

洛東江 河口湖에서의 磷의 溶出特性

梁鎮宇 · 宋教旭 · 李錫謨

釜山水產大學校 環境工學科

Release Characteristics of Phosphorus in Nakdong Estuary Barrage

Jin-Woo YANG, Kyo-Ouk SONG and Suk-Mo LEE

Department of Environmental Science and Engineering,

National Fisheries University of Pusan,

Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

The study of characteristics of phosphorus release in Nakdong Estuary Barrage was conducted in June and July, 1989. Batch type reactor was designed for evaluating of release flux.

The fractional composition of organic phosphorus and inorganic phosphorus in sediment were 34.7%, 66.7%, respectively. Inorganic phosphorus was fractionated into three types; Adsorbed-P, Non Apatite Inorganic-P, Apatite-P. The major forms of inorganic phosphorus were Non Apatite Inorganic-P(61.1%) and apatite-P(30.0%). Release rates of phosphorus from sediment were $-4.4mg/m^2/d$ in aerobic condition, and $39.4mg/m^2/d$ in anaerobic condition.

According to the result of this study, sediment plays an important role in Nakdong Estuary Barrage as an internal load source of phosphorus.

緒 論

1987년 11월 완공된 洛東江 河口둑으로 형성된 河口湖는 이미 富營養 상태를 넘어 過營養 상태에 이르고 있는 실정이다(梁 등, 1990). 특히 이러한 富營養化 현상을 지배하는 제한인자인 磷은 梁 등(1990)에 의하면 洛東江 河口湖의 경우 浮遊土砂가 沈降될때 많은 양의 磷이 吸着되어 共沈되기도 하고 대부분이 植物性 플랑크톤의 사체로 판단되는 粒子狀 有機磷으로도 많은 양이 沈降하여 水域의 磷에 대하여 除去作用을 하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 富營養化된 水域에 있어서 水域의 環境要因(계절, 수온, 기질농도, 영양염농도, 입도조성, 공극률, 용존산소의 호기·혐기적 상태, 산화·환원 상태, 미생물의 현존여부, 혼합등)의 변화에 따라

(日本水質汚濁研究會, 1984) 장기간에 걸쳐서 퇴적된 底層 堆積物內的 磷이 溶出되면서 上層水의 수질에 영향을 끼쳐 水域의 water column에 대하여 内部 負荷源(internal load source)으로 작용될 수 있다. 이로 인하여 外部로부터 流入되는 汚染源이 차단된 이후에도 오랫동안 水域의 水質을 汚染시키게 된다(Boers, 1986). 그러므로 磷의 溶出過程이 명확히 究明되어야만 富營養化 水域의 底層 堆積物 管理 및 水質管理를 위한 근원적인 대책수립이 가능할 것으로 생각된다.

따라서 本 研究은 심각한 水質汚染으로 많은 문제점을 가지고 있는 洛東江 河口湖의 水質管理 모델링을 위한 인자중의 하나를 구할 목적으로 水溫과 溶存酸素의 環境條件 변화에 따른 底質로부터의 磷 溶出過程에 대한 연구를 수행하였다.

材料 및 方法

1. 調査時期 및 地點

1989년 6월 19일과 7월 21일에 Fig. 1에 표시된 지점에서 底質을 採泥하였다. 지점 1은 洛東江 下流의 流速도를 中心으로 分기된 東水路로 上상공단을 비롯한 여러 공장들로부터 방류되는 産業廢水와 家庭廢水가 함유된 邑公천과 학장천 그리고 감전 유수지의 영향을 직접적으로 받는 지점이며, 지점 2는 西水路로 하구둑으로 인하여 흐름이 완전 차단된 지점이다.

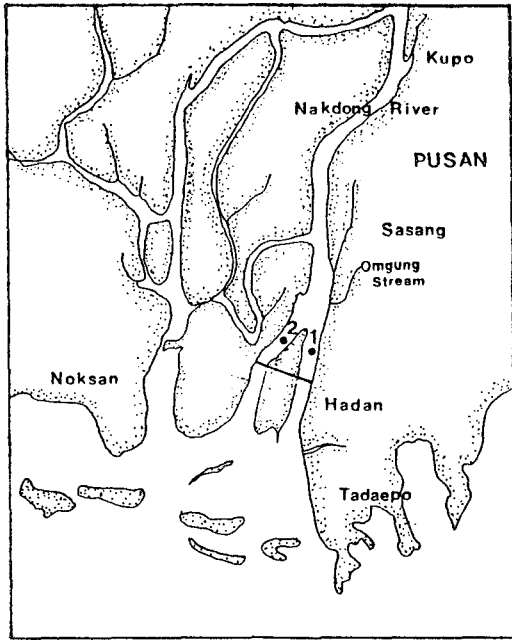


Fig. 1. Map showing the sampling site.

2. 實驗裝置

본 연구에 사용한 反應槽는 回分式 反應槽로서 反應槽내의 底質과 直上水는 건조 고형분의 重量/혼합체=4/100(g/ml)가 되도록 혼합하였고 底質 採泥시 채수한 현장수를 Whatman GF/C 여과지로 여과시킨 여액을 直上水로 사용하였다. 反應槽의 水溫條件은 14℃ 및 24℃로 자동 조절되는 恆溫 배양기를 이용하였고 가능한 교란이 없는 상태로 장치하였으며 好氣的 조건은 산기석이 부착된 공기 주입기로 DO농도가 5.95~9.97mg/l, 嫌氣的 조건은 질소가스를 산기석을 통하여 주입하여 DO농도를 0~0.88mg/l로 유지하였다. 실험조건은 조사지점의 여름에 있어 低層水 水溫과 溶存酸素(24℃, 0mg/l) 및 봄, 가을 低層水의 水溫과 溶存酸素(14℃, 4~10

mg/l)를 서로 조합하여 4가지 조건으로 설계하였다. 사용한 反應槽의 모형도는 Fig. 2에 나타내었다.

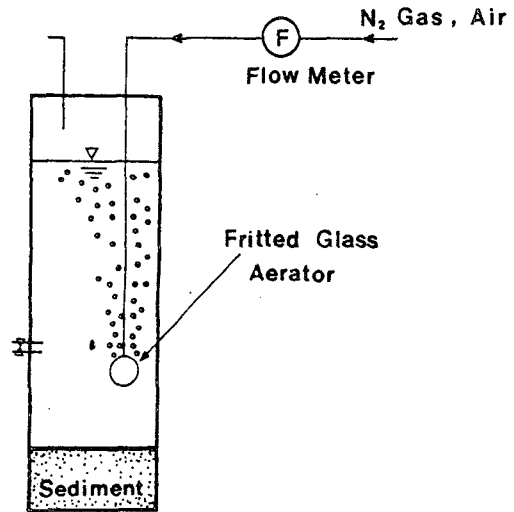


Fig. 2. An experimental apparatus used in the laboratory method.

3. 實驗方法

底質로부터 磷의 溶出量 및 溶出速度는 다음과 같이 산출하였다. 먼저 매번 채수시에 있어서의 溶出量, r을 다음식에 의해 산출하였다(日本水質汚濁研究協會, 1984). 그리고 매번 채수시에 산출한 溶出量, r을 1일당으로 환산하여 구한 매번의 溶出速度를 평균하여 溶出速度, R를 산출하였다.

$$r(\text{mg}/\text{m}^2) = \frac{V(C_n - C_0) + \sum_{j=1}^n v(C_{j-1} - C_a)}{A}$$

여기서, V : 直上水의 채적(l)

C_n : n회 채수시의 直上水 營養鹽 濃度 (mg/l)

C_0 : 直上水의 초기 營養鹽 濃度(mg/l)

C_a : 첨가한 湖沼水의 營養鹽 濃度(mg/l)

n : 채수 회수

v : 1회의 採水量(l)

A : 直上水와 接觸 底泥의 面積(m^2)

4. 分析方法

1) 底質

底質은 Grab 採泥機를 이용하여 底層 堆積物의 表層部를 채취하였고, 일정량의 底質을 恆溫건조기 (60~80℃)에서 충분히 건조, 마쇄, 체(100 mesh sieve)를 통과시켜 건조시료로 사용하였다.

(1) 強熱減量(Ignition Loss, I. L.): 일정량의 건조된 시료를 700~900℃의 전기로에서 強熱시켜 항량을 구한 후 건조무게에 대한 비율로 구함(小山忠四郎, 1982).

(2) 化學的 酸素要求朗(COD): 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 정량(神奈川縣弘濟會, 1972).

(3) 總磷(T-P): Manual of methods in Aquatic Environment Research(FAO, 1975) 분석법에 의해 정량.

(4) 無機態磷(PIP): Hieltjes and Lijklema (1980)의 分劃실험법에 의해 정량.

(5) 有機態磷(POP): T-P - PIP

2) 反應槽내의 直上水

시간 경과에 따라 反應槽내의 直上水を 일정량 분취하여 Whatman GF/C 여과지와 membrane 여과지로 여과시킨 후 여액을 시료로 사용하였으며 ascorbic acid법(APHA · AWWA · WPCF, 1985)으로 磷酸磷(PO_4^{3-} -P), 溶存態總磷(DTP)을 정량하였다.

위는 916.9~1,063.5 μ g/g(990.2 μ g/g dry sediment)으로, 지점 2에 비해 지점 1이 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 全(1985, 1988)이 소양호, 의암호, 춘천호에서 조사한 650~830 μ g/g, Fillos and Swason (1975)이 미국 Erie湖에서 조사한 600 μ g/g에 비해서는 다소 높았으나, Larsen et al.(1981)이 Minnesota州 Shagawa湖에서 조사한 1,800~4,600 μ g/g, Fillos and Swason(1981)이 Muddy江과 Warner湖에서 조사한 1,300 μ g/g과 1,100 μ g/g등에 비해서는 낮은 것으로 나타났다.

그리고 底質중에 함유된 粒子狀 無機態磷과 粒子狀 有機態磷의 농도는 각각 650.8 μ g/g과 316.9 μ g/g이었고, 總磷에 대한 存在分率は 각각 65.7%과 34.3%이었다.

(2) 粒子狀 無機態磷(Particulate Inorganic Phosphorus, PIP)

가) Adsorbed-P

Adsorbed-P는 堆積物에 함유된 無機態磷중에서 가장 큰 이동성을 가진 부분으로, 堆積物 粒子 표면에서 느슨하게 吸着된 磷을 말하며 아주 작은 物理的인 要因에 의해서도 쉽게 上層水로 溶出될 수 있는 형태이다.

지점 1, 2의 농도범위는 37.0~91.4 μ g/g(58.2 μ g/g dry sediment), PIP에 대한 占有率은 6.6~11.4%(8.9%)로 나타났다. 이는 全(1985, 1988)이 의암호, 소양호, 춘천호에서 조사한 농도와 PIP에 대한 占有率이 각각 1.2~2.5 μ g/g(1.6 μ g/g)와 0.47~1.06%(0.75%), 城(1983)이 日本 大阪灣에서 조사한 PIP에 대한 占有率이 1~12%(6.75%)에 비하면 상당히 큰 부분으로 차지하고 있었다. 그러므로 溶存態磷의 水層으로부터의 除去過程에서 無機粒子의 表面에의 吸着過程이 큰 역할을 하고 있으며 또한 底質로부터의 磷 溶出에도 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

나) NAI-P(Non Apatite Inorganic-P)

NAI-P는 단기간의 배양에서도 많은 양이 生成되기도 하고 溶出되기도 하기때문에 湖沼 堆積物과

結果 및 考察

1. 底質의 特性

底質의 분석 결과는 Table 1과 같다.

1) 強熱減量 및 底質COD

底質에 있어 有機物 汚染의 지표인 強熱減량은 지점 1, 2에서 7.64~7.69%로, 小山忠四郎(1975)이 일본의 富營養化水域의 하나인 木崎湖에서 조사한 19.53%, Fillos and Swason(1975)이 Muddy江과 Warners湖에서 조사한 11.8%, 13.4%에 비해서는 낮았으나 경기도 시화지구의 1.36~6.07%에 비해서 높게 나타났으며, 底質COD는 2.06~2.40%로 경기도 시화지구의 0.07~1.60%보다 높은 것으로 나타났다.

2) 總磷, 粒子狀 無機態磷, 粒子狀 有機態磷

(1) 總磷(T-P)

지점 1, 2의 底質 시료에 함유된 總磷의 농도범

Table 1. Range and mean values of I. L., COD, T-P, PIP and POP in sediment.

Station	I. L. (%)	COD ()	T-P ()	POP ()	PIP			
					Total μ g/g dry sediment	Adsorbed-P	NAI-P	Apatite-P ()
1	6.45~8.93	1.91~2.89	1,038.2~1,088.8	238.3~351.5	737.3~799.8	63.0~91.4	435.9~446.0	228.4~272.5
2	7.12~8.16	1.73~2.38	815.4~1,018.5	378.1~389.7	437.2~628.8	37.0~41.5	267.2~440.9	133.1~146.5
Range	6.45~8.93	1.73~2.89	815.4~1,088.8	238.3~389.7	533.0~768.6	37.0~91.4	267.2~446.0	133.1~272.5
(Mean)	(7.67)	(2.23)	(990.2)	(316.9)	(650.8)	(58.2)	(397.5)	(195.1)

水層간의 物質循環에서 관심이 가장 큰 부분으로 Fe, Al과 錯物을 형성하여 沈澱된 형태의 磷을 말한다. 이 부분은 間隙水나 水層의 pH상승과 有機物分解에 따른 산소평형의 변화에 따라 매우 민감하게 반응하는 형태이다.

지점 1, 2의 농도범위는 267.2~446.0 $\mu\text{g/g}$ (397.5 $\mu\text{g/g}$ dry sediment), PIP에 대한 占有率은 54.5~70.1%(61.1%)로 나타났다. 이는 全(1985, 1988)의 의암호, 소양호, 춘천호에서 조사한 농도와 PIP에 대한 占有率이 76.2~247.3 $\mu\text{g/g}$ (182.9 $\mu\text{g/g}$)와 62.2~84.4%(77.4%), 城(1983)이 大阪灣에서 조사한 PIP에 대한 占有率 33~64%(48.5%)와 비교하면 높은 농도이며, 비슷한 占有率로 나타났다. 이 부분의 存在分率이 높으므로 이 부분이 底質內的 pH나 Eh변화에 민감하게 반응하여 底質로부터 上層水로의 磷 溶出에 크게 관여할 것으로 판단된다.

다) Apatite-P

Apatite-P는 水環境에서 植物營養物質로 고정되지 않는 부분으로, 磷灰石의 결정구조속에 함유된 磷을 말한다. 이 부분은 일반적으로 호소수의 磷酸 磷의 농도가 Apatite에 대해 과포화되어 있기 때문에 pH가 매우 낮지 않는 한 上層水로의 이동이 일어나지 않으므로 정상적인 湖沼環境에서는 Apatite-P의 溶出을 기대할 수 없는 형태이다.

지점 1, 2의 농도범위는 133.1~272.2 $\mu\text{g/g}$ (195.1 $\mu\text{g/g}$ dry sediment), PIP에 대한 占有率은 23.3~34.1%(30.0%)로 나타났다. 이는 全(1985, 1988)의 의암호, 소양호, 춘천호에서 조사한 농도와 PIP에 대한 占有率이 34.0~50.7 $\mu\text{g/g}$ (43.8 $\mu\text{g/g}$)과 13.4~36.8%(21.4%), 城(1983)이 日本 大阪灣에서 조사한 PIP에 대한 占有率 35~55%(44.5%)와 비교하면 높은 농도이며, 비슷한 占有率로 나타났다.

이상의 결과로부터 PIP의 농도범위는 437.2~799.8 $\mu\text{g/g}$ (650.8 $\mu\text{g/g}$ dry sediment), 總磷에 대한 占有率은 53.6~77.0%(65.2%)로 나타났다. 아울러 總磷에 대한 POP의 占有率은 34.8%로, 이는 城(1983)이 大阪灣에서 조사한 23~42%와는 비슷하였으나, 全(1985, 1988)이 의암호, 소양호, 춘천호에서 조사한 48.2~85.2%와 龜田·木下(1978)이 東京灣에서 조사한 53~63%와 비교하면 다소 낮은 것으로 나타나 植物性 플랑크톤의 uptake에 의한 수중의 粒子狀 有機態磷의 제거는 의암호등에 비해 크지 않음을 알 수 있다.

2. 底質로부터 磷의 溶出特性

水溫과 溶存酸素가 서로 다른 環境條件에서 시간의 경과에 따른 磷酸 磷($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, DIP)과 溶存態

總磷(DTP)의 농도변화를 Fig. 3에 나타냈다.

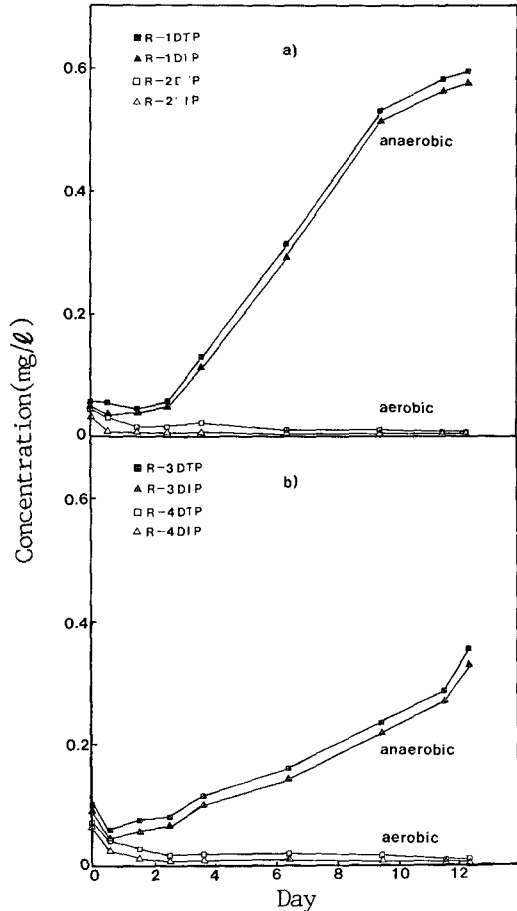


Fig. 3. Release profiles of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and DTP concentrations at various environmental conditions.

a) water temp.: 24°C
b) water temp.: 14°C

1) 水溫에 따른 磷의 溶出特性

Fig. 3 a)는 水溫이 24°C인 경우이며, b)는 水溫이 14°C인 경우로, a)와 b) 모두 실험 시작후 약 2~3일 경과하면 뚜렷한 농도변화를 보였다. 水溫이 높은 嫌氣의 조건(R-2)에서 反應槽내 磷의 농도는 거의 대수적으로 증가하였고 水溫이 낮은 嫌氣의 조건(R-3)에서도 磷의 농도가 빠른 速度로 증가하는 경향을 보였다. 그리고 水溫이 낮은 好氣의 조건(R-4)에서 磷의 濃度가 水溫이 높은 好氣의 조건(R-1)보다 빠른 速度로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 磷의 底質로부터의 溶出 速度에 水溫의 影響을 받고 있음을 알 수 있다.

2) 溶存酸素에 따른 磷의 溶出特性

Fig. 3에서 보면 好氣의 조건(R-1, R-4)의 경우 수중의 磷이 沈澱, 吸着반응의 결과로 수층으로부터

터 제거되어 수층의 인 농도가 거의 검출되지 않을 정도로 매우 낮았다. 그러나 혐氣的 조건(R-2, R-3)에서는 底質로부터 용출되는 인의 용출速度가 매우 높아 수층의 인 농도가 거의 대수적으로 증가하였다. 이와 같은 결과로부터 인의 底質로부터의 용출速度에는 水溫보다 용存酸素가 더욱 큰 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

3) 環境條件에 따른 인의 용출速度

水溫과 용存酸素의 서로 다른 環境條件에 따른 磷酸磷과 용存態總磷의 용출速度를 산출하여 Table 2와 Fig. 4에 나타냈다. 水溫이 높은 好氣的 조건(R-1)에서, 지점 1, 2를 통해 PO_4^{3-} -P와 DTP의 용출速度는 각각 $-5.57mg/m^2/d$, $-6.37mg/m^2/d$ 로 산출되었다. 이러한 조건에서는 PO_4^{3-} -P와 DTP는 沈降, 吸着반응의 결과로 수층으로부터 제거되고 있음을 알 수 있으며 용存態總磷의 86.0%가 磷酸磷의 형태로 수층으로부터 底層으로 제거되는 것을 알 수 있다.

Table 2. Mean values of phosphorus release rate at various environmental conditions.

	PO_4^{3-} -P ($mg/m^2/d$)	DTP ($mg/m^2/d$)	PO_4^{3-} -P/DTP (%)	Remark
R-1	-5.57	-6.37	86.0	24°C, aerobic
R-2	39.41	41.04	96.2	24°C, anaerobic
R-3	26.76	28.17	94.6	14°C, anaerobic
R-4	-4.42	-5.29	79.2	14°C, aerobic

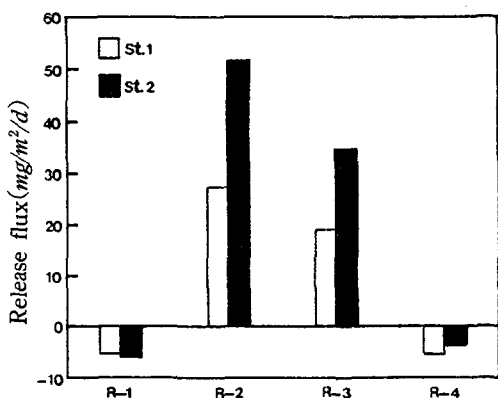


Fig. 4. Release flux of phosphate at various environmental conditions.

水溫이 낮은 好氣的 조건(R-4)에서, 지점 1, 2를 통해 PO_4^{3-} -P, DTP의 용출速度는 각각 $-4.42mg/m^2$

$/d$, $-5.29mg/m^2/d$ 로 산출되었고 용存態總磷의 79.2%가 磷酸磷의 형태로 수층에서 제거되었다. 이상의 好氣的 조건(R-1과 R-4)에서는 水溫이 높을때 수층으로부터의 인 除去速度가 높았는데 이는 水溫의 증가로 인한 有機態磷의 分解 結果로 생성된 無機態磷이 수층으로부터 제거된 것으로 생각되며, Bannerman et al.(1974)이 미국 Ontario湖에서 조사한 $0.2mg/m^2/d$ (好氣的 조건, $4\sim 10^\circ C$), Vollenweider (1968)가 Baldeggersee湖에서 조사한 $-9.3mg/m^2/d$ (好氣的 조건), Fillos and Swason(1975)이 Muddy江과 Warner湖에서 조사한 $9.6mg/m^2/d$, $1.2mg/m^2/d$ 등과 비교하면 인의 除去速度가 매우 큰 것을 알 수 있다.

水溫이 높은 嫌氣的 조건(R-2)은 가장 큰 관심의 대상이 되는 경우이다. 지점 1, 2를 통해 PO_4^{3-} -P와 DTP의 용출速度는 각각 $39.41mg/m^2/d$, $41.04mg/m^2/d$ 로 산출되었으며 용存態總磷의 96.2%가 磷酸磷의 형태로 底質로부터 수층으로 용출되고 있음을 알 수 있다. 특히 7월 지점 2의 경우, 磷酸磷의 용출速度가 $77.6mg/m^2/d$ 로 산출되었다. 이는 Fillos and Swason(1975)이 Muddy江과 Warner湖에서 조사한 $91\sim 96mg/m^2/d$, $26mg/m^2/d$, Vollenweider (1968)가 Baldeggersee湖에서 조사한 $10mg/m^2/d$, 細見(1984)이 霞ヶ浦에서 6월 하순~9월 초순에 조사한 $1\sim 10mg/m^2/d$ 中島 · 西村(1978)이 大阪灣에서 추계에 조사한 $9.3\sim 29.14mg/m^2/d$, 中西 등(1977)이 瀬戸内海에서 8~12월에 조사한 $6.2mg/m^2/d$ 와 비교하면 비록 측정법의 상이함은 있지만 洛東江 河口湖에서의 底質로부터의 인 용출速度가 매우 높음을 알 수 있다.

水溫이 낮은 嫌氣的 조건(R-3)에서, 지점 1과 2를 통한 PO_4^{3-} -P와 DTP의 용출速度는 각각 $26.76mg/m^2/d$, $28.17mg/m^2/d$ 로 산출되었으며 용存態總磷의 94.6%가 磷酸磷의 형태로 용출되었다.

이상의 실험결과로부터 洛東江 河口湖에 있어 인 용출速度가 상당히 높은 것으로 보아 洛東江 河口湖에 있어 底質이 内部負荷源으로 작용할 가능성이 매우 크며 또한 河口湖의 연 평균 인 농도의 증가에 직접적인 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

要 約

洛東江 河口湖의 水質管理 모델링을 위한 인자 중의 하나를 구하기 위해 河口湖내의 底層 堆積物로부터의 인의 용출特性에 대한 연구를 수행하였다. 底質에 존재하는 POP와 PIP의 總磷에 대한 존

재비율은 각각 34.3%, 65.7%이었고, 대부분의 PIP는 NAI-P(61.1%)와 Apatite-P(30.0%)의 형태로 존재하였다. 回分式 反應槽를 이용하여 水溫과 溶存 酸素의 環境條件에 따라 산출한 磷의 溶出速度는, 높은 水溫과 嫌氣的 조건에서는 $39.4\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 底質로부터 많은 量이 溶出되며, 낮은 水溫과 好氣的 조건에서는 $-4.4\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 水層으로 부터 除去되는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 洛東江 河口湖내의 底質이 磷의 内部負荷源으로 작용할 가능성이 매우 크며 河口湖의 磷 농도 증가에 직접적인 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

文 獻

- APHA · AWWA · WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington.
- Bannerman, R. T. et al. 1974. Proc. 17th Conf. Great Lakes Research, 158~178.
- Bores, P. C. M. 1986. Studying the phosphorus release from the Loosdrecst lakes sediments, using a continuous flow system. Hydrobiological Bulletin. 20(1/2), 51~60.
- FAO. 1975. Manual of methods in Aquatic Environment Research. pp. 206~208.
- Fillos, J. and W. R. Swason. 1975. The release rate of nutrients from river and lake sediments. J. WPCF. 47(5), 1032~1042.
- Hieltjes, A. H. M. and L. Lijklema. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. J. of Env. Qual. 9, 405~407.
- Larsen, D. P., D. W. Schults and K. W. Malueg. 1981. Summer internal phosphorus supplies in Shagawa Lake, Minnesota. Limnol. Ocenaogr., 26(4), 740~753.
- Vollenweider, R. A. 1968. Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as a Factor in Eutrophication. DAS/CIS/68, 27, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- 龜田泰武·木下正明. 1978. 閉鎖性水域底質中の營養鹽類について. 公害と對策. 14(8), 32~38.
- 小山忠四朗. 1975. 底質と富營養化について. 公害と對策, 11(5), 11~21.
- 小山忠四朗. 1982. 水質底質化學分析法. 成文堂, pp. 197~198.
- 城 久. 1983. 大阪灣底泥中に含まれる磷の存在形態と溶出分割. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 49(3), 447~454.
- 城 久. 1987. 大阪灣における磷の循環. 沿岸海洋研究ノート. 24(2), 158~168.
- 細見正明. 1984. 霞ヶ浦底泥からの窒素および磷の溶出について. 國立公害研究所研究報告. 51, 191~217.
- 神奈川縣弘濟會. 1972. 公害關係の分析法解説.
- 中島光敏·西村 榮. 1978. 内灣, 湖沼における底泥の影響について-I. 昭和 53年度 日本海洋學會春季大會 講演要旨集, 134~137.
- 中西 弘·浮田正夫·河合泰治. 1977. 底泥からの營養鹽の溶出. 昭和 51年度文部省科研費, 瀬戸内海環境改善の基礎的研究, 總合シンポジウム要旨集.
- 日本水質汚濁研究會. 1984. 湖沼環境指針. 161p.
- 梁鎮宇·李錫謨·朴清吉. 1990. 洛東江 河口湖에서의 磷의 沈降特性. 韓水誌, 23(3), 185~191.
- 全相浩. 1985. 昭陽湖의 表層 堆積物에 함유된 磷의 存在形態에 대하여, 韓國地球科學會誌, 6(2), 57~60.
- 全相浩. 1988. 춘천지역의 人工湖堆積地에 함유된 磷의 存在形態에 따른 水質汚染의 可能性에 대하여. 韓國水質保全學會誌, 4(2), 49~57.

1990년 5월 26일 접수

1990년 6월 23일 수리