

洛東江 河口湖에서의 磷의 沈降特性

梁鎮宇 · 李錫謨 · 朴清吉

釜山水産大學校 環境工學科

Settling Characteristics of Phosphorus in Nakdong Estuary Barrage

Jin-Woo YANG, Suk-Mo LEE and Chung-Kil PARK

Department of Environmental Science and Engineering,

National Fisheries University of Pusan,

Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

A study on the characteristics of phosphorus sedimentation in Nakdong Estuary Barrage was conducted in June and July, 1989. Cylindric type sediment trap was designed for collecting of downward material.

Downward flux and settling velocity of downward material were $296g/m^2/d$, $1.25m/hr$ in mid-layer and $955g/m^2/d$, $3.31m/hr$ in bottom-layer, respectively. Downward flux and settling velocity of phosphorus were $0.64g/m^2/d$, $0.85m/hr$ in mid-layer and $1.97g/m^2/d$, $1.89m/hr$ in bottom-layer, respectively. Fractional composition of organic phosphorus in downward material was 51.9% in mid-layer water and 48.3% in bottom-layer water.

According to the result of this study, sedimentation of phosphorus plays an important role as a sinking effect in Nakdong Estuary Barrage.

緒 論

湖沼등과 같은 淡水域에서의 富營養化 현상에 대한 연구를 수행함에 있어, 水域의 營養度를 지배하는 制限因子인 磷의 循環過程(吳·申, 1982; 村上, 1975; 金, 1983)에 대한 究明은 本本적이며 중요한 과제라 할 수 있다.

특히 河口湖와 같이 흐름이 차단된 수역에서는 부유물질이 다량 沈降하게 되며 아울러 이런 부유입자에 쉽게 흡착되는 無機態磷도 많은 양이 沈降될 것으로 판단된다. 그러나 河川, 湖沼와 같은 水域에서의 磷의 沈降에 대한 직접적인 측정이 어려우며(Larsen et al., 1981) 광범위한 보충자료가 부족한 상황에서 磷의 沈降速度를 $10\sim 13.2m/y$ 로 가정하여 磷의 沈降過程을 해석하고 있는 실정이다(Kenneth and Chapra, 1983). 그러므로 磷의 沈降에 대한 정확한 究明없이 富營養化 水域의 문제

점 해결 및 수질관리를 위한 근원적인 해결이 어려울 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 1987년 11월 하구둑 공사의 완공으로 인하여 일종의 貯水地化된 하천구간으로 볼 수 있는 洛東江 河口湖의 수질관리 개선방안 확립을 목적으로, 富營養化水域에서 磷의 循環過程 중 水域內에서의 water column을 통한 磷의 沈降過程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 試水와 沈降性 物質을 채집하였다. 지점 1은 洛東江 下流의 流速도를 중심으로 分岐된 東水路로 사상공단을 비롯한 여러 공장들로부터 산

업폐수와 가정하수가 방류되는 엄궁천과 학장천 그리고 감전 유수지의 영향을 직접적으로 받는 지점이며, 지점 2는 西水路로 하구둑으로 인하여 흐름이 완전 차단된 지점이다.

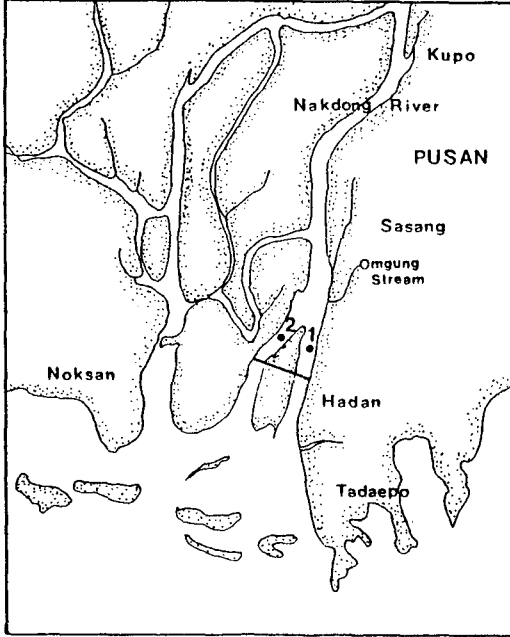


Fig. 1. Map showing the sampling site.

건조된 沈降性 物質에 함유된 總磷의 농도를 구하여 산출하였고, 沈降 플럭스는 沈降性 物質의 방법과 동일하게 산출하였다. 그리고 sediment trap의 設置 및 回收時 周邊水의 粒子態 總磷 농도(time-depth average PTP)를 이용하여 磷의 沈降速度를 산출하였다(Wodka et al. 1985).

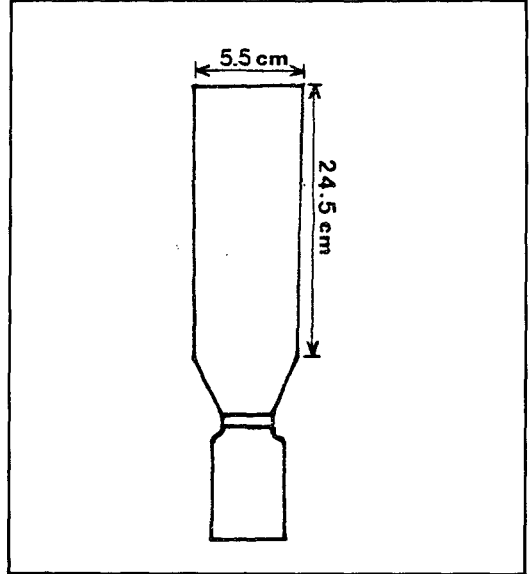


Fig. 2. Cylindric type sediment trap used in this study.

2. 實驗裝置

본 연구에 사용한 sediment trap의 설계는 P.V.C. 재질로서 실린더형으로 제작하였고, 입구지름과 깊이는 그 비가 4.5정도가 되도록 각각 5.5cm, 24.5cm로 설계하였으며, 沈降性 物質의 回收를 쉽게 하기 위하여 하부에 300ml 용량의 polyethylene 병을 부착하였다. 사용한 sediment trap의 모형도는 Fig. 2에 나타냈다.

3. 實驗方法

沈降性 物質의 沈降速度는 다음과 같이 산출하였다. 먼저 조사지점에 일정기간동안 設置, 回收한 sediment trap속에 포집된 沈降性 物質의 沈降量(mg)을 구한 후 포집에 이용한 sediment trap의 단면적과 포집기간으로 나누어 沈降 플럭스($mg/m^2/day$)를 산출하였다(日本水質汚濁研究協會, 1984). 그리고 沈降 플럭스를 sediment trap의 設置 및 回收時 周邊水中の 총 부유물질 농도(time-depth average TSS)로 나누어 沈降速度(m/day)를 算出하였다(堀江毅 등, 1980). 또한 磷의 沈降量은 포집,

4. 分析方法

1) 水 質

(1) 溶存酸素: DO meter(YSI model 57)를 사용하여 현장 측정

(2) 透明度: Secchi disk로 현장 측정.

(3) 總浮游物質(TSS): Whatman GF/C 여과지로 試水를 여과하여 105~110℃에서 건조시켜 恒量을 구함(APHA · AWWA · WPCF, 1985).

(4) 클로로필 a(Chlorophyll a): Strickland & Parson법에 의한 비색정량(Strickland and Parsons, 1972).

(5) 磷酸磷($PO_4^{3-}-P$, DIP): Ascorbic acid법에 의한 비색 정량(APHA · AWWA · WPCF, 1985).

(6) 溶存態總磷(DTP): Whatman GF/C 여과지로 여과한 여액에 대하여 總磷을 정량(APHA · AWWA · WPCF, 1985).

(7) 總磷(T-P): 과산화 칼륨을 가하여 분해한 후 磷酸磷을 정량(APHA · AWWA · WPCF, 1985).

(8) 粒子態總磷(PTP): T-P - DTP

2) 沈降性 物質

(1) 沈降量: sediment trap을 조사지점의 중, 저층에 각각 4개씩 1조로 묶어 2~3일 동안 설치한 후 회수, 정치시킨 다음 실험실에서 빠른 시간내 sediment trap내의 沈降性 物質을 원심분리기의 침전관으로 옮기고 4,000rpm에서 15분간 원심분리시킨 후 상등액을 제거한 다음, 증류수로 여러번 반복하여 원심분리시켜 탈염시키고, 가능한 침전관의 밑부분에 沈降性 物質이 쌓이도록 하였다. 침강성 물질이 쌓인 침전관을 60~80℃의 항온 건조기에서 건조, 방냉시킨 후 무게를 측정하였다(日本水質汚濁協會, 1984).

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

(3) 無機態磷: Hieltjes and Lijklema(1980)의 分割실험법에 의해 정량.

성한 湖沼의 營養型에서 제시된 富營養型 판정 기준인 5m와 비교하면 아주 낮은 값이며, Forsberg and Ryding(1980)의 營養度 구별(6월~9월, 평균치)에서의 富營養範圍인 1.0~2.5m 보다도 낮은 값으로 河口湖의 營養狀態가 富營養 내지는 過營養 狀態에 있는 것으로 나타났다.

溶存酸素(DO)는 지점 1, 2를 통한 표, 저층에서 각각 7.8mg/l, 5.2mg/l이었으며, 표층의 포화도는 97.5%로 河口湖 건설전의 84.9%(崔, 1985)보다 높았으며, 저층의 경우 63.5%로 나타났다.

클로로필 a는 32.1mg/m³로 Forsberg and Ryding (1980)의 營養度 구별(6월~9월, 평균치)에서의 富營養範圍인 7~40mg/m³에 해당되는 것으로 富營養 狀態에 있음을 알 수 있으며, 河口湖 건설 이전의 20.4mg/m³(崔, 1985)에 비해 1.5배 정도 증가된 것임을 알 수 있다.

磷酸磷은 0.6~1.0μg-at/l로 표층에서 저층으로 갈수록 증가하였으며, 總磷은 2.6~3.5μg-at/l범위로, 吉村(1937)의 湖沼營養型에서 富營養型的 總磷 농도기준인 0.65μg-at/l보다 매우 높음을 알 수 있고, Forsberg and Ryding(1980)의 營養度 구별(6월~9월, 평균치)에서의 富營養 범위는 0.8~3.2μg-at/l와 비교하여 판정할 때 河口湖의 營養狀態가 富營養 내지는 過營養단계에 있음을 알 수 있으며 磷酸磷과 마찬가지로 低層으로 갈수록 증가하였다.

結果 및 考察

1. 水質의 特性

본 연구 기간중 조사한 수질 분석자료에 대하여 지점별, 수심별로 나타내면 Table 1과 같다.

透明度는 지점 1, 2에서 각각 1.0m, 0.9m로, 이는 吉村(1937)이 日本內 湖沼의 특성을 고려하여 작

Table 1. Range and mean values of trans., temp., DO, PO₄³⁻-P, T-P and Chlorophyll a in water.

	Station	trans. (m)	temp. (℃)	DO (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (μg-at/l)	T-P	Chl. a (mg/m ³)
Range	1-S	0.8~1.2	23.3~28.1	6.4~8.4	0.7~0.9	2.4~2.6	29.3~39.7
	1-B		23.0~26.8	5.0~5.9	0.9~1.1	3.4~4.0	18.4~39.0
	2-S	0.8~1.0	23.1~28.2	6.7~9.9	0.3~0.6	2.3~2.9	28.3~31.0
	2-B		22.3~26.2	4.2~5.7	0.9~1.0	3.1~3.5	11.6~31.4
Range	S	0.8~1.2	23.1~28.2	6.4~9.9	0.3~0.9	2.3~2.9	28.3~39.7
		(0.9)	(25.7)	(7.8)	(0.6)	(2.6)	(32.1)
(Mean)	B		22.3~26.8	4.2~5.9	0.9~1.1	3.1~4.0	11.6~39.0
			(24.6)	(5.2)	(1.0)	(3.5)	(25.1)

S: Surface water
B: Bottom water

2. 沈降性 物質 및 磷의 沈降 플럭스와 沈降速度

1) 沈降性 物質의 沈降 플럭스와 沈降速度
sediment trap을 지점 1, 2의 중, 저층에 설치, 회수하여 분석한 결과는 Table 2와 같다.

沈降 플럭스는 지점 1의 중, 저층에서 각각 502.2

g/m²/d, 1,329.2g/m²/d로 지점 2의 91.0g/m²/d, 208.6 g/m²/d보다 중, 저층에서 각각 5.5배, 6.4배 정도 높았다. 이는 潮汐週期에 따라 不定期的으로 河口湖水門을 조작함에 따른 영향으로 인하여 지점 1의 中, 低層에서 低層으로의 沈降 플럭스가 매우 큰

것으로 생각된다. 그리고 지점 1, 2를 통해 中層에서 296.6g/m²/d, 低層에서 955.7g/m²/d로 中層에서보다 低層에서의 沈降 플럭스가 약 3.2배 높았는데 이는 低層 堆積物이 물의 흐름에 의해 再浮遊된 영향으로 생각된다. 이 결과를 福島(1984)이 日本의 대표적인 貧營養狀態 湖沼인 中禪寺湖에서 조사한 沈降 플럭스 3.4g/m²/d(조사수심: 10m), 日本國立公害研究所(1984)가 夏季에 富營養化湖沼인 湯ノ湖에서 조사한 0.89~2.10g/m²/d(수심: 0~4m), 1.60~2.34g/m²/d(수심: 0~11m), 畑·片山(1977)이 高知 養魚場에서 조사한 72.2~154.0g/m²/d(춘~동계), White and Wetzel(1973)이 美國의 中營養狀態의 Lawrence湖에서 조사한 112~118g/m²/d(2~3월), 全·李(1986)가 춘천시내 공지천의 중, 저층에서 조사한 0.2g/m²/d, 3.8g/m²/d, 洪 등(1988)이 춘천 소양호에서 조사한 4.35g/m²/d 등의 측정값들과 비교하면 洛東江 河口湖의 경우 外部로부터의 과도한 汚染源의 流入과 水門開閉操作으로 인하여

다른 어느 水域에 비해서도 많은 양의 沈降性 物質이 포집되는 것으로 나타났다.

지점 1, 2를 통한 중, 저층에 존재하는 TSS(time-depth average TSS)는 중층에서 9.85mg/l, 저층에서 11.33mg/l로 중층보다 저층에서 다소 높았다. 沈降速度는 지점 1의 중, 저층에서 각각 2.10m/hr, 4.60 m/hr로 지점 2의 0.40m/hr, 0.77m/hr보다 중, 저층에서 각각 5.3배, 6배 정도 높았다. 또한 지점 1, 2를 통해 중층의 1.25m/hr에 비하여 저층에서는 3.31m/hr로 2.6배 정도 沈降速度가 높은 것으로 나타났다. 이는 福島(1984)이 日本의 中禪寺湖에서 조사한 0.1m/hr, 日本國立公害研究所(1984)가 夏季에 湯ノ湖에서 조사한 0.16~0.43m/hr(0~4m), 0.02~0.03m/hr(0~11m)에 비하여 매우 큰 沈降速度임을 알 수 있다.

그리고 沈降性 物質에 대한 強熱減量은 13.1~19.7%로 나타났다.

Table 2. Range and mean values of downward flux, time-depth average TSS, settling velocity and I. L. in dry downward material.

Station	downward flux (g/m ² /d)	time-depth average TSS (mg/l)	settling velocity (m/hr)	I. L. (%)
1-mid	498.0~ 506.4	10.30~ 9.64	2.05~2.15	13.5~14.7
bottom	1,292.0~1,366.4	10.20~14.62	3.68~5.47	13.2~15.9
2-mid	57.9~ 124.1	9.30~10.0	0.26~0.52	13.8~19.7
bottom	208.6	10.26	0.77	13.1
mid (mean)	57.9~ 506.4 (296.6)	9.30~10.30 (9.85)	0.26~2.15 (1.25)	13.5~19.7 (15.4)
bottom	208.6~1,366.4 (955.7)	9.20~14.62 (11.33)	0.77~5.47 (3.31)	13.1~15.9 (14.1)

2) 磷의 沈降 플럭스와 沈降速度

磷의 沈降 플럭스와 沈降速度에 대한 결과는 Table 3과 같다. 沈降性 物質에 함유된 總磷은 지점 1의 중, 저층에서 각각 2,202.1μg/g dry downward material, 2,079.1μg/g dry downward material로 지점 2의 2,052.4μg/g dry downward material, 1,763.8μg/g dry downward material에 비하여 다소 높았으며, 지점 1, 2를 통해 중층에서 2,127.3μg/g dry downward material로 저층의 1,974.0μg/g dry downward material보다 다소 높게 나타났다. 그리고 沈降性 物質의 沈降量에 대한 總磷의 沈降量 分率は 중층이 0.22%로 저층의 0.20%보다 다소 높게 나타났다.

磷의 沈降 플럭스는 지점 1의 중, 저-에서 1.10 g/m²/d, 2.77g/m²/d로 지점 2의 0.17g/m²/d, 0.37g/m²/d에 비하여 중, 저층에서 각각 6.5배, 7.5배 정도 높았다. 그리고 지점 1, 2를 통해 중층의 0.64g/m²/d보다 저층에서 1.97g/m²/d로 3.1배 정도 높았다. 이는 Wodka et al.(1985)이 美國 Minnesota州의 過營養湖인 Onondaga湖에서 조사한 0.02~0.18g/m²/d, 福島 등(1984)이 日本의 貧營養湖인 中禪寺湖에서 조사한 3.4g/m²/d, White and Wetzel(1973)이 中營養湖인 Lawrence湖에서 조사한 0.0001~0.0032g/m²/d와 비교하면 매우 높은 것으로 나타났다.

지점 1, 2를 통해 PTP는 중층에서 0.03mg/l, 저층에서 0.05mg/l로 저층에서 다소 높았다. 이는 磷

의 沈降性和 관련되는 것으로 생각된다.

沈降速度는 지점 1의 중, 저층에서 각각 1.47m/hr, 2.65m/hr로 지점 2의 0.23m/hr, 0.36m/hr보다 중, 저층에서 각각 6.4배, 7.3배 정도 높은 것으로 나타났다. 그리고 지점 1, 2를 통해 중층의 0.85m/hr보다 저층에서 1.89m/hr로 2.2배 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 지점 2보다 지점 1에서 매우 큰 沈降 플럭스를 나타냈고, 그에 따라 침강성 물질에 함유된 磷의 沈降 플럭스도 동일한 경향을 나타냈으며, 또한 지점 1과 2의 각 수층에서의 PTP농도가 거의 같았으므로 磷의 沈降速度가 지점 2보다는 지점 1에서 그리고 중층보다는 저층에서 상당히 크게 나

타난 것으로 생각된다. 이는 Wodka et al.(1985)이 미국의 Onondaga湖에서 조사한 0.02~0.2m/hr, 日本國立公害研究所(1984)가 湯ノ湖에서 조사한 0.01~0.02m/hr(0~4m)와 0.02~0.03m/hr(0~11m) 등과 비교해 보면 매우 높은 沈降速度를 나타냈다.

따라서 기존의 여러 富營養化 모델에서 가정값으로 적용하고 있는 磷의 沈降速度와는 큰 차이를 보이고 있으므로 洛東江 河口湖에서 富營養化 모델의 적용시 기존의 여러 모델에서 적용한 磷의 沈降速度를 적용할 경우 큰 誤差를 유발할 것으로 판단된다.

Table 3. Range and mean values of T-P, P downward flux, time-depth average PTP and settling velocity in dry downward material.

Station	Total Phosphorus (mg/g downward material)	P downward flux (g/m ² /d)	time-depth average PTP (mg/l)	settling velocity (m/hr)
1-mid	1,931.3~2,473.2	0.96~1.25	0.03~0.04	0.93~2.01
bottom	1,854.9~2,303.3	2.40~3.15	0.04~0.06	1.71~3.59
2-mid	1,649.9~2,454.9	0.14~0.21	0.03~0.04	0.21~0.26
bottom	1,763.8	0.37	0.04	0.36
mid (mean)	1,649.9~2,473.2 (2,127.3)	0.14~1.25 (0.64)	0.03~0.04 (0.03)	0.21~2.01 (0.85)
bottom	1,763.8~2,303.3 (1,974.0)	0.37~3.15 (1.97)	0.04~0.06 (0.05)	0.36~3.59 (1.89)

3. 沈降性 物質에 含有된 磷의 存在形態

沈降性 物質에 함유된 磷의 存在形態에 대한 결과는 Table 4와 같다.

1) 總磷(T-P)

지점 1, 2를 통한 中, 低層에서 沈降性 物質에

함유된 總磷의 농도는 각각 2,127.3μg/g dry downward material, 1,974.0μg/g day downward material 로 중층에서 다소 높게 나타났다.

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

Table 4. Range and mean values of T-P, POP and PIP in downward material.

Station	Total Phosphorus ()	POP	PIP			
			Total μg/g dry downward material	Adsorbed-P	NAI-P	Apatite-P ()
1-mid	1,931.3~2,473.2	988.5~1,198.6	942.8~1,274.6	129.7~162.5	613.4~963.5	166.9~181.5
bottom	1,854.9~2,303.3	927.7~1,086.2	927.2~1,217.1	100.8~157.4	570.5~893.5	199.3~222.8
2-mid	1,649.9~2,454.9	823.0~1,408.6	827.0~1,040.2	137.1~265.8	483.7~527.5	206.1~252.9
bottom	1,763.8	848.2	915.6	108.3	681.2	126.1
mid (mean)	1,649.9~2,473.2 (2,127.3)	823.0~1,408.6 (1,104.7)	827.0~1,274.6 (1,022.7)	129.7~265.8 (173.8)	483.7~963.5 (647.0)	166.9~252.9 (201.9)
bottom	1,763.8~2,303.3 (1,974.0)	848.2~1,086.2 (954.0)	915.6~1,217.1 (1,020.0)	100.9~157.4 (122.2)	570.5~681.2 (715.1)	126.1~222.8 (182.7)

(1) Adsorbed-P

Adsorbed-P는 堆積物에 함유된 無機態磷중에서 가장 큰 이동성을 가진 부분으로, 堆積物 粒子 表面에 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, 2를 통한 중, 저층에서 각각 173.8 $\mu\text{g/g}$ dry downward material, 122.2 $\mu\text{g/g}$ dry downward material로 중층에서 다소 높았으며, PIP에 대한 占有率은 중층에서 17.0%로 저층의 12.0%보다 다소 높았다. 이는 植物 플랑크톤 등의 粒子形態의 表面에 완만하게 吸着된 狀態이므로 上層水 층에서 粒子에 일시적으로 吸着되어도 그 狀態로 저층에 堆積하는 것은 아니고 沈降하는 사이에 吸着되었던 無機態磷이 水中의 物理的 作用에 의해 쉽게 다시 수중으로 離脫되는 것으로 판단된다.

(2) 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 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, 2를 통한 중, 저층에서 각각 647.0 $\mu\text{g/g}$ dry downward material, 715.1 $\mu\text{g/g}$ dry downward material로 저층에서 다소 높았으며, PIP에 대한 占有率은 중층의 63.3%보다 저층에서 70.1%로 다소 높았다.

(3) 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, 2를 통한 중, 저층에서 각각 201.9 $\mu\text{g/g}$ dry downward material, 182.7 $\mu\text{g/g}$ dry downward material로 나타났으며, PIP에 대한 占有率은 중층에서 19.7%로 저층의 17.9%보다 다소 높았다. 이는 不溶性이므로 水層을 沈降하면서 거의 分解등의 반응없이 沈降하였음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 沈降性 物質에 함유된 粒子狀 無機態磷(PIP)은 지점 1, 2를 통해 중, 저층에서 각각 1,022.7 $\mu\text{g/g}$ dry downward material, 1,020.0 $\mu\text{g/g}$

/g dry downward material로 水層간의 농도 차이는 거의 없었으며 TP에 대한 PIP의 占有率은 중, 저층에서 각각 48.1%, 51.7%로 저층에서 다소 높았다. 이는 水層을 沈降하면서 粒子狀 有機態磷의 分解로 生成된 粒子狀 無機態磷의 沈降에 의한 것으로 판단된다.

要 約

洛東江 河口湖의 富營養化와 관련된 磷의 循環過程을 究明하기 위해 洛東江 河口湖에서 磷의 沈降過程에 대한 研究를 遂行하였다. sediment trap에 포집된 沈降性 物質의 沈降 플럭스는 中層 및 低層에서 각각 296 $\text{g/m}^2/\text{d}$, 955 $\text{g/m}^2/\text{d}$, 沈降速度는 1.25 m/hr , 3.31 m/hr 이었고, 磷의 沈降 플럭스는 中, 低層에서 각각 0.64 $\text{g/m}^2/\text{d}$, 1.97 $\text{g/m}^2/\text{d}$, 沈降速度는 0.85 m/hr , 1.89 m/hr 이었다. 沈降性 물질에 존재하는 POP의 總磷에 대한 存在比率은 中層에서 51.9%, 低層에서는 48.3%로 나타났다.

이상의 結果에서 富營養化 모델을 洛東江 河口湖에서 적용할 경우 既存의 磷의 沈降速度 假定值에 대한 補正이 반드시 行해져야 함을 알 수 있다.

文 獻

APHA · AWWA · WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington.

Forsberg, C. and S. O. Riding. 1980. Arch. F. Hydrobiol, 89, 189~207.

Gardner, W. D. 1980. Sediment trap dynamics and calibration: A laboratory evaluation. J. Mar. Res., 38(1), 17~39.

Hieltjes, A. H. M. and L. Lijklema. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. J. of Env. Qual., 9, 405~407.

Kenneth, H. R. and S. C. Chapra. 1983. Engineering Approaches for lake Management. 1, 201p.

Larsen, D. P., D. W. Schults and K. W. Malueg. 1981. Summer internal phosphorus supplies in Shagawa Lake, Minnesota. Limnol. Oecnaogr., 26(4), 740~753.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed.

- White, W. S. and R. G. Wetzel. 1973. A modified sedimentation trap. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 986~988.
- Wodka, M. C., S. W. Effler and C. T. Driscoll. 1985. Phosphorus deposition from the epilimnion of Onondaga Lake. *Limnol. Oceanogr.*, 30(4), 833~843.
- 國立公害研究所研究報告. 1984. 湯ノ湖における富營養化とその防止對策. 56, 107p.
- 堀江毅, 三好英一, 關根好幸, 宮原祐二. 1980. 微細有機懸濁物の沈降特性について. 第33回 海岸工學講演會論文集. 337~341.
- 吉村信吉. 1937. 湖沼學. 三省堂.
- 小山忠四郎. 1982. 水質底質化學分析法. 成文堂, pp. 197~198.
- 福島武彦. 1984. 中禪寺湖における懸濁物質の沈澱量とその特性, 國立公害研究所研究報告, pp. 53~68.
- 日本水質汚濁研究協會. 1984. 湖沼環境指針. 161p.
- 畑 幸彦, 片山九五. 1977. 汚染物質の化學過程. 日本水產學會, 水產學シリーズ 21, 52~56.
- 村上 健. 1975. 底泥中の有機物質と水質汚濁. 公害と對策, 11, 1~7.
- 金善禧. 1983. 댐湖의 富營養化 水準 豫測 및 管理 對策에 관한 研究. 서울大學教 環境大學院 環境計劃學科 都市計劃學 碩士學位請求論文.
- 吳英敏·申錫奉. 1982. 水質管理. 産業公害研究所, 205p.
- 李光雨. 1984. 海洋化學. 大韓教科書株式會社. 서울, pp. 276~284.
- 全相浩·李海金. 1986. 衣岩湖 底泥에 의한 上部水層의 汚染可能性에 대하여. 韓國水質保全學會誌, 2(2), 1~8.
- 崔永贊. 1985. 洛東江 下流域의 富營養化 現象에 관한 研究. 釜山水產大學, 大學院 環境工學科 工學碩士學位請求論文.
- 홍기훈 外. 1988. 소양호와 중, 하류 한강 수계의 물질수지 및 수질오염에 관한 연구. BSPE 00 115-185-4, 한국과학기술원, 해양연구소.

1990년 5월 26일 접수

1990년 6월 23일 수리