기에서의 最小, 最大濃도가 같이 변동하고 있다. 浮遊物質은 大潮時에 높고 小潮時에 낮은 경향을 나타낸다. Fig.3에 암모니아鹽(HH<sub>4</sub>-N), 亞窒酸鹽(NO<sub>2</sub>-N) 및 窒酸鹽(NO<sub>3</sub>-N)濃도의 시간에 따른 변동상태를 나타낸다. 모두가 1潮汐間(大, 小潮)에 반복하여 변동하고 있다. 장기적으로 보면 암모니아鹽 및 亞窒酸鹽의 濃도는 小潮 직후에 최저로 되고, 大潮를 前後해서 최대로 되고 있다. 浮遊物質濃도의 상승과 함께 亞窒酸鹽의 濃도가 조금 늦게 상승하고 있다. 이러한 것으로부터 浮遊物質이 窒化反應에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 알 수가 있다. 각 지점

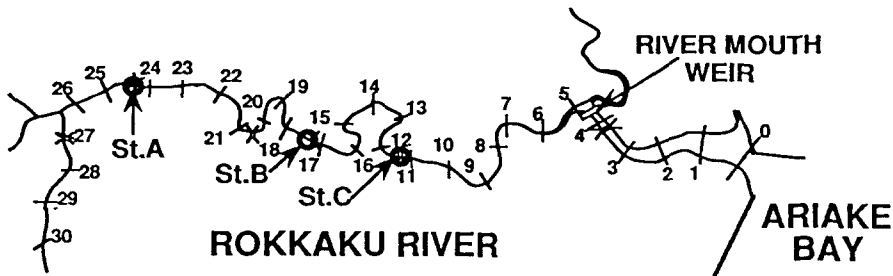


Fig.1 Map of the Rokkaku River and monitoring station

에서 관측한 鹽分濃도와 各態 窒素濃도간의 관계를 Fig. 4에 나타낸다. 암모니아鹽의 濃도는 鹽分濃도와 명확한 관계를 보이고 있지 않으나, 窒化가 진행됨에 따라 亞窒酸鹽과 窒酸鹽은 각각 어떤 鹽分濃도에 있어서 濃도의 최대값을 갖는다. 즉 亞窒酸鹽은 0.35g/l, 窒酸鹽은 1.2g/l의 鹽分濃도에서 최대값을 나타내고 있다. 이상의 관측결과로 부터 感潮河川인 六角川에서의 窒化과정은 鹽分濃도와 浮遊物質濃도의 주기적인 변화에 의해 많은 영향을 받고 있음을 알 수가 있다.

### 3. 窒化反應의 특성

底泥에 있어서 窒素순환을 Fig.5에 간단히 나타낸다. 즉 용존산소를 소비하여 암모니아염은 암모니아 酸化박테리아 (Nitrosomonas)에 의해 亞窒酸鹽으로, 그리고 亞窒酸鹽은 亞窒酸 酸化박테리아 (Nitrobacter)에 의해 窒酸鹽으로 酸化되는 과정이 窒化過程 (Nitrification)이고, 河川에서의 이러한 窒化過程은 일반적으로 河床의 부착 생물 또는 底泥중의 미생물에 의해 진행된다. 한편, 窒

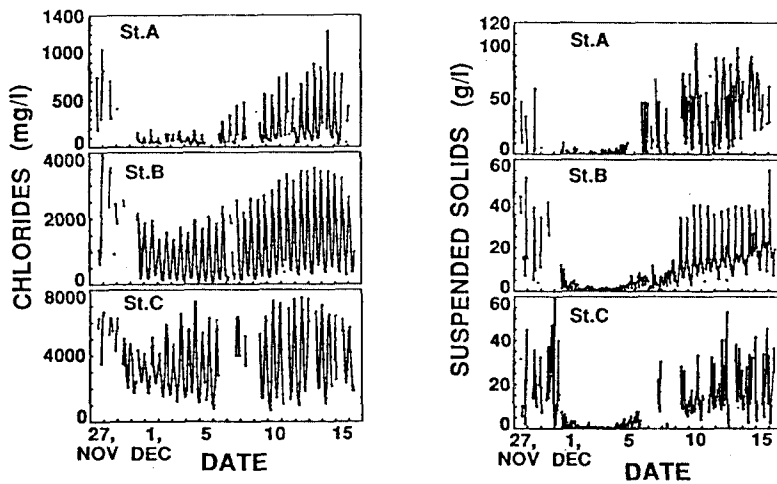


Fig.2 Temporal changes of chlorides and suspended solids concentration in field observation

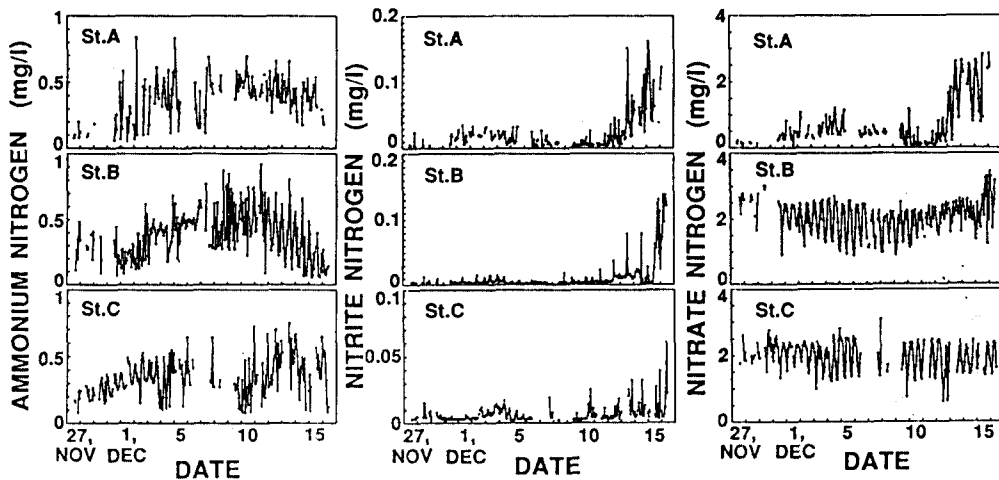


Fig.3 Temporal changes of inorganic nitrogen in field observation

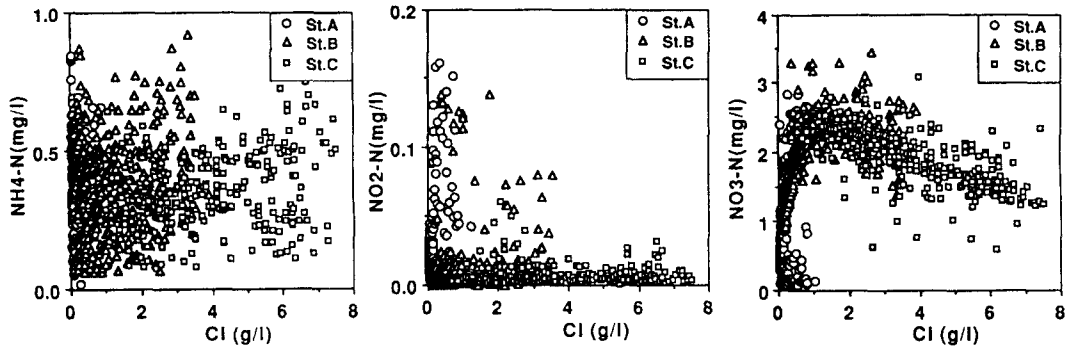


Fig.4 Relationship between inorganic nitrogen and chlorides in field observation

酸鹽과 亞窒酸鹽을 경유하여  $N_2O$  또는 窒素가스로 환원하는 과정이 脫窒 (Denitrification)이다. 관측결과에서 알 수가 있었듯이 본 연구의 對象河川인 六角川에서는 浮遊物質과 鹽分濃도가 窒化과정에 미치는 영향이 클 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 실내실험을 통하여 窒化反應에 대한 鹽分の 영향을 밝히고, 浮遊物質과 底泥에 있어서 窒酸鹽과 亞窒酸鹽의 濃도를 구하였다. 그리고 이 결과를 이용하여 窒化過程을 동역학적으로 해석하여 浮遊物質과 底泥에 있어서 窒化박테리아량을 추정하고 窒化反應에서의 諸係數를 결정하였다.

### 3. 1 실내실험장치 및 실험방법

실험에 사용한 浮遊物質과 底泥을 六角川에서 채취하

고, 底泥은 酸化層인 상부의 1cm를 실험에 사용하였다. 실험장치를 Fig.6에 나타낸다. 폭기에 의한 오염을 방지하기 위해 공기를 5 규정 (5N)의 硫酸에 통과시켰고 이 硫酸이 시료내로 들어가지 않도록 증류수의 trap을 설치하였다. 浮遊物質의 濃도가 높은 경우에는 폭기만으로 충분히 혼합되지 않을 것으로 생각되어, 용기내에 별도의 프로펠러를 설치하여 혼합시켰다. 底泥중의 窒化作用에 대한 실험에서는 교란되지 않은 상태의 底泥을 그대로 실험에 사용하였다. 암모니아鹽과 亞窒酸鹽의 初期濃도를  $NH_4Cl$ 과  $NaNO_2$ 를 각각 첨가하여 總 窒素濃도가  $10mg-N/l$ 로 하였다. 배양을  $20^{\circ}C$ 의 온도에서 20일간 어두운 곳에서 실시하고, 이때 배양병으로 부터 시간별로 채수하여 암모니아鹽, 亞窒酸鹽 및 窒酸鹽의 濃도를 구하였다. 그리고 실험중에 계속해서 폭기를 실시하여 용존산소(DO)는 포화상태로 하였다.

### 3. 2 窒化박테리아량과 동역학적 파라메타 추정

Furumai 등 (1988)은 反復回分實驗에 의한 活性菌體量의 추정법을 제안하고 있다. 본 연구에서도 같은 방법을 이용하여 浮遊物質 및 底泥에 있어서 窒化박테리아량을 추정하고, 이 결과를 이용하여 동역학적 파라메타인 最大比增殖速度와 飽和定數를 구한다. 암모니아鹽과 亞窒酸鹽 酸化박테리아에 대한 동역학적 파라메타는 Monod 增殖모델을 도입하여 추정하였다. 窒化박테리아의 增殖은 死滅을 무시하면 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\frac{dt}{dX} = \mu_m \frac{C}{K_s + C} X \quad (1)$$

$$X = Y(C_0 - C) + X_0 \quad (2)$$

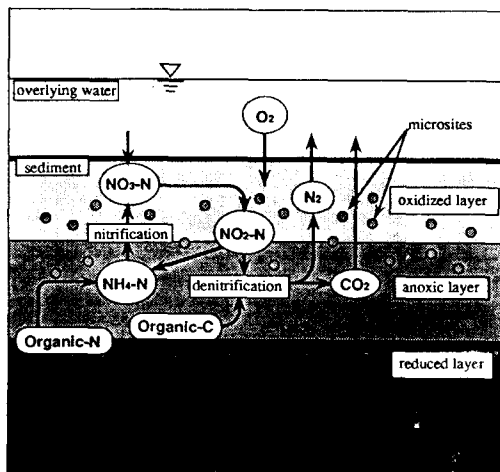


Fig.5 The conception of circle in organic nitrogen

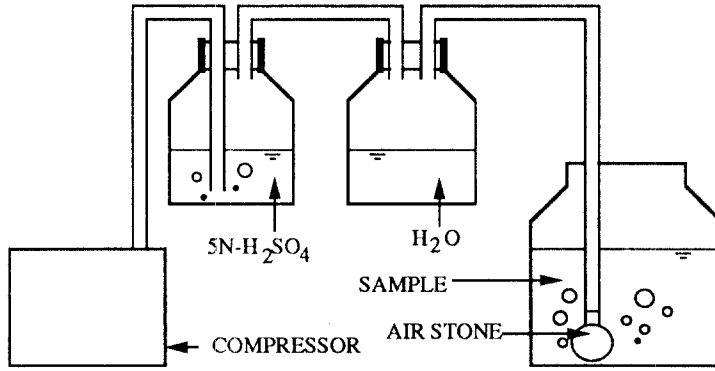


Fig.6 Experimental apparatus

여기서  $C_0$ : 初期基質濃度,  $C$ : 基質濃度,  $X_0$ : 初期박테리아량,  $X$ : 박테리아량,  $\mu_m$ : 最大比増殖速度,  $Y$ : 増殖收率,  $K_s$ : 飽和定數,  $t$ : 反應時間

식(1)과 (2)로부터 다음의 解가 얻어진다. (Knowles et al, 1965)

$$\mu_m t = \frac{1}{P} K_s \ln \frac{C_0}{C} + (P + K_s) \ln \left( \frac{P-C}{P-C_0} \right) \quad (3)$$

$$P = C_0 + \frac{X_0}{Y}$$

식(3)을 다음과 같이 무차원적으로 나타낼 수가 있다.

$$\mu_m t = \frac{1}{1 + \bar{X}_0} \{ \bar{K}_s \ln \bar{C} + (1 + \bar{X}_0 + \bar{K}_s) \ln \left( \frac{1 + \bar{X}_0 - \bar{C}}{\bar{X}_0} \right) \}$$

$$\bar{K}_s = K_s / C_0, \quad \bar{X}_0 = X_0 / (Y C_0), \quad \bar{C} = C / C_0 \quad (4)$$

여기서  $K_s \ll 1$ ,  $\bar{X}_0 \ll 1$ ,  $\bar{C} = 1$  로 가정을 하면 식(4)는 다음과 같이 된다.

$$\mu_m t = 1 = \ln \left( \frac{1 + \bar{X}_0 - \bar{C}}{\bar{X}_0} \right) \quad (5)$$

이와같이 基質濃도와 反應時間의 관계는 식(5)와 같이 나타내어졌다. 따라서 같은 初期濃度에서 回分實驗을 반복하고, 그 1회째와 2회째의 回分實驗에서 最大比増殖速度가 일정하다고 하면 그 反應時間比는 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\ln \left( \frac{1 + \bar{X}_1 - \bar{C}}{\bar{X}_1} \right)}{\ln \left( \frac{1 + \bar{X}_1 - \bar{C}}{\bar{X}_1} \right)}, \quad \bar{X}_2 = \bar{X}_1 + \Delta \bar{X} \quad (6)$$

回分實驗에서의 初期 박테리아량은 가정에 모순이 없을 정도로 충분히 작으며, 初期 基質濃度は 충분히 높을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 六角川에서의 窒化박테리아량을 추정하기 위해 河川로부터 27.2km, 20.2km 및 4.0km 상류지점에서 底泥를 채취하고, 17.2km, 11.2km 지점에서 河川水를 채수하여 앞의 방법으로 底泥와 浮遊物質에 대한 연속실험을 실시하였다. 이 실험결과로부터 反應時間比를 구하고, 이 것을 식(6)에 대입하여 底泥와 浮遊物質에서의 窒化박테리아濃度を 추정하였다. 그 결과를 Table 1에 나타낸다. 이 결과에서 보면 底泥에서의 亞窒酸鹽 酸化박테리아량은 암모니아 酸化박테리아량에 비하여 작다. 그리고 하류의 底泥에 있어서 박테리아량은 다른 지점에서 것보다 거의 2배 정도 높다. 이러한 경향은 浮遊物質에 있어서도 같이 나타났다. 이것은 하류의 河床으로부터 浮上된 浮遊物質에 암모니아鹽 酸化박테리아량을 이용하여 Monod식의 동역학적 파라메타인 最大比増殖速度和 飽和定數를 최소자승법과 Curve - fitting법을 이용하여 鹽分濃도와 관계로 구하였다. 그 결과를 Table 2에 나타낸다.

#### 4. 窒化反應을 고려한 窒素舉動의 장기 시뮬레이션

##### 4. 1 모델화

Table.1 Estimated concentration of ammonium and nitrite oxidizing bacteria

sample	sampling		Cl <sup>-</sup> concentration (mg/l)	SS concentration (mg/l)	ammonium → nitrite			nitrite → nitrate		
	time	point* (km)			reaction time		estimated concentration (mg/kg.SS)	reaction time		estimated concentration (mg/kg.SS)
			t <sub>1</sub> (hr)	t <sub>2</sub> (hr)	t <sub>1</sub> (hr)	t <sub>2</sub> (hr)				
SS	ebb tide	17.2	950	3250	168.2	48.8	62	165.9	18.2	1.7
	flood tide	11.2	4830	2150	143.2	47.7	103	209.1	18.2	1.1
sediments	ebb tide	27.2	190	2010	81.8	27.3	52	161.4	37.5	7.7
			950		70.5	26.1	68	171.6	31.8	4.6
		20.6	190	1840	73.9	18.2	43	176.1	29.5	5.7
			950		55.7	15.9	40	168.2	25.0	4.0
		4.0	4830		45.5	21.6	134	147.7	47.7	23.5
			9650 15400		89.8 140.9	36.4 54.5	94 97	204.5 325.0	52.3 -	11.4 -

\* : distance from the river mouth

河川 感潮部에 있어서 窒素의 舉動에 대한 시뮬레이션을 행하기 위해 다음과 같이 모델화 한다. 六角川 感潮部에 있어서 흐름은 物質濃度에 영향을 받지 않는 것으로 하여 1차원 부정류로 모델화 한다. 浮遊物質의 수송 현상에 대해서는 浮上和 沈降현상과 같은 연직수송을 고려한 물질지수식을 적용하고, 窒素의 濃度를 계산할 때는 浮遊物質과 底泥에서의 窒化反應을 고려하여 모델화 한다. 이상의 모델식을 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{7}$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q}{gA^2} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{2Qq}{gA^2} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{R^{4/3} A^2} = 0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (AC_i) + \frac{\partial}{\partial t} (QC_i) = \frac{\partial}{\partial x} (AD_L \frac{\partial C_i}{\partial x}) + A \sum_j S_j(C_i) + q \tag{9}$$

암모니아鹽 酸化

$$A \sum_j S_j(C_{NH4}) = -A \frac{\mu_{ma1}}{Y_a} \frac{C_{NH4}}{K_{a1} + C_{NH4}} - \alpha_a C_{ss} \tag{10}$$

$$- \frac{A}{R} \frac{\mu_{ma2}}{Y_a} \frac{C_{NH4}}{K_{a2} + C_{NH4}} - \beta_a C_{SED}$$

Table.2 Kinetic parameters

Cl <sup>-</sup> concentration mg/l	Suspended Solids				Sediments				
	NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>2</sub> -N		Cl <sup>-</sup> concentration mg/l	NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>2</sub> -N	
	μ <sub>m</sub>	K <sub>s</sub>	μ <sub>m</sub>	K <sub>s</sub>		μ <sub>m</sub>	K <sub>s</sub>	μ <sub>m</sub>	K <sub>s</sub>
38	0.029	1.7	0.025	1.0	-	-	-	-	-
190	0.029	2.0	0.024	1.0	190	0.015	0.8	0.023	0.6
380	0.029	0.8	0.025	0.6	950	0.016	0.9	0.025	0.3
1100	0.025	1.0	0.025	1.2	-	-	-	-	-
3300	0.025	1.2	0.023	1.2	4750	0.020	1.4	0.024	0.6
8140	-	-	0.015	0.5	9500	0.018	0.7	0.022	1.4
16200	-	-	-	-	15200	0.016	2.5	0.017	1.1

亞窒酸鹽 酸化

$$A \sum_j S_j(C_{NO2}) = -A \frac{\mu_{mb1}}{Y_b} \frac{C_{NO2}}{K_{b1} + C_{NO2}} - \alpha_b C_{ss} - \frac{A}{R} \frac{\mu_{mb2}}{Y_b} \frac{C_{NO2}}{K_{b2} + C_{NO2}} - \beta_b C_{SED} - \tau \sum_j S_j(C_{NH4}) \tag{11}$$

여기서, A : 流水斷面積, Q : 유량, g : 중력가속도, H : 수위, n : Manning 粗度係數, R : 경심, q : 단위면적당의 橫流入量, x : 거리, q' : 단위길이당 流入flux, S<sub>j</sub>(C<sub>i</sub>) : j과정에 의한 i물질의 소멸 또는 생성, C<sub>i</sub> : i 물질의 濃度이고, 첨자의 α : 浮遊物質에서의 박테리아량, β : 底泥에서의 박테리아량, τ : 암모니아鹽으로부터 亞窒酸鹽으로의 변환계수, a : 암모니아鹽의 酸化, b : 亞窒酸鹽의 酸化, 1 : α 浮遊物質, 2 : 底泥이다.

4. 2 계산방법

河川 感潮部에는 河川 상류로부터 유입하여 온 오염물질이 1潮汐보다도 긴 시간 동안 感潮部內에 체류한다. 따라서 感潮區域內에서의 紊素擧動의 시차레이션은 數潮汐동안 연속적으로 실시할 필요가 있을 것으로 생각된다. 그러므로 河川 感潮部에서 長期間의 물질수지를 일관적인 고정좌표계에서 계산하면 移流項의 차분화에 기인되는 수치확산의 영향으로 정확하지 못하다. 따라서, 본 연구에서는 Lagrange적 이동좌표계상으로 물질수지식을 변환하여 계산한다. 이 이동좌표계는 水塊의 이동과 함께 상류 또는 하류로 이동하기 때문에 수치확산을 방지하는 잇점이 있다. 河川 感潮部의 상류단으로부터 어떤 지점까지의 累積流量을 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$V = \int^x A(x, t) \quad (12)$$

식(12)의 개념을 이용하여 고정좌표계에서의 물질수지식인 식을 다음과 같이 이동좌표계상으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + Q_t \frac{\partial C}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V} (A^2 D_L \frac{\partial C}{\partial V}) + \sum S_i(C) \quad (13)$$

여기서,  $D_L = \epsilon u_* R \cdot Q_t$  : 固有流量,  $\epsilon$  : 定數,  $u_*$  : 마찰속도

계산을 행하는 수순을 Fig.7에 간단히 나타낸다. 우선 水理量의 계산은 고정좌표계상에서 Leap - frog법을 이용하여 계산하였으며 (1971), 계산기간은 현지관측기간과 같은 기간에 대하여 실시하였다. 이 계산에 있어서 차분식의 안정조건으로서 Courant-Friedrichs-Lewy condition을 만족하도록 하기 위해  $\Delta x=600m$ ,  $\Delta t=60sec$ 로 하였다. 경계조건으로서 상류단은 感潮區域이 아닌 河口로부터 29.6km 상류에서 유량의 관측치를 주었고 하류단은 수위의 실측치로 주었다. 초기조건으로서는 滿潮時의 수위를 全 河川斷面에 대해 내삽하여 주고 유량은 零으로 하였다. 水理量의 계산결과를 이용하여 이동좌표계에 있어서 물질수지식의 차분화 요소인 유량 ( $\Delta V$ )을 滿潮時에 있어서 각 경계간의 거리가 거의 같이 되도록 분할하였다. Fig.8에 이동좌표계의 차분화 개념을 간단히 나타낸다. 즉 상류로부터의 유량의 유입에 의해  $\Delta V_1$

가 1개 추가되면 원래의 요소는 다음 요소의 위치로 1개씩 미끄러져 내려가는 것으로 한다. 그리고 상류로부터의 유량의 유입에 의해  $\Delta V_1$ 이 증가하여 추가된  $\Delta V_1$ 이

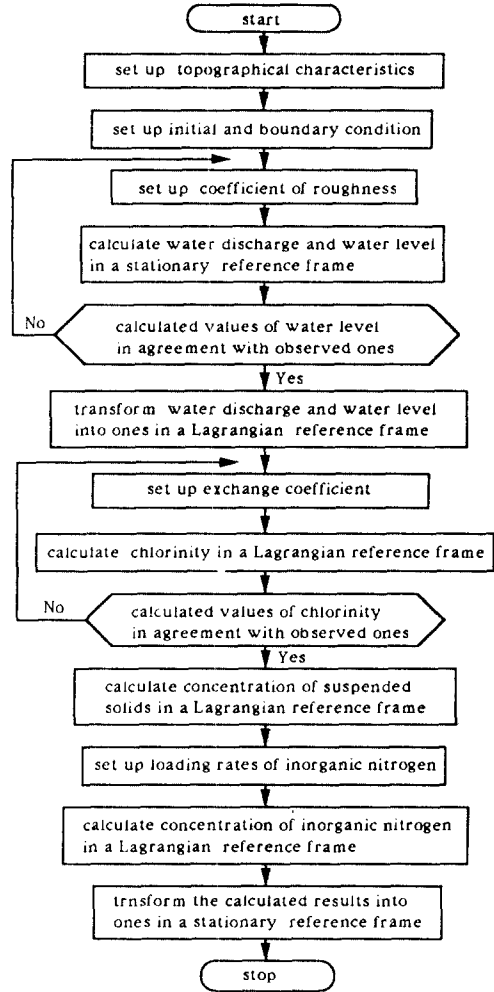


Fig.7 Flow chart of calculation

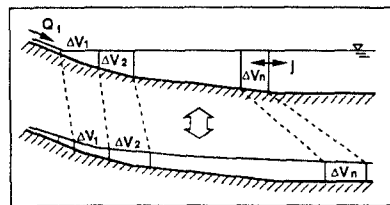


Fig.8 Conception of the finite-difference with Lagrangian reference frame

$\Delta V_2$  의 1개분으로 되었을 때 하류측으로부터 그만큼의  $\Delta V_1$  에 대해  $\Delta V_2$  가 1개 증가된 것으로 한다. 식(13)을 차별화하여 교환계수( $\epsilon$ )을 계속 변화시키면서 먼저 鹽分濃度에 대하여 계산을 실시하여 계산결과와 실측치가 거의 일치할 때의 교환계수값을 정하였다. 그 결과 교환계수의 값이 상류와 중류부에서는 1200, 하류부에서는 500일 때 실측치와 계산결과가 가장 잘 일치하였다. 다음으로 구해진 교환계수값을 적용하여 浮遊物質의 濃度를 계산하였다. 그리고 浮遊物質의 濃度에 대해서는 浮遊物質과 底泥의 浮上和 沈降現象과 같은 연직수송 부분도 물질지수식에 적용하여 계산하였다. 六角川에 있어서 浮遊物質과 底泥의 浮上和 沈降현상에 대해서는 실내 실험결과를 이용하였다. (楠田 등, 1982) (二渡 등, 1988) 이상의 방법에 의해 鹽分 및 浮遊物質의 濃度를 계산하고, 그리고 본 연구의 실내실험결과를 이용하여 동역학적으로 추정된 窒化박테리아 増殖모델의 파라메타를 이용하여 各態 窒素濃度를 계산하였다. 窒素는 상류측에 武雄市가 있는 武雄川과 분뇨처리장으로 부터 유입되는 것으로 한다. 負荷유입량의 결정은 오염물질의 유입을 연속주입으로 생각하여 河口로 부터 26.5km와 22.2km 상류지점에서 관측기간중의 평균치를 이용하였으며, 그 값을 Table.3에 나타낸다. 水中의 浮遊物質의 濃度가 상승하면 浮遊物質에 부착하는 유기물 등의 분해에 의해 용존산소(DO)가 소비되어지기 때문에 窒化反應이 억제된다. 따라서 이러한 용존산소 변동의 영향을 고려하기 위하여 六角川 感潮部에서의 1潮汐間의 조사결과를 이용하여 용존산소의 濃度和 浮遊物質의 濃度間의 관계를 구하였으며, 그 관계는 Table.4와 같다. 河床底泥에 있어서는 窒酸鹽의 濃도가 높기 때문에 河床底泥로부터 窒酸鹽의 용출이 있을 것으로 생각된다. 그러므로 河床底泥와 上層部인 水中과의 窒酸鹽의 濃度差로써 溶出flux를 계산하였다. 그 식은 다음과 같다.

$$F_{DNO_3} = D_{NO_3} \frac{\Delta C_{NO_3}}{\Delta x} \quad (14)$$

여기서,  $D_{NO_3}$  : 窒酸鹽의 확산계수,  $\Delta C_{NO_3}$  : 底泥와 上層 水中의 濃度差,  
 $\Delta X$  : 확산거리

식(14)에서의 확산거리는 底泥 上層部の 5mm를 적용하였다. 그리고 窒化過程에 있어서 계절적으로 변화하는 수온의 영향도 클 것으로 생각되어 最大比増殖速度의 온도에 대한 영향을 文獻值 (Jones, R. D. and Hood, M. A.,

1980)를 참고로 하여 적용하였다. 본 연구의 관측기간중의 수온은 12oC 정도로 큰 변화가 없었다. 窒素濃度の 계산에서 초기조건은 1988년 11월 27일 13:00 (만조)에 각 관측지점에서 동시에 실시한 관측결과를 이용하여 내삽하여 정하였다. 경계조건은 같은 시간에 관측한 결과를 참고로 하여 정하였으며 그 값은 Table.5와 같다.

Table.3 Nitrogen loading rates

	Takeo river	Night soil treatment plant
NH <sub>4</sub> -N(kg/day)	30.0	30.0
NO <sub>2</sub> -N(kg/day)	8.0	1.0
NO <sub>3</sub> -N(kg/day)	20.0	20.0

Table.4 Relationship between SS-concentration and DO-concentration

SS-concentration(g/l)	DO-concentration(mg/l)
0.0 2.3	7.5 - 0.52SS
2.3 12.0	6.92 - 0.268SS
12.0	3.7

### 5. 계산결과 및 고찰

六角川에서의 수위의 관측결과와 계산결과를 Fig.9에 나타낸다. 거리는 河口로 부터 상류로의 거리이다. 계산 결과는 관측결과를 잘 재현하고 있어, 河川 感潮部에서의 水量量 계산은 성공적으로 수행된 것으로 생각된다. 그리고 鹽分濃度の 계산결과와 관측결과를 Fig.10에 나타낸다. 두 결과가 잘 일치하고 있어 이동좌표계에서의 교환계수의 설정은 정확히 된 것으로 보인다. 따라서 이 교환계수를 적용하여 浮遊物質의 濃度를 계산하고 다음으로 各態 窒素濃度를 계산한 결과를 실측결과와 비교하여 Fig.11에 나타낸다. 하류측인 St.C에서의 암모니아鹽 계산결과는 小潮 이후에 濃度の 극대치를 갖고, 大潮 이후에 濃도가 저하하고 있는 경향을 잘 재현하고 있다. 이것은 大潮時에 하류단에서는 浮遊物質의 高濃度 水塊 중의 암모니아 酸化박테리아에 의한 암모니아鹽의 酸化가 진행되고 있음을 나타낸다. 그리고 窒酸鹽의 濃度は 大潮 이후에 서서히 濃度の 극대치를 나타내고 있다. 이 계산결과도 실측결과와 경향을 재현하고 있지만 전체적으로 보면 관측결과가 재현되지 않는 곳도 있다. 이러한 것은 첫째로, 계산을 위하여 窒素의 負荷源으로 설정한



Table.5 Boundary condition of inorganic nitrogen.

	Inlet	Toe
$NH_4-N(g/l)$	0.100	0.000
$NO_2-N(g/l)$	0.024	0.000
$NO_3-N(g/l)$	0.100	0.200

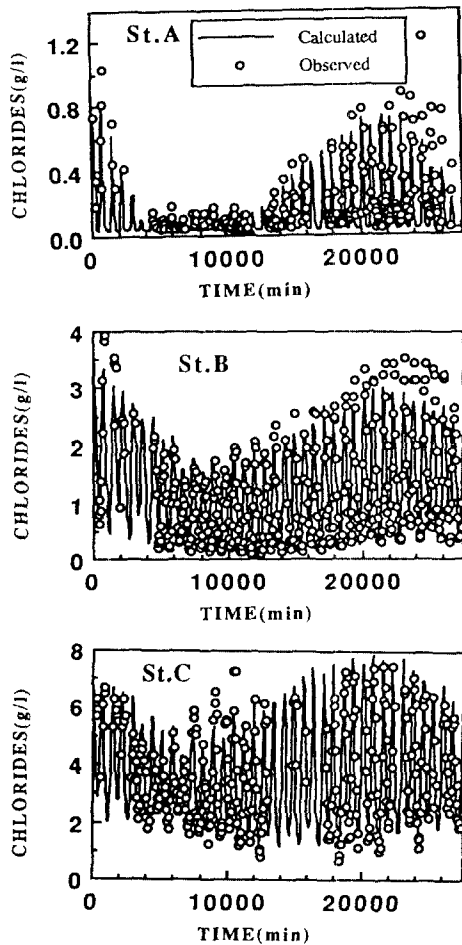


Fig.10 Comparison between observed and computed chlorides

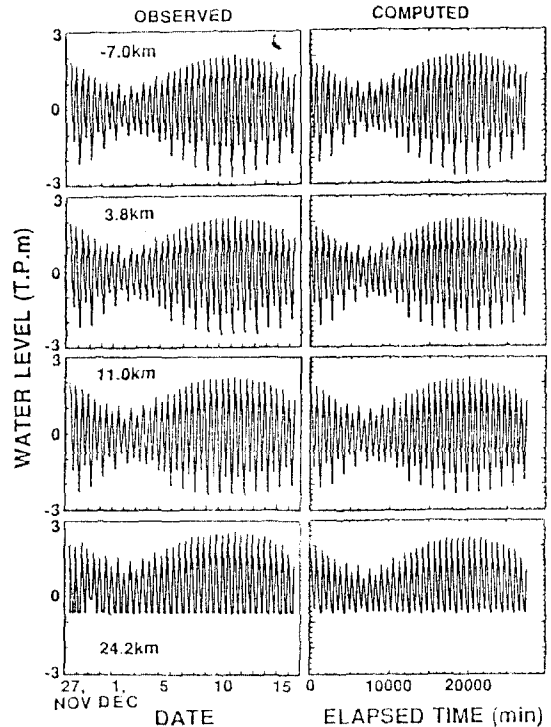


Fig.9 Comparison between observed and computed water levels

武雄川과 분뇨처리장으로부터의 유입외에 전담등과 같은 非定期的이고 돌발적인 유입이 있으므로 해서 생긴 오차와 둘째로, 脫窒反應을 고려하지 못하고 있으므로 해서 생긴 오차라고 생각된다. 그러나 전체적으로 보면 長期間에 걸친 各態 窒素濃度의 변화가 定性的으로 어느 정도 재현되고 있음을 알 수가 있다. 따라서 이후에 脫

窒反應을 고려하고 돌발적인 窒素의 負荷까지 고려하고 수리학적인 면에서 좀더 세밀한 연구를 가한다면 본 연구에서 개발한 모델을 기본으로 한 河川 感潮部에 있어서 長期間에 걸친 窒素의 舉動을 定量的으로 평가할 수 있는 모델의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 河川 感潮部에 있어서 窒素의 특성을 조사하기 위해 실제의 感潮河川을 대상으로 현지관측과 실내실험을 실시하였다. 그리고 이러한 결과들을 이용하여 長期間에 걸친 窒素濃度의 변동에 대한 시뮬레이션을

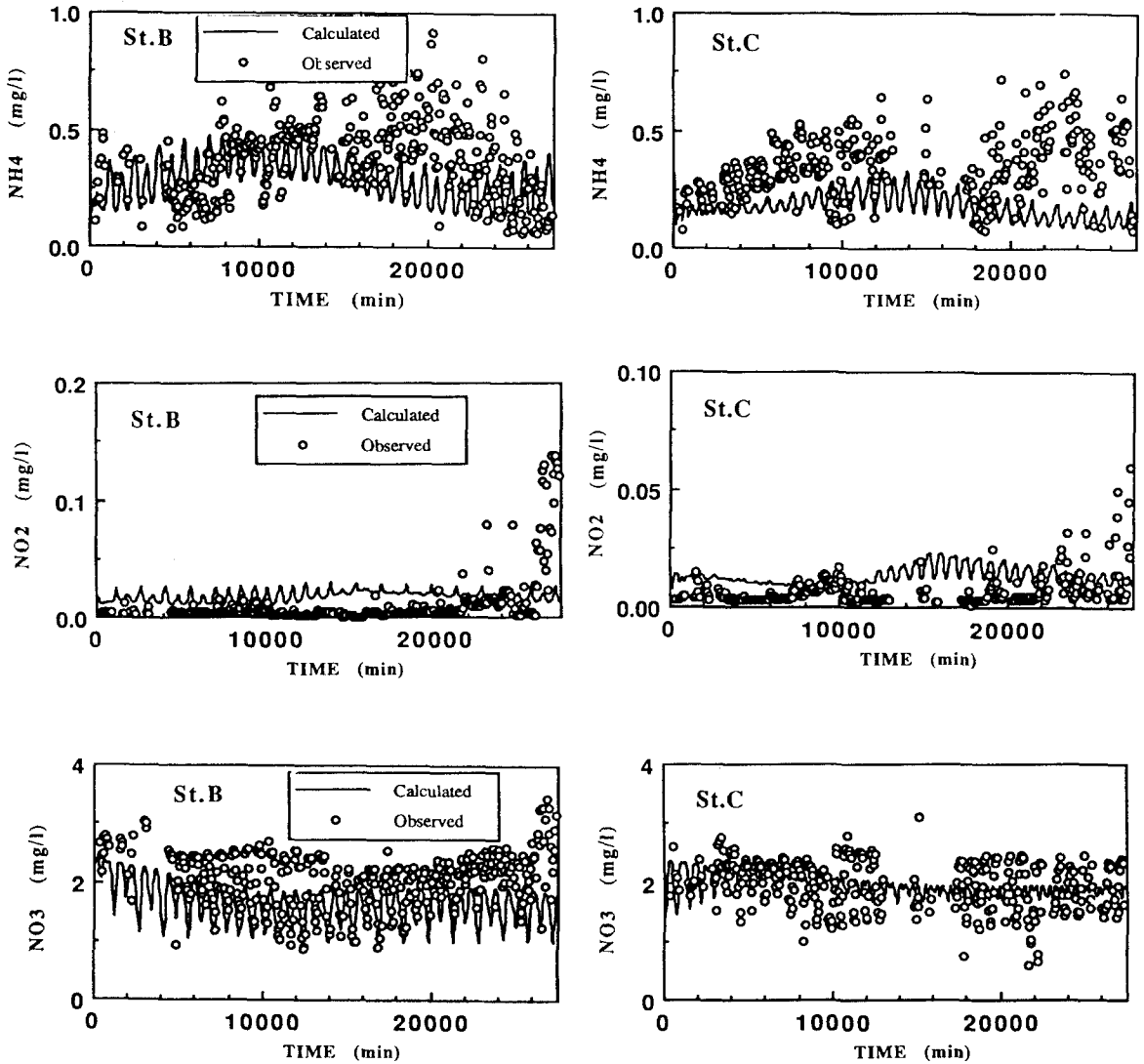


Fig.11 Comparison between observed and computed inorganic nitrogens

실시하여 다음과 같은 몇 가지의 결론을 얻었다.

(1) 현지관측의 결과로 볼 때 窒化作用은 河川 感潮部에서 潮汐作用에 의해 주기적으로 변동하는 鹽分濃度와 浮遊物質의 濃度에 많은 영향을 받고 있다.

(2) 실내실험결과를 동역학적으로 해석함으로써 浮遊物質과 底泥에서의 窒化박테리아량을 추정할 수 있었고, 增殖모델에서의 동역학적 파라메타를 鹽分濃度와의 관계로 구할 수 있었다.

(3) 본 연구에서 작성한 새로운 모델을 기본으로 하여 河川 感潮部에서의 長期間에 걸친 窒素濃度の 변동을 定

量的으로 평가할 수 있는 모델의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

차후로 底泥에서의 脫窒反應등을 고려한 보다 정확한 모델을 작성함을 과제로 삼고 연구를 계속하고자 한다.

#### 후 기

본 연구는 日本 九州大學 工學部の 국제학술교류자금에 의해 진행된 연구성과이다. 연구기간중 모든 자료를 제공하고 많은 지도편달을 하여준 九州大學 水工土木學科 楠田教授와 환경시스템공학 연구센터의 二渡助手에

게 심심한 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) Furmai, H., Matsunaga, T. et al(1988) Estimation of nitrification activity in a tidal river sediment, Proceeding of second IAWPRC conference on water pollution control, Bangkok, pp. 81 - 87.
- 2) Jones, R. D. and Hood, M. A. (1980) Effects of temperature, pH, salinity, and inorganic nitrogen on the rate of ammonium oxidation by nitrifiers isolated from wetland environments, *Microb. Ecol.*,
- 3) Knowles, G., Downing, A. L. and Barret, M. J. (1965) Determination of kinetics for nitrifying bacteria in mixed culture, with aid of an electronic computer, *J. Gen. Microbiol.*, vol. 38, pp. 263 - 278.
- 4) 二渡, 楠田(1987) 感潮河川 物質輸送機構, 九大工學集報 60卷, 4號, pp. 419-426
- 5) 二渡, 楠田(1988) 感潮河川 懸濁物質輸送現象 關 研究, 衛生工學研究論文集 24권, pp. 139-148.
- 6) 楠田, 海田(1982) 底泥 卷 上 沈降 關 基礎的研究(II), 土木學會18回衛生工學研究討論會 講演論文集, pp. 152-157.
- 7) 土木學會編(1971) 水理公式集(昭和46年改訂版), 日本, pp. 186-187.