

호소 퇴적물의 유기물 분포

황종연 · 한의정 · 유순주 · 윤영삼 · 천세억 · 김태근

국립환경연구원 금강수질검사소

Distribution of the Organic Contents in Reservoir Sediment

Hwang, Jong Yeon · Han, Eui Jung · Yu, Soon Ju
Yoon, Young Sam · Cheon, Se Eug · Kim, Tae Keun

Kum River Water Quality Research Laboratory,
National Institute of Environmental Research

Abstract

The organic contents of reservoir sediment can offer a good indicator to events in history of lake life. Reservoir sediment have many information of the past and future fingerprint about development direction of life cycle in biological animals. So, in this study we made an effort to know the distribution of organic contents in Daecheong reservoir sediment. Items for this investigations are such as follows: Loss on ignition, COD, Organic carbon, TN, TP, heavy metal contents. Loss on ignitions were determined in 6.44~15.91% and COD were determined in 1.606~6.859%, organic carbon in 1.077~3.743%. Contents of TP and TN were in the range of 0.083~0.757%, and 0.645~0.926%, respectively.

keywords : Lake Sediment, Organic Content, Organic Carbon Content, Chemical Oxygen Demand

I. 서론

지질학적 측면에서 지구상의 호소는 지표면에 일정기간 존재하였다가 사라지는 일시적인 존재(Objects)로 간주하고 있다. 지질학적 측면에서 호소의 생성은 지각의 대변동, 화산활동, 빙하의 움직임 등에 의하여 생성된 후 외부 및 내부의 물리적 자연적인 변화에 의하여 항상 변하는 것

로 알려져 있다. Hutchison(1957)¹⁾은 호소의 생성과 발전과정 등의 천이과정에 관하여 체계적으로 연구한 사람으로서 그는 호소의 생성형태를 76가지로 분류하였으며, 현재 이 분류기준은 지질학 및 지구형태학에서 매우 기초적인 분류 기준으로 사용되고 있다. Wetzel(1975)²⁾ 및 Rodhe(1969)³⁾는 호소의 영양상태를 파악하여 분류기준에 관하여 연구하였고, 호소의 저층을 이루는 퇴적물의 채

제적인 분류는 Siebold와 Berger(1982)⁴⁾에 의하여 이루어 졌는데, Siebold와 Berger는 호소에 유입되는 미세한 입자들이 호소 저층에 침강되어 퇴적층을 이루는 과정에 초점을 맞추어 Lithogenous, Hydrogenous, Biogenous sediment 등으로 구분하였다. 앞서 언급한 외형적인 분류와 다른 측면에서 Berner(1981)⁵⁾는 지질화학적으로 퇴적층내에 용존되어 있는 산소의 용존농도 및 황(Sulfur)의 용존농도에 따라 분류하기도 하였는데, 그는 용존 산소의 농도에 따라 Oxidic 및 Anoxic 으로 분류한다. Anoxic의 경우는 다시 황 성분의 용존 농도에 따라 Sulfidic, Non-sulfidic으로 분류하였다. 또한, Non-sulfidic의 경우는 Methane의 생성메카니즘에 따라 Post-oxidic 및 Methanic으로 분류하기도 하였다. Williams(1971)⁶⁾는 퇴적층의 인의 존재형태에 따라 퇴적층에서 수층으로 이동되는 메카니즘을 밝히면서, 인의 복잡한 결합형태 및 pH, Eh 등에 따라 동일한 조건에서도 거동을 예측하기 어렵기 때문에 호소의 퇴적물로 호소의 영양상태를 평가할 때는 질소 및 탄소에 의한 평가가 타당하다고 언급하였다. 그 후, Gjessing(1976)⁷⁾ 및 Golterman(1975)⁸⁾에 의하여 퇴적물에 많이 존재하는 원소의 일반적인 함량이 발표되었고, 퇴적물내 부식성 물질의 성분원소의 상대적인 함량비율은 10~20이라고 하였다. 그러나, 최근에는 퇴적물을 분류하는데 있어 무기태 질소, 유기태 질소, 광물성 인, 비광물성 인, 유기태인, 무기태인, 용존탄산, 휴믹산, 용존규산, 클로로필, 강열감량 등 포괄적인 요소를 전체적으로 고려하여 분류하는 방법을 사용하고 있다. 앞서 언급한 자료를 토대로 본 연구에서는 중부권역의 대표적인 인공호소인 대청호를 선정하여 퇴적물에 함유된 유기물의 함량을 조사하고, 원소분석을 통한 성분원소의 구성비율과 퇴적물에 많이 함유된 중금속 등의 분포를 조사하였다.

II. 연구개요

본 연구에서는 중부권의 중요한 상수원이며 대표적인 인공호소인 대청호를 선정하여, 호소를 몇 개의 수역으로 나누어 수역별 특징을 비교하고자 하였다. 수역의 구분은, 본류 구간으로서 청주와 대전 지역의 대규모 취수장이 있는 청주 취수탑(ME) 및 대전 취수탑(CD)을 선정하였으며, 본류구간으로서 기존의 가두리 양식장이 위치하여 퇴적층에 유기물이 많이 분포되었을 것으로 예측되는 회남 지역(HN)을 선정하였다. 한편, 대청호의 대표적인 유입지천인 옥천천이 유입되는 지역인 추소리 지역을 상류지역(CSJ), 본류구간과 만나는 하류지역(CSE)을 선정하여 비교하였다. 본 연구에서 사용한 시료 채취기구는 Core sampler를 이용하였으며, 채취한 시료컬럼은 가장 윗부분의 0~2cm를 표층 시료로 하였으며, 잉여의 부분은 층별(2cm 두께)로 절단하여 층별로 함유된 유기물의 함량분포를 조사하였다.

III. 연구방법

1. 강열감량

호소 퇴적물 및 토양을 연구하는 분야에서 강열감량은 기본적인 유기물의 함량을 나타내는 기본적인 지표로 많이 사용하고 있다. 그러나 강열감량은 실험조건에 따라서 상당히 다른 값을 보여 주기 때문에 실험조건의 정확한 기술이 반드시 필요로 하는 실험이기도 하다. 국내 및 외국의 호소학 및 퇴적학의 연구자료에 의하면, 강열감량의 온도조건은 400~700°C 범위에서 실시하고 있으며, 강열시간도 30~120분 범위에서 실시하고 있으므로 동일한 시료를 가지고 실험을 실시하여도 그 결과는 상당한 다른 값을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 실험조건을 (Mackereth 1966,

Digerfelt 1972, Cato 1977, Hakanson 1983) 이용하였는데, 건시료 5g 정도를 도가니에 넣은 뒤, 550°C 전기로에서 1시간 강열후 시료를 데시케이터 속에서 방냉한 다음 강열전·후의 무게 차로를 이용하여 계산하였다.

2. 화학적 산소요구량

퇴적물의 화학적 산소요구량은 과망간산칼륨 용액에 의하여 산화되는 유기물의 함량을 나타내는 것으로 본 연구에서 사용한 실험방법은 건시료 적당량을 0.1N 과망간산칼륨 용액 100ml에 넣고 30분간 수욕조에서 가열하여 분해한 뒤 용액을 여과한 다음, 용액의 전체 부피를 500ml로 맞춘 후, 100ml를 취하여 0.1N 과망간산칼륨 용액 10ml을 넣고 30분간 방치 후 KI(10w/v%) 용액 5ml을 가하여 혼합한 뒤, 이때 유리되어 나오는 요오드를 0.1N 티오황산나트륨 용액으로 적정하여 계산하였다. 함량의 계산은 시료 1g당 과망간산칼륨 용액에 의하여 소모된 소비량을 측정하여 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$\text{COD}_{\text{cal}} = (b-a) \times f \times 0.800 \times (500/100) \times (1/w) \dots\dots\dots(1)$$

COD_{cal} : 과망간산칼륨에 의한 산소소비량 (mg-O/g)

a : 시료의 적정에 소모된 0.1N 티오황산나트륨 용액(ml)

b : 바탕시험의 적정에 소모된 0.1N 티오황산나트륨 용액(ml)

f : 0.1N 티오황산나트륨 용액의 역가

w : 취한 시료량(g)

0.800 : 0.1N 티오황산나트륨 용액 1ml의 산소 소비량(mg)

3. 유기탄소

유기탄소의 함량은 중크롬산 칼륨을 이용하여 분해되기 쉬운 플라크톤 및 퇴적층에 침강되어 오랜 시간이 경과되지 않은 유기물의 유기탄소 함량을 측정하는 방법으로 사용되고 있다. 건조

된 시료 0.5g 정도를 500ml 삼각플라스크에 취한 뒤 1.0N-K₂Cr₂O₇ 용액을 10ml 가한 뒤 진한 황산 20ml을 가한 다음 30분 정도 방치한 다음, 전체 용액의 부피를 증류수로 일정한 부피까지 채운 뒤, 지시약을 넣은 다음 0.5N-FeSO₄(NH₄)₂SO₄·6H₂O 용액으로 적정하여 함량을 (2)식과 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{Organic Carbon}(\%) = 10 \times (1-S/B) \times (1.0 \times 0.003 \times 100/W) \dots\dots\dots(2)$$

10 : K₂Cr₂O₇ 초기 첨가부피(ml)

S : blank에 소모된 적정액의 부피(ml)

1.0 : K₂Cr₂O₇ 용액의 농도(N)

0.003 : 탄소의 무게 당량(meq)(12/4000)

W : 건조 시료의 무게(g)

4. 총인 및 총질소

총질소 및 총인의 함량은 동일한 전처리 조건에서 실시하기 위하여 미국 표준시험법에서 Proposed Method로 알려진 실험법을 이용하여 실시하였다. 건시료 일정량을 teflon vial에 넣은 후, 증류수 20ml와 과황산칼륨 약 3g을 넣은 다음, 밀폐하여 고압멸균기에서 3시간(121°C) 분해하여 실온으로 냉각시킨 후 여과한 여액을 시험용액으로 사용하였다. 여과한 용액중 일부를 취하여 발색시킨 뒤, 총질소는 220nm에서, 총인의 경우는 880nm에서 측정한 뒤 희석배율을 고려하여 건시료에 대한 함량비로 계산하였다.

5. 원소분석

원소분석기의 원리는 1000°C 되는 반응기 튜브속으로 시료가 전달되면, 수초동안 산소에 의하여 시료가 연소되며, 연소가스는 운반가스에 의하여 검출기로 이동하게 되는데, 이 과정에서 연소된 가스는 반응기 튜브에 패킹한 여러 가지 촉매를 거치게 되는데, 이때 촉매층을 지나는 동안 혼합된 연소가스는 N₂, CO₂, H₂O로 분리되어 각

각의 성분원소 함량으로 계산되는 원리로 되어 있다. 본 연구에서 사용한 원소분석기는 이태리 CE instruments사의 모델 EA1110 이었다.

6. 중금속

중금속의 함량도 전처리 과정에 따라 측정값이 매우 다르게 되므로, 방법상의 언급이 상당히 중요하다. 본 연구에서 사용한 중금속의 전처리 방법은 시료 0.2g 정도를 플라스크에 넣은 뒤 1N-HCl 용액 25ml 정도를 넣은 다음, 30분정도 가열기로 끓인 후 여과지로 여과하여 여과한 용액의 부피가 100ml 정도되게 한 다음, 용액중의 일부를 취하여 ICP로 측정하였으며, 측정된 농도는 회석배수 및 원시료에 대한 무게 함량으로 계산하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 유기물 함량

토양학, 해양학 및 퇴적학등의 연구 분야에서 토양 혹은 호소 및 해양 저질토 층의 유기물 분포의 지표로 가장 많이 사용하는 것이 강열감량이다. 강열감량은 고온의 전기로에서 시료를 회화시켜 시료중에 존재하는 대부분의 유기물을 증발시킨다고 할 수 있다. 또한, 강열감량은 정밀한 조건에서만 실시된다면 시료중에 존재하는 유기탄소의 함량을 가늠하는 자료로 사용할 수 있다고 보고된 바 있다(Mackereth, 1966)⁹⁾. 강열감량과 유기탄소와의 관계를 이용하여 Edgren(1978)⁸⁾은 스웨덴의 Malaren 호소 및 Vasteras, Kungsara, Gorvaln만의 퇴적물을 조사하여 강열감량과 유기탄소와의 관계를 수식화하기도 하였는데, 강열감

Table 1. Organic contents of upper layer sediments.

Items Sites	IG(%)		COD(%)		Org.-C(%)		TP(%)		TN(%)	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
ME 1	10.20	6.75	2.920	3.357	1.511	1.627	0.0835	0.0978	0.8459	0.9130
ME 2	10.21	6.68	3.107	3.145	1.572	1.689	0.0871	0.1071	0.7743	0.9262
ME 3	10.44	8.43	3.531	3.245	1.626	1.465	0.0818	0.1048	0.7225	0.8585
ME 4	10.95	9.27	3.136	3.219	1.604	1.759	0.0860	0.1063	0.8457	0.8949
CD 1	13.07	9.15	3.560	2.962	1.842	1.811	0.1205	0.0973	0.8692	0.8911
CD 2	12.64	9.55	2.761	3.103	1.654	1.666	0.0905	0.1006	0.7934	0.9243
CD 3	12.13	9.02	2.667	3.341	1.838	1.754	0.0872	0.0965	0.8153	0.9009
CD 4	12.39	9.51	2.472	2.899	1.713	1.706	0.1036	0.0969	0.8486	0.8837
HN 1	13.51	-	5.236	-	3.220	-	0.2852	-	0.8343	-
HN 2	15.91	-	5.956	-	2.889	-	0.6790	-	0.7847	-
HN 3	9.89	-	5.523	-	3.055	-	0.5975	-	0.8314	-
HN 4	9.89	-	6.859	-	3.743	-	0.7579	-	0.7932	-
CSE 1	9.85	9.37	2.171	1.606	1.389	1.266	0.0903	0.0876	0.6458	0.7570
CSE 2	9.47	7.00	2.818	2.063	1.486	1.168	0.1036	0.0862	0.6937	0.7761
CSE 3	9.09	6.44	2.523	2.061	1.369	1.201	0.0957	0.0891	0.7394	0.7834
CSE 4	9.73	9.24	2.799	2.232	1.300	1.196	0.0808	0.0931	0.6717	0.8287
CSJ 1	8.57	6.76	2.659	2.020	1.190	1.377	0.0821	0.0968	0.7786	0.8064
CSJ 2	8.52	6.92	1.781	2.436	1.219	1.269	0.0809	0.0901	0.7775	0.8210
CSJ 3	8.99	6.62	2.056	2.186	1.077	1.476	0.0771	0.0846	0.7975	0.7871
CSJ 4	9.84	6.72	2.394	2.396	1.226	1.249	0.0896	0.0833	0.7882	0.7134

량의 값이 10% 보다 훨씬 큰 값(30% 이상)을 가지는 경우, 유기탄소의 함량은 강열감량의 50%에 해당된다고 하였다. 한편, Carter(1973)¹¹⁾는 수분함량과 강열감량과의 관계를 밝히면서, 수분함량과 강열감량은 정비례관계에 있으며, 동일한 퇴적층일 경우는 퇴적층의 두께가 깊어 질수록 강열감량은 감소한다고 보고하였다. 본 연구에서 조사한 대청호의 경우는 1차 및 2차 조사시기 강열감량의 범위는 6.44%에서 15.91%의 범위에서 조사되었으며, 강열감량이 30% 이상되는 조사지점은 없었고 유기탄소의 함량도 1.077~3.743%로 조사되어 앞서 언급한 Edgren의 이론과는 잘 부합되지 않았다. Table. 1에서 보는 바와 같이 외국의 호소와는 달리 대청호는 인공호소이기는 하지만 외부로부터의 특정한 오염원이 없기 때문에 유기물의 함량이 상대적으로 낮다고 판단 할 수 있었다. 조사지점별 강열감량의 분포는 본류지점으로 볼 수 있는 ME 및 CD 지역의 경우 함량 범위는 6.75~13.07%로 조사되었으며, 1997년 까지 양어장이 위치하였던 HN의 경우는 9.89~15.91%로 조사되었다. 외부 유입지천이 있으면서 만입부로 볼 수 있는 CSE 및 CSJ지역은 본류구간에 비하여 다소 낮은 함량으로 조사되었는데, 이것은 옥천천으로부터 유입되는 많은 양의 유입수가 있지만 본류구간쪽으로의 흐름이 항상 있으므로 상류 조사지점인 CSJ에서 본류와 합류하는 CSE 쪽으로 수체의 흐름에 따른 저층의 밀도류에 의하여 퇴적층의 유동성 때문일것으로 판단되었다. COD의 경우도 강열감량 및 유기탄소의 조사에서와 마찬가지로 유사한 변화형태로 조사되었는데, ME 및 CD지역은 2.472~3.560%로 조사되었으며, HN지점은 5.236~6.859%로 조사되어 조사지점중 가장 높은 값으로 측정되었고, 만입부지역인 CSE 및 CSJ 지역은 1.781~2.818%로서 조사 지점중 낮은 분포로 측정되었다. 총인 및 총질소의 함량도 ME 및 CD 지점의 경우는 비교적 고른 분포로 나타났으며, HN 지점은 다른 조사지점에 비하여

높게 나타났고, CSE 및 CSJ 지점은 다소 낮은 함량으로 조사되었다. Table. 2 및 Table. 3은 퇴적물 칼럼을 층별로 절단하여 유기물의 층별 함량분포를 나타낸 것으로, 전체적인 층별 분포는 표층에서 퇴적층의 깊이가 깊어질수록 유기물함량이 낮아지는 것으로 조사되었다.

2 퇴적물의 원소분석

일반적으로 알려진 퇴적물의 원소함량 비율을 이용하여 부식정도를 결정하는 이론은 이미 많은 학자들에 의하여 발표되었다. 호소의 퇴적층에 플랑크톤과 같은 유기물이 유입되어 분해되기 시작하면 질소성분의 분해가 탄소성분의 분해보다 빠르게 진행되기 때문에 분해하는 유기체내의 원소성분중의 C/N의 비율은 증가하는 것으로 알려져 있다. 이러한 경향은 퇴적층의 층별 원소함량

Table 2. TP, TN, COD and Org.-C contents of ME and CD sites.

Items Depth	TP(μg/g)	TN(μg/g)	COD(%)	Org.-C(%)
ME (0-2)	835	8459	2.731	1.789
(2-4)	1047	3973	2.629	1.076
(4-6)	618	5095	2.413	1.143
(6-8)	749	2403	3.444	1.242
(8-10)	663	4759	2.444	1.178
(10-12)	886	2207	2.476	0.999
(12-14)	842	5449	2.536	1.046
(14-16)	763	7620	2.280	1.045
(16-18)	636	5246	2.230	0.987
CD (0-2)	1205	8692	3.159	1.625
(2-4)	944	7217	3.168	0.424
(4-6)	754	4845	3.222	0.710
(6-8)	984	8352	2.731	0.781
(8-10)	946	9308	2.085	1.390
(10-12)	852	8846	2.549	0.926
(12-14)	840	7492	1.971	1.246
(14-16)	1017	7897	2.323	1.518
(16-18)	834	6466	3.285	1.518
(18-20)	908	7187	2.215	1.563

Table 3. TP, TN, COD and Org.-C contents of CSE and CSJ sites

Depth	Items	TP($\mu\text{g/g}$)	TN($\mu\text{g/g}$)	COD(%)	Org.-C(%)
CSE(0-2)		903	6458	2.171	1.389
(2-4)		1147	6332	1.970	0.539
(4-6)		933	5337	2.232	0.866
(6-8)		865	8151	1.587	1.124
(8-10)		863	6275	1.581	0.418
(10-12)		764	2501	2.480	0.999
(12-14)		886	193	2.253	1.295
(14-16)		846	2136	2.826	1.104
(16-18)		810	6824	3.022	1.006
(18-20)		712	7675	2.562	1.167
(20-22)		700	7600	-	-
CSJ (0-2)		821	7786	2.659	1.190
(2-4)		772	7486	1.919	0.833
(4-6)		782	7807	1.801	0.991
(6-8)		800	7063	1.941	1.196
(8-10)		701	5967	1.639	1.050
(10-12)		851	8036	1.917	1.052
(12-14)		985	7917	2.700	1.044
(14-16)		876	7397	2.454	0.897
(16-18)		834	6440	2.482	0.655
(18-20)		1133	7003	2.033	0.965

비를 보아도 알 수 있는데, 퇴적층의 층별 탄소 및 질소성분의 함량은 두께가 깊을수록 저층에서의 함량비율은 상대적으로 분해속도가 빠른 질소성분의 함량이 적어지게 되므로 C/N의 비율은 증가하는 것으로 알려져있다. Koyama(1966)¹²⁾는 Kizaki호소 퇴적물층의 유기물의 분해과정을 연구하여 일반적으로 죽은 동·식물의 잔해가 호소의 저층에 누적되어 분해되기 시작하면 Org.-H>Org.-N>Org.-C의 순으로 분해가 진행된다고 하였다. 그 후 Koyama와 공동연구자들(1973)¹³⁾은 앞서 언급한 포괄적인 분해순서를 더 세밀한 단계까지 구분하여, 전체적인 유기물을 구성하는 물질들의 분해순서는 Pigments>Fatty acids>Aminoacid>Carbohydrates> Humic substances라고 보고하였다. Koyama의 이론을 토대로하여 Nikaido등(1977)¹⁴⁾은 Kojima호소의 수온

상승시기인 여름철과 수온이 하강하기 시작하는 가을철 사이에 메탄가스의 생성 메카니즘을 밝히면서, 두 계절사이의 메탄가스 생성메카니즘은 다르며 중요한 인자중의 하나는 유기물중에 함유된 질소와 탄소의 함량비라고 하였다.

Table. 4와 Table. 5는 조사지점의 각각 조사지점의 표층 시료에 대한 원소함량을 나타낸 것으로서 1차 및 2차 조사시기 전체를 살펴볼때 전체 조사시료의 질소의 함량은 0.1328~0.4157%, 탄소의 함량은 1.3707~3.7018%, 수소의 함량은 0.7030~1.7963%로 조사되었다. 앞서 언급한 유기물함량과의 관계를 보면 유기물의 함량이 높았던 조사지점의 함량이 각각 원소성분 함량도 높은 것으로 조사되었다. 특히 HN지점의 경우, 수소의 함량은 어느정도 유사하였지만, 질소 및 탄소의 함량은 다른 지점에 비하여 2배 정도의 함량으로 조사되었다. 본 조사에서는 강열후 시료에 대하여 원소분석을 실시하여 강열후 시료에 잔존하는 원소의 함량도 측정하여, 전체의 함량에 대하여 유기태(organic form) 및 무기태(inorganic form)으로 함량비를 비교하였다. ME 및 CD 지점의 유기태 및 무기태의 함량비는 유사하였고, CSE 및 CSJ 지점도 약간의 차는 있었으나 비슷한 함량비율로 조사되었으며, HN지점의 경우는 전체 질소 성분중 94%, 탄소는 93%, 수소는 80%정도가 유기태(organic form)로 측정되어 다른 조사지점에 비하여 유기물 함량 비율이 상대적으로 높음을 알 수 있었다. 한편, Table. 6 과 Table. 7은 각 원소의 층별 분포를 조사하여본 결과 앞서 유기물함량의 층별 분포에서와 마찬가지로 퇴적물 칼럼의 윗부분의 함량이 높게 조사되었으며 깊이가 깊어질수록 낮은 함량으로 조사되었다. 이러한 경향을 확인하여 보고자 퇴적층 칼럼의 길이가 가장 큰 HN지점의 한 칼럼을 선정하여 원소 함량분포를 비교하였는데, Table. 8에서 보는 것처럼 표층쪽의 유기물 함량이 높았고, 저층의 유기물 함량이 낮은 결과를 확인 할 수 있었다.

Table 4. Elemental contents ratios of upper layer sediment ('98 1st samples).

Items Sites	Nitrogen			Carbon			Hydrogen		
	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)
ME 1	0.2313	85.04	14.95	1.8091	89.87	10.13	1.1214	73.22	26.78
ME 2	0.3351	93.83	6.17	1.9370	92.72	7.28	0.9573	69.06	30.94
ME 3	0.2285	88.07	12.03	1.9801	87.75	12.25	1.0406	74.80	25.20
ME 4	0.2497	93.44	7.56	1.4197	92.40	7.60	0.9634	97.16	2.86
CD 1	0.3230	92.45	8.45	1.9589	92.70	8.30	1.2654	74.21	25.79
CD 2	0.2688	89.25	11.75	1.9680	87.06	12.94	1.1023	69.88	30.12
CD 3	0.2784	89.55	10.45	2.2363	89.58	10.42	1.2266	73.86	26.14
CD 4	0.3185	91.50	8.50	2.0563	90.08	9.92	1.2443	71.92	28.08
HN 1	0.3644	93.58	6.42	3.0758	93.08	6.12	1.3863	76.28	23.62
HN 2	0.4021	94.81	5.19	3.7018	95.09	4.91	1.4436	80.62	19.38
HN 3	0.4157	95.05	4.95	3.6568	96.10	3.90	1.4099	81.71	18.29
HN 4	0.4078	94.98	5.02	3.5888	97.32	2.68	1.3463	81.22	17.78
CSE 1	0.1999	87.15	12.85	1.6923	87.01	12.19	1.0038	70.77	29.23
CSE 2	0.2147	88.27	11.73	1.7846	88.75	11.25	0.9869	66.38	33.62
CSE 3	0.2108	86.44	13.56	2.0103	50.26	49.74	1.0031	67.44	32.06
CSE 4	0.3272	90.47	9.53	2.8619	89.82	10.18	1.4944	81.44	18.56
CSJ 1	0.1658	83.60	16.40	1.6244	89.14	10.86	1.7963	82.95	17.05
CSJ 2	0.1780	87.20	12.80	1.6991	89.69	10.31	0.8825	71.48	28.52
CSJ 3	0.2474	89.29	10.71	1.8105	89.68	10.32	0.9651	75.91	24.09
CSJ 4	0.1781	82.98	17.12	1.6856	84.96	15.14	0.8558	70.18	29.82

Table 5. Elemental Contents ratios of upper layer sediment ('98 2nd samples)

Items Sites	Nitrogen			Carbon			Hydrogen		
	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)	Cont.	Org.(%)	Inorg.(%)
ME 1	0.2283	87.17	12.83	2.1775	91.66	8.33	1.0964	79.32	20.68
ME 2	0.2259	91.00	9.00	2.2227	98.13	1.87	1.1757	84.98	15.02
ME 3	0.2018	88.31	11.69	2.0259	96.79	3.21	1.1248	80.13	19.87
ME 4	0.2362	88.02	11.98	2.2370	97.05	2.95	1.1798	85.16	14.84
CD 1	0.2214	90.29	9.71	2.1115	97.62	2.38	1.1446	82.86	17.14
CD 2	0.2326	87.32	12.68	2.1238	96.16	3.84	1.1917	85.69	14.31
CD 3	0.2427	87.81	12.19	2.2485	97.47	2.53	1.1807	86.40	13.60
CD 4	0.2321	91.04	8.96	2.2793	94.03	5.97	1.1596	79.98	20.05
CSE 1	0.1529	86.86	13.14	1.6800	94.36	5.64	0.8678	81.10	18.90
CSE 2	0.1380	85.80	14.20	1.5932	89.77	10.23	0.8702	78.45	21.46
CSE 3	0.1542	82.37	17.63	1.6159	88.14	11.86	0.8744	77.04	22.96
CSE 4	0.1635	86.18	13.82	1.7665	94.72	5.28	0.8764	79.67	20.33
CSJ 1	0.1603	82.48	17.52	1.7609	98.88	1.12	0.7030	82.58	17.42
CSJ 2	0.1725	80.58	19.42	1.9460	93.65	6.35	0.8574	78.43	21.27
CSJ 3	0.1722	80.43	19.57	1.8227	92.57	7.43	0.8791	79.05	20.95
CSJ 4	0.1328	76.36	13.64	1.3707	88.88	11.12	0.7058	75.10	24.90

Table 6. Elemental contents in ME, CD sites. ('98 samples)

Items Sites	Nitrogen(%)		Carbon(%)		Hydrogen(%)		Oxygen(%)	
	1st	2nd	1st	2ndSites	1st	2nd	1st	2nd
ME (0-2)	0.2313	0.2283	1.8091	2.1775	1.1214	1.0964	6.6246	7.9845
(2-4)	0.2475	0.2217	2.7728	2.1386	1.0742	1.0494	6.3008	8.2474
(4-6)	0.1488	0.2151	1.3969	2.1339	0.7701	1.0569	5.9544	7.3043
(6-8)	0.1919	0.2186	1.8558	2.1548	1.0553	1.0429	7.3416	7.7615
(8-10)	0.2624	0.2098	2.5619	2.0803	1.4250	1.0886	6.7103	7.3567
(10-12)	0.1576	0.2029	1.5566	1.9877	0.8796	1.0920	7.3504	7.7450
(12-14)	0.1769	0.1991	1.8832	2.0501	1.7735	1.0781	7.2945	7.0690
(14-16)	0.1890	0.2095	1.9410	2.0732	1.1223	1.1008	7.0032	7.4772
(16-18)	0.1291	0.2360	1.3432	2.041	0.7356	1.0845	6.8907	7.1164
CD (0-2)	0.3230	0.2427	1.9580	2.2793	1.2654	1.1917	8.2351	8.0289
(2-4)	0.2513	0.2849	2.2460	2.4326	1.2106	1.2160	8.2832	7.1351
(4-6)	0.2632	0.2752	2.2789	2.3592	1.1844	1.5947	8.0866	7.0170
(6-8)	0.3016	0.2740	2.3888	2.3799	1.2445	1.5816	8.5551	8.7244
(8-10)	0.2932	0.2649	2.2973	2.2803	1.3417	1.4934	8.3743	8.5778
(10-12)	0.2680	0.3101	2.1029	2.6386	1.2205	1.2871	7.9415	8.4864
(12-14)	0.1872	0.2989	1.7284	2.6572	1.1606	1.2903	8.7615	7.7655
(14-16)	0.2420	0.2777	2.0618	2.4573	1.2363	1.2593	8.5850	8.4309
(16-18)	0.2832	0.2418	2.2916	2.1679	1.2117	1.2461	8.3259	8.2993
(18-20)	0.2825	0.3007	2.1987	2.6967	1.2340	1.3968	8.5000	7.8052

Table 7. Elemental contents in CSE, CSJ sites. ('98 samples)

Items Sites	Nitrogen(%)		Carbon(%)		Hydrogen(%)		Oxygen(%)	
	1st	2nd	1st	2ndSites	1st	2nd	1st	2nd
CSE(0-2)	0.1999	0.1635	1.6923	1.7665	1.0038	0.8764	7.3323	6.068
(2-4)	0.2594	0.1655	2.4727	1.6548	1.4585	0.7596	6.6641	5.0345
(4-6)	0.1120	0.1575	1.1796	1.6887	0.6502	0.8391	6.3217	5.8053
(6-8)	0.1565	0.1704	1.6985	1.7171	0.8606	0.8507	6.3815	6.0861
(8-10)	0.1895	0.1728	2.0670	1.6982	1.0863	0.8473	6.6823	5.7457
(10-12)	0.2280	0.1642	2.4891	1.5578	1.2183	0.8080	6.6604	5.4914
(12-14)	0.1825	0.1493	1.9997	1.4955	1.0477	0.8003	6.4431	5.5015
(14-16)	0.1559	0.1700	1.7337	1.5660	0.9763	0.7948	6.6331	4.8944
(16-18)	0.1413	0.1824	1.5880	2.1639	0.7277	0.8831	6.6874	5.0097
(18-20)	0.1604	0.1443	1.8381	1.4586	1.3976	0.8813	5.8622	5.1183
(20-22)	0.1108	0.1425	1.1949	1.3609	0.5699	0.7821	6.8047	5.0872
CSJ (0-2)	0.1658	0.1752	1.6244	1.9460	1.7963	0.8791	6.4137	5.9296
(2-4)	0.1276	0.1553	1.6608	1.8779	1.3636	0.9535	5.9215	5.4242
(4-6)	0.0891	0.1690	1.0923	1.9942	0.5167	0.9134	6.2904	5.4322
(6-8)	0.1485	0.1428	1.7382	0.3750	1.4892	0.1781	6.2736	5.7441
(8-10)	0.1553	0.1619	1.9860	2.1164	1.4186	0.9649	6.1214	6.4754
(10-12)	0.1150	0.1642	1.5387	2.0967	0.6698	0.8999	6.2235	5.5069
(12-14)	0.1641	0.2075	1.9847	2.3582	1.5460	1.0400	6.3065	4.6441
(14-16)	0.1602	0.2038	2.0397	2.2648	1.5647	0.9848	6.0255	6.3961
(16-18)	0.1020	0.2066	1.3035	2.3177	0.5749	0.9524	7.1309	6.3161
(18-20)	0.1892	0.2628	2.1232	2.9783	1.5197	1.2979	5.1366	6.2269

Table 8. Elemental Contents in Hoenam2 sites. ('98 1st samples)

Elements Sites	Nitrogen (%)	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Oxygen (%)
HN(0-2)	0.4157	3.6568	1.4099	8.9141
(2-4)	0.4484	3.5506	1.2320	5.6128
(4-6)	0.4004	3.6482	1.3395	5.4129
(6-8)	0.4151	3.8410	1.2340	5.0645
(8-10)	1.3109	10.3570	2.1945	8.9727
(10-12)	1.2421	10.6940	2.0425	8.0093
(12-14)	0.8933	8.9725	1.7872	7.9795
(14-16)	0.6884	6.6201	1.4875	6.6013
(16-18)	0.3907	3.3654	1.2030	4.9004
(18-20)	0.3211	3.2902	1.2242	4.3822
(20-22)	0.6241	5.7376	1.5614	6.6862
(22-24)	0.5252	5.0382	1.4650	5.5326
(24-26)	0.3343	2.9551	1.1631	4.4883
(26-28)	0.3163	4.3324	1.3770	4.8507
(28-30)	0.3070	2.6182	1.1942	4.1980
(30-32)	0.2148	1.8508	1.0618	3.9810
(32-34)	0.2127	1.6718	0.8189	3.8689
(34-36)	0.1986	1.6577	0.8537	3.6814

3. 인 존재형태별 함량분석

퇴적학의 연구분야에서 인(Phosphorus)은 매우 중요하게 취급되고 있다. 호소로 유입되는 인은 주변의 농경지, 가정의 하수, 공장의 폐수등이 외부의 주요 공급원으로 되어있으며, 최근 부영양화 호소에서의 경우는 퇴적층 자체에서 용출되어 나오는 용존성 인의 문제를 매우 중요하게 다루고 있다. 외부에서 유입되는 인의 양이 많아 질수록 퇴적층에서 인을 보유 할 수 있는 능력이 부족 할 경우는 외부로 용출시키게 된다. 과량의 인이 호소로 유입되면, 퇴적층으로 누적되는 양이 많아질 것이고, 퇴적물의 인 보유능력이 한계에 이르면 인은 물리적인 평형을 이루기 위하여 퇴적층 외부로 용출되는 물질평형의 과정으로도 설명할 수 있다. 그러나, 인 용출은 매우 복잡한 메카니즘으로 진행되는 것으로 알려져 있으며, 일

Table 9. Phosphorus contents of upper layer sediment('98 1st samples)

Items Sites	TP ($\mu\text{g/g}$)	Inorganic-P ($\mu\text{g/g}$)								RP	
		NH ₄ Cl-P	(%)	Al-P	(%)	Fe-P	(%)	Ca-P	(%)	TP-IP	(%)
ME1	835	7.92	0.94	6.30	0.75	256	30.65	239	28.62	325	38.92
ME2	871	5.73	0.65	1.84	0.21	270	30.99	243	27.89	350	40.18
ME3	818	9.92	1.21	0.95	0.11	268	32.76	156	19.07	383	46.82
ME4	860	6.45	0.75	-	-	275	31.97	189	21.97	389	45.23
CD1	1205	4.27	0.35	2.92	0.24	306	25.39	167	13.85	724	60.08
CD2	905	10.61	1.17	1.99	0.21	300	33.14	181	20.00	411	45.41
CD3	872	5.32	0.61	4.62	0.52	300	34.40	165	18.92	397	45.52
CD4	1036	5.66	0.54	39.85	3.84	333	32.14	186	17.95	471	45.46
HN1	2852	80.50	2.82	1.14	0.03	819	28.71	1197	41.97	754	26.43
HN2	6790	217.6	3.20	-	-	1477	21.75	2155	56.86	2490	36.67
HN3	5975	169.1	2.83	4.42	0.07	1473	24.65	1945	32.55	2383	38.20
HN4	7579	164.8	2.17	2.53	0.03	1161	15.31	2367	31.23	3883	44.59
CSE1	903	22.42	2.48	0.22	0.02	289	32.00	246	27.24	345	45.24
CSE2	1036	19.14	1.84	2.11	0.20	278	26.83	274	26.22	462	39.23
CSE3	957	10.85	1.13	1.70	0.17	260	27.16	251	28.34	433	41.04
CSE4	808	22.27	2.75	-	-	239	29.57	229	35.56	317	39.23
CSJ1	821	15.43	1.87	2.53	0.30	174	21.19	292	33.12	337	41.04
CSJ2	809	15.70	1.94	4.33	0.53	126	15.57	268	37.09	394	48.70
CSJ3	771	10.00	1.29	0.86	0.11	152	19.70	286	32.14	322	41.76
CSJ4	896	10.28	1.14	2.87	0.32	188	20.98	288	30.13	406	45.31

반적으로 알려진 인 용출은 퇴적층 및 직상수 및 간극수간의 농도차, 수온의 상승 등에 기인한다고 많이 알려져있다. 또한, 인 용출은 인과 결합된 무기물과의 여러 결합형태와도 밀접한 관계를 가지고 있으며 특히, 철 및 알루미늄과 결합된 형태의 인은 퇴적층에서 여건만 되면 언제든지 수층으로 용출될 수 있는 것으로 알려져 있다. 단계별 인 용출 실험도 여러 가지 실험법이 보고되고 있으며, 본 연구에서 적용한 방법은 가장 많이 사용하는 방법인 Chang and Jackson(1957)¹⁵⁾ 방법을 사용하였다. Table 9와 Table 10은 조사시기별 표층의 유기물 함량을 나타낸 것으로서, 여러 무기태인 중 NH₄Cl-P는 결합력이 비교적 약한 형태의 인으로서, 총인의 함량 중에서 차지하는 비율도 매우 낮게 측정 되었다. Fe-P의 경우는 22.66(1차)~27.71(2차)%로 조사되어 퇴적층에서의 조건만되면 언제든지 용출이 가능함을 알 수 있다. Fe-P는 인 용출과의 밀접한 관계가 있으며 Hosomi(1982)¹⁶⁾는 퇴적층으로 용출되는 인의 90%는 Fe-P 형태의 인이라고 하였다. 총인의 함

량중 무기태인의 함량을 제외한 나머지 부분의 인은 잔류성 인 또는 유기태 인으로 분류하고 있는데, 총인에서 차지하는 비율은 42.51~48.71%로 조사되었다. 1차 및 2차 조사결과로 부터 퇴적층에 존재하는 인 함량분포는 대체로 TP>RP>Fe-P>Ca-P>Al-P>NH₄Cl-P 였다.

4. 중금속 분포

토양 및 퇴적물에 존재하는 유기물 및 무기이온을 포함하는 전체적인 화학종들에 의한 분류는 Kemp 등(1976)¹⁷⁾에 의하여 발표된 분류 기준을 많이 인용하고 있다. 그는 토양에 분포량이 많은 규소, 알루미늄, 칼륨, 나트륨, 마그네슘 등을 Major elements로 분류하였으며 토양에 존재하는 무기이온들중 80% 이상을 차지한다고 하였다. 또한, 망간, 철, 황 등은 유기화학종 및 다른 무기이온들과의 결합에 의하여 유동성이 있는 금속들로 분류하여 Mobile element로 분류하였으며, 독성이 있는 수은, 카드뮴, 납, 크롬등은 Trace element로

Table 10. Phosphorus contents of upper layer sediment. ('98 2nd samples)

Items Sites	TP ($\mu\text{g/g}$)	Inorganic-P($\mu\text{g/g}$)								RP	
		NH ₄ Cl-P	(%)	Al-P	(%)	Fe-P	(%)	Ca-P	(%)	TP-IP	(%)
ME1	978	6.45	0.65	1.61	0.16	349	35.68	206	21.06	414	42.33
ME2	1071	-	-	1.20	0.11	324	30.25	178	16.61	567	52.94
ME3	1048	64.02	6.10	8.19	0.78	297	28.33	184	17.55	494	47.13
ME4	1063	8.77	0.82	1.31	0.12	244	22.95	199	18.72	609	57.29
CD1	973	7.35	0.75	3.99	0.41	284	29.18	135	13.87	542	55.70
CD2	1006	14.46	1.43	0.20	0.01	297	29.52	179	17.79	515	51.19
CD3	965	9.77	1.01	3.40	0.35	301	31.19	159	16.47	491	50.88
CD4	969	10.19	1.05	2.18	0.22	331	34.15	173	17.85	452	46.64
CSE1	876	14.42	1.64	1.68	7.19	260	29.68	192	21.91	407	46.46
CSE2	862	10.00	1.16	4.50	0.52	221	25.60	194	22.50	432	50.11
CSE3	891	11.77	1.32	2.99	0.33	238	26.71	206	23.12	432	48.48
CSE4	931	12.55	1.34	9.52	1.02	234	25.13	172	18.47	502	53.92
CSJ1	968	16.40	1.69	6.05	0.62	256	26.44	297	30.68	392	40.49
CSJ2	901	27.80	3.08	6.22	0.69	190	21.08	248	27.52	428	47.50
CSJ3	846	14.54	1.71	7.17	0.84	202	23.87	307	36.28	315	37.23
CSJ4	833	21.36	2.56	0.64	0.07	180	21.60	227	27.25	404	48.49

Table 11. Metal contents of upper layer sediments. ($\mu\text{g/g}$)

Metal Sites	Cr	Mn	Mo	Mg	Si	Fe	Co	Cu	Au	Li	Na	K	Ba	Al
ME1	15.144	530.362	101.086	9391.304	7137.681	63043.896	117.391	39.855	31.881	32.609	1015.217	3149.275	419.565	57028.236
ME2	15.766	716.000	100.240	8680.852	4608.896	63520.789	61.626	38.4.21	336.236	31.200	1881.600	2969.600	434.004	62960.258
ME3	8.695	631.150	77.101	7130.434	4346.376	52463.768	73.188	29.710	286.231	29.058	1617.391	2761.594	426.087	50652.269
ME4	22.093	743.023	100.930	9511.627	6889.530	68546.511	98.837	38.959	300.581	38.140	1017.442	3087.209	416.279	63372.458
CD1	10.059	425.149	96.047	6718.562	3910.179	62754.491	70.658	28.143	28.143	30.359	1000.599	2737.725	398.802	59461.147
CD2	5.474	374.860	96.871	5075.125	5008.347	50839.988	49.720	21.787	218.435	22.793	879.313	2424.581	329.609	46648.257
CD3	5.585	481.081	99.279	6972.972	7495.495	71261.261	54.054	27.027	216.216	30.991	988.288	2975.675	535.135	62522.456
CD4	14.861	446.527	100.000	9111.111	6833.333	73125.789	63.750	31.250	32.013	34.375	1134.028	2966.667	477.778	63958.856
HN1	15.556	459.649	81.754	7935.672	6918.128	61812.865	64.561	32.908	295.321	63.589	1256.897	2896.321	456.896	50467.789
HN2	9.853	471.324	81.176	6403.508	6093.567	49590.643	53.508	24.444	265.497	28.603	1318.38	2848.529	467.647	50147.753
HN3	5.528	564.228	74.777	7707.317	7382.113	61626.016	78.617	32.764	39.105	29.106	1128.455	2547.154	364.634	47804.258
HN4	10.566	509.434	78.491	7547.169	6779.874	60880.503	63.157	34.842	312.578	29.057	987.421	2476.713	362.264	47924.159
CSE1	13.710	138.710	72.957	13192.982	9754.385	97192.982	135.087	40.350	142.982	25.753	1184.946	2777.236	369.892	45376.369
CSE2	19.153	502.683	93.810	8761.904	6772.486	63968.253	62.063	28.835	423.280	28.571	937.037	2896.325	367.196	47989.258
CSE3	17.281	711.404	87.807	9903.508	9017.543	77631.578	111.315	37.280	422.368	28.085	175.461	2774.468	397.872	43055.159
CSE4	15.369	364.417	43.804	5159.905	4894.355	42392.638	72.395	18.404	304.907	25.702	2171.953	2614.912	471.053	27766.258
CSJ1	15.896	432.370	73.699	9572.254	6381.502	56589.595	77.283	26.647	214.098	29.509	1037.423	2542.331	484.663	42427.147
CSJ2	17.919	502.683	91.074	11557.046	4167.785	67046.979	117.919	30.738	281.744	25.087	1105.780	2653.698	439.306	50872.269
CSJ3	14.444	557.937	84.683	10793.650	8158.730	68650.793	111.031	32.385	261.111	28.523	1478.523	2348.993	418.121	48148.215
CSJ4	6.267	318.433	43.641	5829.493	2313.364	33917.050	59.493	17.235	177.419	25.896	1245.639	2233.658	420.951	42868.258

분류하고 0.1% 이상 존재한다고 하였다. 토양 및 퇴적물에 존재하는 중금속류의 분포에 관한 연구는 Bowen(1966)¹⁸⁾에 의하여 발표된 자료를 많이 인용하고 있는데, 그는 토양 및 퇴적물에 존재하는 대표적인 중금속 20여가지에 대하여 미량농도에서 고농도까지 측정된 자료를 발표하기도 하였다. 또한, Bowen은 수체 및 퇴적물에서 중금속의 중요성에 관하여 언급하면서 미량의 중금속은 생태계에서 미생물들의 효소 활동을 조절하거나, 중요한 촉매 역할을 함으로서 생체대사활동을 진행시키는 작용을 하며, 유독한 독소물질의 결합을 깨뜨려 독성효과를 없애는 역할도 수행한다고 하였다. 이러한 이유로 호소수 및 호소 퇴적물에 존재하는 중금속은 각각의 여건에 따라 결합형태가 바뀌어서 일반적으로 알려진 중금속자체의 독성 이외의 중요한 역할을 수행한다고 볼 수 있다. 수중에 존재하는 중금속류의 독성효과는 Cairns(1981)¹⁹⁾에 의하여 보고되었는데, 그는 발표한 자료에서 과량의 농도가 아닌 상태에서 중금속은 매우 여러 가지 역할을 보이며, 각 중금속은 특정농도 이상에서 존재할 경우에만 치명적인 독성을 발휘한다고 하였다.

토양 및 퇴적물의 중금속의 농도를 측정하는 과정에서 전처리과정 및 측정장비에 대한 언급은 매우 중요하다. 중금속 관련 자료를 발표 할 때는 전처리 과정을 정확히 기술하지 않으면 동일한 시료에 대해서도 상당한 측정값의 차를 보여 주기 때문이다. 또한, 측정장비에 대한 기술도 중요하다. 분석장비의 감도는 검출한계 및 측정값에 상당한 값의 차를 보여주기 때문이다. 조사결과 앞서 언급한 유기물분포 및 원소함량과 같은 특징은 없이 불규칙한 분포를 보여 주었다. 그러나, Kemp가 분류한 기준에 잘 부합되는 경향을 보여 주었는데, 토양중의 무기금속이온의 80%를 차지하여 Major elements로 분류되었던 Si, Mg, 및 Al의 함량이 다른 금속에 비하여 상대적으로 높게 조사되었다. 또한, 유기물 및 기타 무기이온들과의

결합력이 높아 Mobile element로 분류되는 Fe 및 Mn도 Trace elements 보다는 높은 함량으로 조사되었으며, Trace elements로 분류되는 Cu 및 Cr의 함량은 10~40pm 범위값으로 조사되었다.

참고문헌

1. Hutchison, 1957, Geography, physics and chemistry, Wiley, New York, 1015.
2. Wetzel, 1975, Limnology, Saunders, Philadelphia, 743.
3. Rodhe W, 1969, Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe, In Rohlih GA(ed) Eutrophication: cause, consequences, corrective, Natl acad Sci, Washington DC., 50-64.
4. Seibold, Berger, 1982, The sea floor, Springer Berlin Heidelberg, New York, 288.
5. Berner RA, 1981, A new geochemical classification of sedimentary environments, *J of Sediment petrol.*, 51, 359-365.
6. Williams, Syers, Harris, Armstrong, 1971, Fraction of inorganic phosphate in calcareous lake sediment., *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 45, 250-255.
7. Gjessing, 1976, Physical and chemical characteristics of aquatic humus, *Ann Abor Sci*, *Ann Abor.* 120.
8. Golterman, 1975, Physical Limnology, Elsevier, Amsterdam, 489.
9. Mackereth, 1966, Some chemical observations on post-glacial lake sediments, *Philos Trans R Soc London*, 250, 167-213.
10. Edgren, 1973, Oxygen uptake of bottom sediments studied insitu and in the laboratory, *Water Res*, 7, 1258-1294.
11. Carter, 1973, Surficial sediments of barkely sound and adjacent continental shelf, West Coast

- Vancouver Island, *Can J Earth Sci.*, 10, 441-459.
12. Koyama, 1966, ratios of organic carbon, nitrogen and hydrogen in recent sediments, *Coal Science, Advances in Chemistry Ser.*, 55, Amr. Chem. Soc., 43-57.
 13. Koyama, Nikaido, Tomino, Hayakawa, 1973, Decomposition of organic matter in lake sediment. In: E.Ingerson(ed.), *Proc. symposium Hydrochemistry biochemistry*, Vol. 1, 512-535.
 14. Nakajima, Yanita, Kobayashi, Ogura, 1979, Fraction of phosphorus in sediments of eutrophic lake and river, *Jap. J. Limnol*, 40(3), 129~136
 15. Chang, S. C. and Jackson, M. L., 1957, Fraction of soil phosphorus, *Soil Sci.* 84, 133-144.
 16. Hosomi, Okada, sudo, 1982, Release of phosphorus from lake sediment, *Environment International*, 7, 93~98.
 17. Kemp, Thomas, Dell, Jaquet, 1976, Cultural Impact on the geochemistry of sediments in lake Erie, *J Fish Res Board Can spec Issue*, 33, 440-462.
 18. Bowen, 1966, Trace elements in biochemistry, Academic Press, London, 241.
 19. Cairns, 1981, Testing for effects of chemicals on ecosystem, Natl Acad Press, Washington, DC., 103.