

夏季停滯期에 있어서 數個湖沼의 生態學的 比較研究*

嚴 圭 白

(서울대학교 文理科大學 植物學科)

Ecological Comparison of Several Lakes in Summer Stagnation Period

Kyu Baek Uhm

(Dept. of Botany, Seoul National University)

ABSTRACT

The physico-chemical factors, the distribution of chlorophyll and the primary production of the lakes Hwajinpo, Yongrangho, Chunchonho, Uiamho, Soyangho and Changjamot have been studied in order to make ecological comparison among these lakes during summer stagnation period of August to September of 1973. On the basis of the characteristics of these lakes, the lake types have been discussed.

Thermocline is observed at 3-4 m zone in the lake Changjamot and 4-5 m zone in the lake Yongrangho. In the case of lake Hwajinpo and impoundments, the distinct thermal stratification is not observed at the summer stagnation period.

As to vertical distribution of dissolved oxygen, a positive heterograde curve is obtained in the lakes Hwajinpo and Yongrangho. In the lake Changjamot the typical clinograde curve and the oxygen depletion in hypolimnion are observed. In the case of impoundments, however, the orthograde curve is observed in the lakes Chunchonho and Uiamho. While in the lake Soyangho, any stratification of the dissolved oxygen is not found.

In the brackish lakes, such as lakes Hwajinpo and Yongrangho, the salinity of hypolimnion is found to be much higher than that of epilimnion. In the lake Hwajinpo, the salinity of hypolimnion is exhibited 32.7‰, which is nearly the same as sea water.

The distribution of nitrogenous compounds and phosphates is found to be high in the lake Changjamot. The silicate is also found in high concentration in the lake Chunchonho, and the distribution of nutrients in the brackish lakes is generally low.

As to the vertical distribution of chlorophyll level, the lake Changjamot shows a stratum type and the brackish lakes L-type stratification. In the impoundments, lakes Chunchonho and Uiamho appear to be homogeneous type.

Seasonal variation of chlorophyll level in the lake Changjamot is examined from January to September 1973. The vertical distribution of chlorophyll during the period of circulation from January to April is homogeneous type and is stratum type thereafter. The maximum chlorophyll level is 277.4mg/m² on June 23 and the pattern of seasonal variation of chlorophyll level is comparable to the type of eutrophy.

The horizontal distribution of chlorophyll level is studied in the brackish lakes, Hwajinpo and Yongrangho. The pattern of distribution is found to be an irregular type.

On the basis of measurements of primary production by means of the carbon-14 method and the distribution of chlorophyll level, it is concluded that the interior part of the lake Hwajinpo and Changjamot are eutrophic and the exterior part of the lake Hwajinpo, lake Yongrangho and the impoundments, lakes Uiamho and Soyangho are mesotrophic.

* 본 연구의 일부는 서울 대학교 학술연구재단 연구비에 의하여 수행되었음.

緒論

Forbes(1887)는 이미 湖沼를 하나의 小宇宙 즉 microcosm으로 인식하였다. 이것은 곧 湖沼가 流入 및 流出하는 河川을 통하여 그리고 大氣와의 接觸水面을 통하여서만 外界와의 交渉을 갖는 하나의 독립된 水體로서, 이 水體내에서 無機物, 有機物 및 生物들이 끊임없이 서로 영향을 끼치면서 시시각각으로 변천하고 있는 독립된 物質代謝系를 이루며 하나의 작은 宇宙를 이루고 있음을 의미한다.

그리고 Forel(1901)은 湖沼내에서 일어나는 物質代謝過程을 여러가지 方向에서 연구하는 것이 곧 湖沼學의 내용의 전부라고 示唆하였다.

Forbes가 말하였듯이 湖沼는 小宇宙이며 그것은 統一體 혹은 綜合體 즉 biocoenotic entity를 이루고, 그 안에서는 여러가지 복잡한 현상이 일어나기 때문에 湖沼는 高度의 有機體라고 할 수 있다. 小宇宙로서의 湖沼의 일부의 特性을 비교할 뿐 아니라 全體로서의 性質이 비슷한 것을 類型化하여 湖沼標式을 정하고 또한 그의 相互關係와 成因에 대하여 분석하는 것이 近代湖沼學의 目標가 된다. 이 目標를 위하여서는 湖沼中에서 일어나는 物質循環을 조사하고 그 결과로서 生成되는 物質生産에 관한 연구가 이루어져야 한다.

이러한 湖沼 중의 物質循環과 生産에 관한 연구는 無機環境과 生物과의 相互作用을 포함한 보다 넓은 立場으로부터 生物의 生活에 이르기까지 연구대상이 되며 이는 自然의 보다 깊은 이해를 위하여 필요하다고 인식되기에 이르렀다. 이와 같은 自然認識은 필연적으로 生態系의 概念으로 발전되었는데, Forbes가 말한 小宇宙로서의 湖沼는 그 후 Thienemann(1928)에 의하여 biosystem의 概念으로 설명되었으며, 이것은 Tansley(1935)의 生態系의 概念으로 종합되었다.

湖沼生態系의 物質代謝를 考慮할 때 그 주요 과정은 有機物の 生成과 分解라고 할 수 있다. 그 중 有機物 生成의 대부분은 湖沼中の 綠色植物 특히 식물 플랑크톤의 光合成에 의존하고 있으며, 有機物の 分解過程은 주로 微生物에 의하여 진행된다. 그리고 식물 플랑크톤의 光合成에 의한 有機物生成은 基礎生産을 의미한다.

基礎生産의 測定은 Lohmann(1908)에 의하여 첫 試圖가 이루어졌으며, 최근에 이르러서는 光合成의 직접적인 測定에 의하여 定量化되기에 이르렀다(Gaarder & Gran 1927; Steemann Nielsen 1952).

그것은 湖沼에 있어서의 有機物生産은 沿岸帶를 제

외하고서는 주로 식물 플랑크톤에 의하여 이루어지는 까닭에 陸上生態系의 高等植物의 경우와 같이 光合成의 測定으로 基礎生産量을 推定할 수 있기 때문이다.

湖沼生態系의 基礎生産이 定量的으로 研究되기에 이른 것은 1940년경부터이다. Juday(1940)는 Wisconsin의 Mendota 湖에서, 그리고 Lindemann(1941; 1942)은 Cedar Bog 湖에서 각각 一年 間의 基礎生産量을 推定한 바 있다. 더욱이 Lindemann(1942)은 Elton(1927)의 食物連鎖의 概念을 한층 더 일반화하여, 營養段階로 구분하고 生態系의 營養構造로 파악하고자 하였다.

또한 湖沼의 遷移에 있어서 生産力과 光合成效率은 貧營養으로부터 富營養에 이르기까지 증가하며, 湖沼의 老朽期에 다시 감소한다고 결론짓고 있다. 이와 같은 Lindemann의 湖沼生態系의 生産에 관한 研究는 그 후 Clark(1946), Odum & Odum(1955), Odum(1957), 그리고 Teal(1957) 등에 의하여 계속되었다.

최근 放射性同位元素 C-14를 追跡子로 하여 水系에서의 基礎生産量을 測定하는 方法이 Steemann Nielsen(1952)에 의하여 개발된 이래로, 소위 C-14 법이 널리 이용되기에 이르렀으며, 淡水域의 基礎生産에 관한 연구가 활발하게 展開되었다(Steemann Nielsen & Jensen 1957; Verduin 1956; Rodhe 1958 b; Rodhe, Vollenweider & Nauwerck 1958; Ichimura & Saijo 1958; Wright 1959; Strickland, 1960; Vollenweider & Nauwerck 1961; Saijo & Ichimura 1963; Findenegg 1964 a; Kristiansen & Mathiesen 1964; Arneemo & Nauwerck 1965).

한편 Manning & Juday(1941) 및 Hogetsu & Ichimura (1954) 등은 植物플랑크톤의 基礎生産을 推定하는 方法으로 chlorophyll 法을 提示하고 있다. 즉 湖沼의 식물 플랑크톤의 生産構造를 chlorophyll 量의 垂直分布로 파악하고 동시에 水中光度和 溫度를 측정하여 單位 chlorophyll 量當의 光合成曲線을 作成하여 이들로 부터 生産量을 推定하는 方法이다. Hogetsu & Ichimura(1954)는 溶存酸素法과 chlorophyll 法을 병행하여 조사한 바 있으며, 總生産量에 있어서 일치된 결과를 얻고 있다.

水域에 있어서 生産의 基礎는 光合成을 하는 식물 플랑크톤이며, 이들은 光線이 충분한 表水層에서 營養鹽類를 흡수하여 有機物을 合成하며 증식한다. 한편 植物의 生産 또는 有機體의 分解過程에 따른 水中 혹은 底質의 여러가지 物理·化學的變化는 湖沼의 性格을 조금씩 변화한다. 따라서 基礎生産의 研究는 湖沼에 있어서 生物群集의 解析에 必須의인 것이며, 또한 湖

沼에 있어서 無機態·有機態物質의 dynamic 한 變化過程을 밝히는게 必要한 것이다.

本 研究는 위의 觀點에서 湖沼가 복합된 特質代謝系를 이루고 있는 微小한 宇宙로서의 生態系라는 點에 기초를 두고 그의 構造와 機能을 究明하기 위하여 우리나라의 數個湖沼를 대상으로 調查하여 各 湖沼의 物理·化學的 要因의 現存狀態와 植物플랑크톤의 現存量을 chlorophyll 量의 垂直分布로 把握하였으며, 이 두 가지로써 湖沼生態系의 生産 構造로 解析하며, 基礎生産量의 測定으로 各 湖沼의 機能面에서의 特征으로 理解하고 夏季停滯期의 生産構造型과 機能面에서의 特征으로서 우리나라 湖沼의 標式을 類型化하였다.

本 研究를 수행함에 있어서 는 懇曲하신 指導와 끊임 없이 激勵하여 주신 恩師 李敏載교수·鄭英吳교수 그리고 洪淳佑교수에게 심심한 감사를 드립니 다. 그리고 C-14 ampoule 준비에 협력하여 주신 姜萬植교수와 河永七교수, 水質分析에 도움을 주신 洪恩澳교수, 그리고 本 論文原稿의 校閱과 論議의 수고를 아끼지 않으셨던 朴相允교수에게 깊이 감사합니다. 또한 도표그리는 수고를 해준 邊宇玄君과 직접 실험에 협력해 준 이병·李鏡 諸君에게 감사합니다.

調查對象 湖沼의 概況

本 研究는 東海岸의 花津浦와 永郎湖의 두 汽水湖와 春川地方의 春川湖, 衣岩湖 및 昭陽湖 등 세 人工湖 그리고 漢江流域의 河跡湖로서 장자못 등 湖沼를 대상으로 하여 이루어졌다.

花津浦는 東海岸에 위치하고 있는 몇 개의 汽水湖群中에서 北端에 자리잡고 있으며 江原道 高城郡 縣內面 (巨津과 大津과의 中間地點)에 位置하고 있다. 平均幅 (東西間)이 1,200m, 平均길이 (南北間)가 3,200m, 그리고 水面積이 660,000m²의 비교적 큰 湖沼로서 最大 深度가 3.2m, 平均深度는 1.8m이다. 湖形態는 中間部分이 좁아져서 外湖와 內湖로 區分되며 流入川으로서 蕘安川, 增慶川, 초도리골 등의 河川이 流入되고 있다 (Fig. 1).

永郎湖는 東海岸의 東草市 北方에 위치하며, 平均幅 (南北間)이 465m, 平均길이 (東西間)가 1,970m, 그리고 水面積이 910,000m²의 크기를 갖고 있는 汽水湖이다. 거이 隨圓形에 가까운 湖形態를 나타내며 最大 深度는 7m, 平均深度는 4.4m이다. 장전리골, 속초리골 등의 河川이 流入되고 있다 (Fig. 2).

春川湖는 江原道 春城郡 新北面 龍山里에 建設된 陂으로 1965年 11月 25日에 澁水되기 시작하여 이루어진 人工湖이다. 堤高가 40m로 현 貯水面積이 14,320km²이며 總貯水量은 1.5×10⁶m³에 이르고 있다. 春川湖

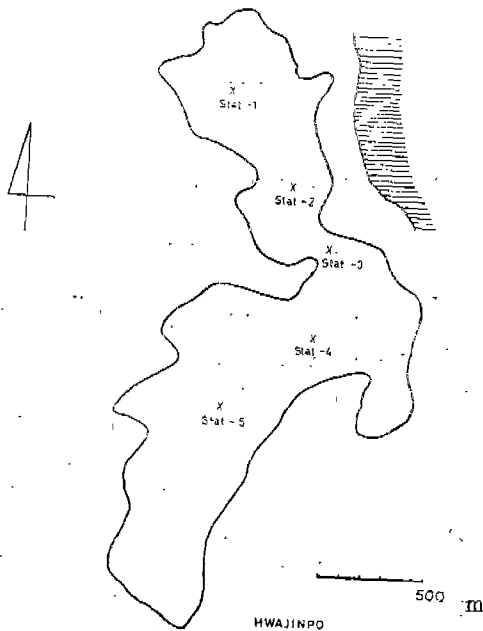


Fig. 1. Morphometry of the Lake Hwajinpo showing positions of stations studied.

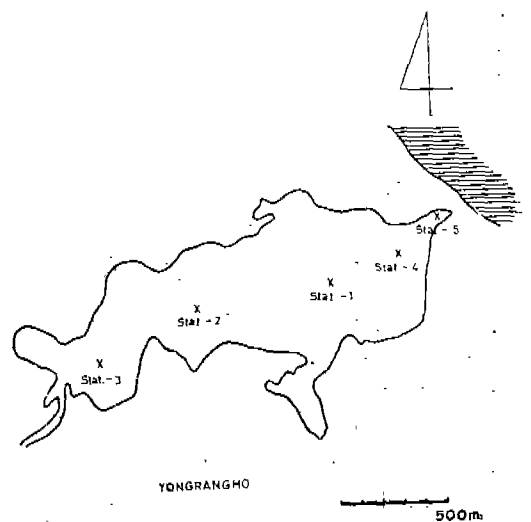


Fig. 2. Morphometry of the Lake Yongrangho showing positions of stations studied.

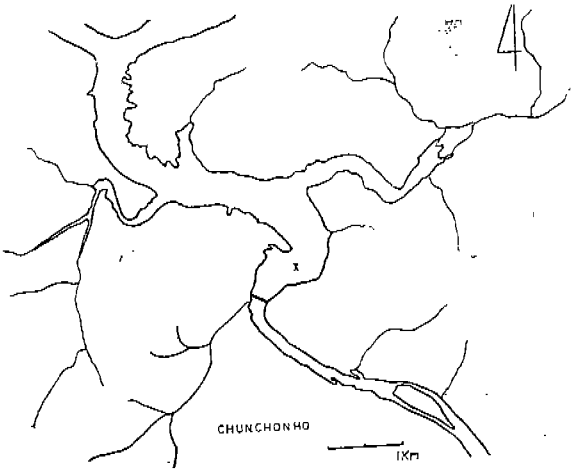


Fig. 3. Morphometry of the Lake Chunchonho showing position of station studied.

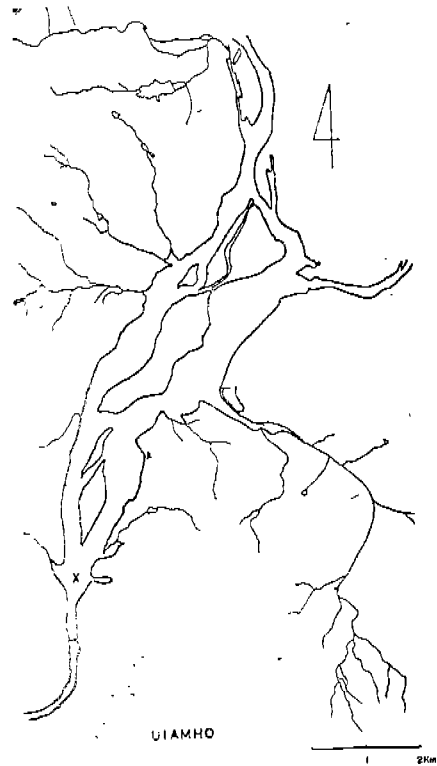


Fig. 4. Morphometry of the Lake Uiamho showing position of station studied.

는 破虜湖(華川貯水池)에서 流出되는 물과 華川郡 上西面을 起點으로 한 華川 및 同郡史內面에서 흐르는 芝村川이 流入되고 있다(Fig. 3).

衣岩湖는 江原道 春城郡 新東面 衣岩里에 建設된 댐으로 形成된 人工貯水池로서 1967年 7月末에 完工되었다. 이 衣岩댐의 堤高는 20.5m로서 滿水面積은 17.20 km²이며 總貯水量은 80×10⁶m³에 이른다. 이 貯水池에는 春川湖로부터 흘러내리는 新淵江과 昭陽江의 河水가 流入되고 있다(Fig. 4).

昭陽湖에는 江原道 春城郡 新北面 천전리에 砂礫으로 築造된 댐으로 1973年 10月 1日에 준공된 人工湖이다.

이 昭陽댐의 堤高는 123m로 1972年 11月부터 灌水되기 시작하였다. 貯水面積은 70km²이며, 總貯水量은 2,900×10⁶m³에 달하고 滿水位는 198m로 예상되고 있다. 여기에는 北川, 內麟川 및 芳台川 등의 河川이 流入되고 있다(Fig. 5).

장자못은 京畿道 揚州郡 九里面 水澤里·도리미에 위치하고 있는 漢江流域의 河跡湖의 하나로서 本湖의 北쪽으로는 洗濯池·菊池·蛇池·銅錢못과 南쪽으로는 流出川으로 이어지는 비행기못 등이 附近에 散在해 있다. 길이가 약 1km 정도인 긴 호소로서 水面積이 약 103,500m² 되는 비교적 작은 湖沼이며 最大深度가 5m이다(Fig. 6).

調査方法

試水는 各 湖沼의 湖心에서 여러가지 深度의 水層으로부터 plastic으로 된 van dorn 採水器로 採水하였다. 그리고 花津浦와 永郎湖에 있어서는 湖心에서 뿐 아니라 水平의인 比較를 위하여 여러 地點으로부터 採水하였다.

水溫은 Precision Scientific Co.의 galvanic cell oxygen analyzer의 thermister 電氣溫度計를 利用하였으며 코드를 30m의 電線으로 連結하여 測定하였다.

試水의 化學分析은 德國의 Hach Chemical Co.의 DR-EL 水質分析裝置를 利用하였는데, pH는 同 水質分析裝置의 wide range indicator (pH 4-10)를 써서 比色計로 測定하였다.

溶存酸素量은 winkler 法에 의거하여 分析하였으며, alkalinity는 phenolphthalein을 指示藥으로 하여 phenolphthalein alkalinity를 그리고 brom cresol green-methyl red를 指示藥으로 하여 total alkalinity를 測定하였다.

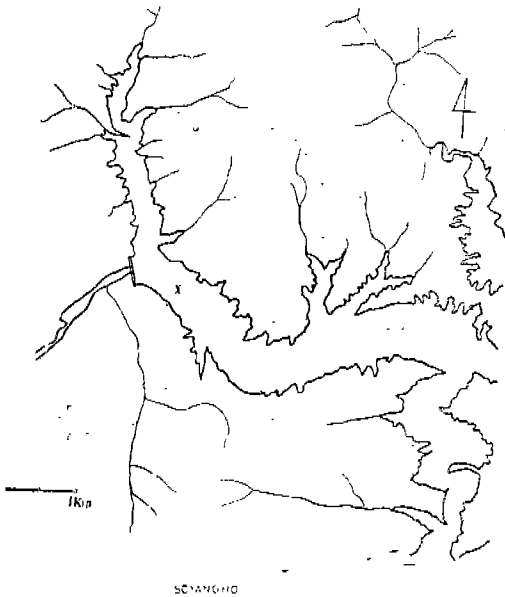


Fig. 5. Morphometry of the Lake Soyangho showing position of station studied.

窒素化合物 중 窒酸鹽은 cadmium 還元法에 의거하여, 亞窒酸鹽은 diazotization 法에 의거하여 分析하였으며, 矽酸鹽은 heteropoly blue 法에 의거하여 Hach Chemical Co.의 DR-EL 水質分析裝置를 이용하여 分析하였다. 그리고 磷酸鹽은 murphy & riley 法으로 全磷의 分析은 hansen & robinson 法에 따랐다.

Chlorophyll의 定量은 SCOR-UNESCO(1966; Bano & Anderson 1967)의 方法에 따라서 光電比色法에 의거하여 分析하였다. 野外에서 植物플랑크톤의 量에 따라서 500ml 내지 1l의 試水를 직경 45mm의 glass fiber filter(Whatman GF/C)로 濾過한 다음 實驗室에 가지고 온 후 90% acetone으로 抽出하여 Beckman Model DU spectrophotometer로 750nm, 663nm, 645nm, 및 630nm,의 各波長에 따른 optical density를 測定하였다. 이 測定에서 얻은 吸光值를 다음의 式을 이용하여 chlorophyll의 量을 計算하였다.

$$\text{Chl.} - a = 11.64e_{663} - 2.16e_{645} + 0.10e_{630}$$

그리고 다음의 式에 의거하여 1l 당 試水(V)내에 들어 있는 chlorophyll의 量(mg/m³)을 計算하였다.

$$\text{mg} \cdot \text{Chl.} - a / \text{m}^3 \equiv \frac{\text{Chl.} - a \times V}{1 \times V}$$

이때의 V는 chlorophyll 抽出에 쓰인 acetone의 容量

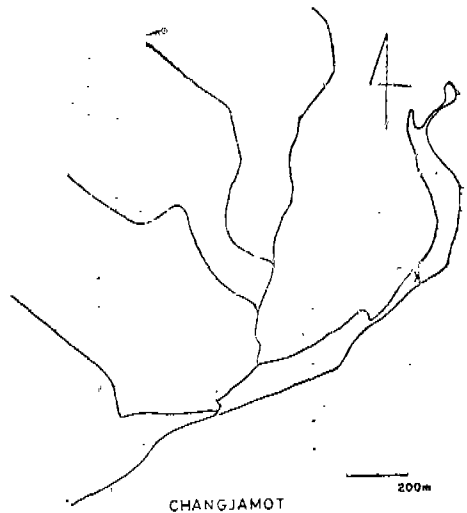


Fig. 6. Morphometry of the Lake Changjamot showing position of station studied.

(ml)을 나타낸다.

基礎生産量의 測定은 Gaarder & Gran(1927)의 소위 "light-and-dark bottles" 法과 Steemann Nielsen(1952)의 "C-14"法을 이용하였다.

C-14 法에 의한 基礎生産의 測定은 植物플랑크톤을 함유하는 各深度에서 採水한 試水에 1μC의 C-14을 含有하고 있는 탄산나트륨溶液 1ml를 加한 다음 4~6時間 in situ 法으로 光合成量을 測定하였다. 그리고 放射能의 測定은 liquid scintillation counter로 計測하였다. 그리고 이 결과로부터 水中에 있어서의 光合成量을 計算하였다(Steemann Nielsen 1952; Doty & Oguri 1958). C-14의 ampoule은 1ml 容量의 1μC activity로 만들어 사용하였으며, 다음의 式(Vollenweider 1969)에 의거하여 計算하였다.

$$\text{光合成量} = \frac{\text{濾紙上的 放射能 (c.p.m.)}}{\text{試水中에 가한 放射能(c.p.m.)} \times \text{水中의 全炭酸量}}$$

結果 및 考察

1. 物理·化學的 要因

여섯 湖沼에 있어서의 物理·化學的 要因에 대한 測定結果를 그림7-14 및 表 1-6으로 표시하였다.

Table 1. Chemical analysis of samples taken on July 28, 1973 at St. 1 in Lake Hawjinpo

Depth (m)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	Salinity (‰)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	SiO ₂ (ppm)
0	29.6	8.7	7.9	17.9	—	—	0.07	0.09	—
1	31.8	8.6	10.5	19.9	0.002	0.03	0.07	0.06	2.5
2	30.1	8.6	12.3	30.7	0.002	0.20	0.03	0.06	1
3	29.1	8.6	10.5	32.7	0.003	0.26	0.07	0.06	1

Table 2. Chemical analysis of samples taken on Aug. 2, 1973 at St. 1 in Lake Yongrangho

Depth (m)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	Salinity (‰)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	SiO ₂ (ppm)
0	29.1	8.7	8.1	10.9	—	0.06	0.06	0.06	1
1	29.3	8.7	8.0	10.9	0.002	—	0.07	0.03	1
2	28.6	8.7	8.1	10.9	—	0.06	0.07	0.06	1
3	28.1	8.7	7.8	11.5	—	—	0.04	0.03	1.5
4	27.9	8.4	11.7	19.2	0.003	0.06	0.07	0.15	1.5
5	24.6	8.2	9.7	24.3	0.003	0.12	0.08	0.09	1
6	20.6	8.7	4.9	25.6	0.001	0.20	0.07	0.06	3.5

Table 3. Chemical analysis of samples taken on Sept. 8 in Lake Chuncheonho

Depth (m)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Total Hardness
0	14.5	7.4	10.8	0.004	0.39	0.06	9.0	35.1
2.5	20.9	7.1	10.0	0.002	0.40	0.16	9.1	35.8
5	19.9	7.0	9.7	0.001	0.46	0.24	8.5	38.4
7.5	19.4	6.9	9.9	0	0.48	0.17	8.7	40.5
10	19.3	7.1	9.9	0	0.48	0.11	8.6	39.1
15	19.0	7.0	9.9	0	0.44	0.14	8.9	39.1
20	18.9	7.0	9.6	0	0.48	0.12	8.2	40.5

Table 4. Chemical analysis of samples taken on Sept. 6 in Lake Uiamho

Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Total Hardness (ppm)	DO (mg/l)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	SiO ₂ (ppm)
0	22.1	7.1	39.8	13.2	0.003	0.92	0.10	6.8
2.5	20.2	7.1	44.5	9.0	0.004	0.94	0.10	7.0
5	19.5	7.1	50.5	9.4	0.004	0.96	0.12	7.0
7.5	19.0	7.0	43.1	8.6	0.004	0.94	0.12	7.0
10	18.9	7.1	39.8	9.6	0.004	0.92	0.12	7.0
14	18.7	7.1	42.5	9.6	0.004	0.92	0.13	7.5

Table 5. Chemical analysis of samples taken on Sept. 4 in Lake Soyangho

Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Total Hardness (ppm)	DO (mg/l)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	Total-P (ppm)	SiO ₂ (ppm)
0	26.4	6.8	21.0	8.2	0	0.08	0.10	1.01	2.6
2.5	26.2	8.8	23.0	7.1	0	0.09	0.05	1.60	2.8
5	26.0	6.8	22.4	7.2	0	0.07	0.05	1.60	2.8
10	24.3	6.2	22.4	2.8	0	0.18	0.05	2.80	3.2
15	21.4	6.0	23.0	1.4	0	0.24	0.04	1.18	3.6
20	19.8	6.0	20.4	2.5	0	0.24	0.08	2.10	3.4
25	16.2	6.0	21.7	1.7	0	0.20	0.06	1.80	3.4
30	13.2	6.1	20.4	4.6	0	0.24	0.07	2.00	3.10

Table 6. Chemical analysis of samples taken on Aug. and Sept. 1973 in Lake Changjamot

Sampled on Aug. 21, 1973								Sampled on Sept. 15, 1973									
Depth (m)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	Total P (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	Total P (ppm)	SiO ₂ (ppm)
0	26.8	7.9	10.6	0.19	0.90	0.14	1.12	4.55	24.1	7.8	12.1	0.05	0.47	0.274	0.07	2.24	8.5
1	27.2	7.9	10.8	0.20	0.90	0.10	1.09	4.55	23.2	7.6	10.6	0.05	0.98	0.296	0.07	2.10	7.8
2	27.0	7.7	8.4	0.28	1.16	0.08	0.89	6.25	22.8	7.0	6.3	0.05	1.00	0.343	0.08	2.44	7.8
3	24.8	7.4	2.2	0.20	0.80	0.05	1.20	5.65	22.4	6.8	1.4	0.04	0.88	0.427	0.06	2.28	7.8
4	21.2	7.3	0	0.02	0.20	0.08	1.72	12.0	19.9	6.6	0.4	0.01	0.75	0.466	0.06	2.20	7.6
5	15.9	—	—	—	—	—	—	—	17.4	—	—	—	—	—	—	—	—

(1) 透明度

금번 조사에 있어서 각 호수의 투명도는 花津浦 1m, 永郎湖 3.5~4m, 春川湖 0.5m, 衣岩湖 0.5m, 昭陽湖 4m 및 장자못 1~1.1m이었다.

春川湖와 衣岩湖의 경우는 堰水로 댐의 水門을 열었기 때문에 湖水의 搖動으로 濁도가 높아져서 透明度가 꽤 낮은 값을 나타냈던 것으로 생각된다.

花津浦는 平均水深이 1.8m로 매우 낮은 호수로 夏季의 플랑크톤 增殖으로 인하여 透明度가 낮은 것으로 생각한다.

장자못 역시 水深은 5m 내외이나 富營養湖로서 플랑크톤의 增殖이 큰 까닭으로 透明度가 낮다고 본다.

이에 비하여 永郎湖와 昭陽湖는 다같이 透明度가 4m로서 비교적 높은 편으로 다른 호수에 비하여 懸濁物質이 적은 것에 기인한다고 하겠다.

(2) 水温

各 호수의 表面水温은 대체로 22.1~31.1°C의 범위를 보이고 있다.

花津浦의 경우 水深이 3m 내외로 얕기 때문에 水温躍層은 형성되지 않았으며, 오히려 1m 층의 水温이 31.8°C로서 表面水温인 29.6°C 보다 2.2°C 높았다. 이것은 海水의 影響으로 생각된다.

春川湖 및 衣岩湖 등 人工湖에 있어서는 發電을 위한 湖水의 계속적인 排水로 水温의 成層構造가 발달되지 못하였다. 5m 층까지의 表層에 있어서는 水温의 垂直分布가 완만한 傾度를 나타내고 있으나 그 以深의 水層에 있어서는 별다른 變化가 없고 거의 等温層을 이루고 있었다.

昭陽湖에 있어서 30m 층까지의 水温의 垂直分布를 보면 表層에 있어서는 큰 變化가 없었으나, 7m 층 以深의 水層에 있어서 水深이 깊어짐에 따라서 水温은 계속 낮아져서 表層과 30m層 사이의 水温은 13.2°C의 差를 보이고 있었다. 이와 같은 水温分布 pattern

은 昭陽湖가 새로이 構築된 댐으로서 아직도 湛水過程에 있어 모든 環境要因이 계속 變動하는 것이 원인이 되어 水深이 상당히 깊은데도 불구하고 뚜렷한 水溫의 成層構造를 이루고 있지 않은 것으로 생각된다.

장자못과 永郎湖의 경우, 表層에 있어서는 水溫의 垂直傾度는 작으며 거의 等温層을 이루며, 장자못에 있어서는 2m層 水深에서, 그리고 永郎湖에 있어서는 4m層 水深에서 水溫이 알아지고 있다.

그리고 水温躍層은 장자못의 경우는 3~4m, 永郎湖의 경우 4~5m 층의 비교적 底層에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 이런 水温의 垂直分布로 보아 장자못과 永郎湖에 있어서는 夏季 停滯期의 水温成層의 pattern을 나타내고 있다고 하겠다.

(3) pH

調査期間의 각 호수의 pH는 花津浦에 있어서 8.4~9.2, 永郎湖에 있어서 7.7~8.8, 春川湖에 있어서 6.9~7.4, 衣岩湖에 있어서 7.0~7.1, 昭陽湖에 있어서 6.0~6.8이었으며, 장자못에 있어서는 6.6~7.9이었다. 水深에 따른 變動을 보면, 花津浦, 春川湖 및 衣岩湖는 별다른 變動을 보이지 않고 있으나, 昭陽湖와 장자못에 있어서는 水深이 깊어짐에 따라서 낮아지는 傾向을 보인다. 그리고 永郎湖에 있어서는 4~5m 층에서 8.4~8.2로 낮아졌다가 6m 층에서 다시 表層과 같은 8.7의 값을 나타내고 있다.

一般的으로 호수에 있어서는 表層水는 昭陽湖를 제외하고는 中性 혹은 弱한 알칼리性을 나타내고 있으며 昭陽湖와 장자못의 경우, 깊어짐에 따라서 酸性으로 기울어지는 傾向을 보인다. 그리고 그 밖의 호수의 경우 水深이 깊어지더라도 中性에 가깝거나 弱한 알칼리性을 유지하고 있었다.

(4) 溶存酸素量

大氣中の 酸素량이 지극히 恒常적인 것에 비하여 水中에 溶存되는 酸素量은 水温·水壓·鹽分濃度 및 生

물의代謝過程중에 의하여 현저하게 영향을 받아季節이나水域에 따른 커다란變動이 있게 된다.

花津浦의 경우, 外湖에 있어서는 表層이 7.9mg/l, 中間層(2m)은 12.3mg/l, 底層(3m)이 10.5mg/l로, 7.9~12.3mg/l의 범위를 나타내고 있는데 비하여, 內湖에 있어서는 表層이 9.4mg/l, 底層(2m)이 13.32mg/l

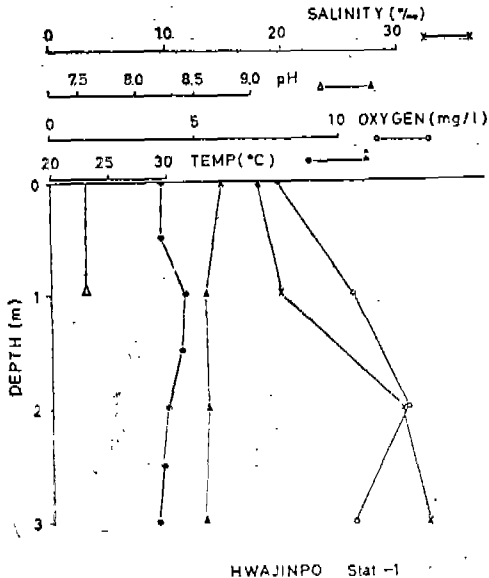


Fig. 7. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH, salinity and secchi disc reading of Lake Hwajinpo, Station-1.

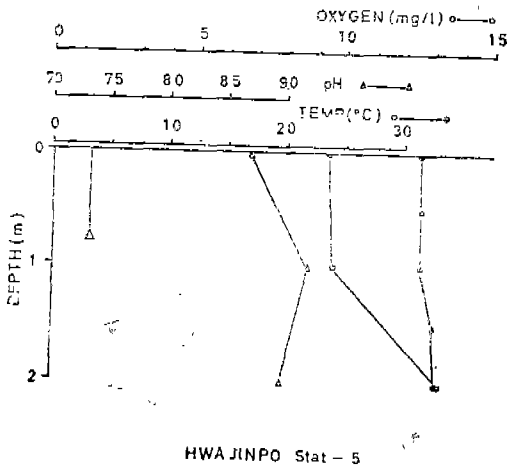


Fig. 8. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Hwajinpo, Station-5.

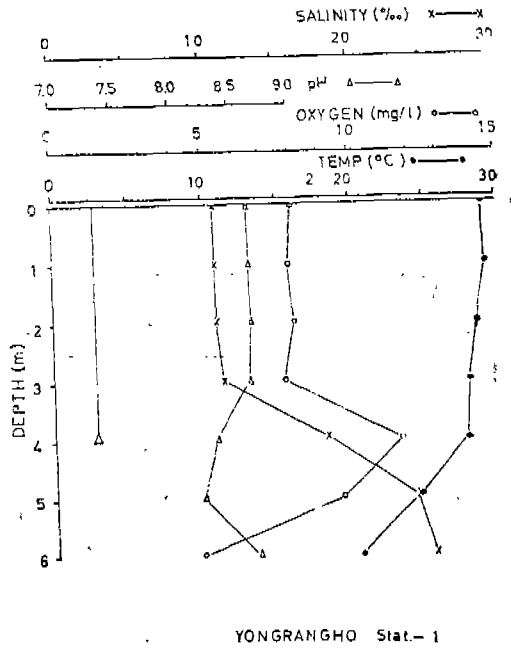


Fig. 9. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH, salinity and secchi disc reading of Lake Yongrangho, Station-1.

로 內湖가 外湖에 비하여 높은 값을 나타내고 있음은 內湖가 外湖보다도 鹽分濃度가 낮는데 기인하는 것으로 생각된다(Fig. 7 및 8). 특히 內湖에 있어서 底層의 酸素量이 큰 값을 보이는 것은 chlorophyll-a量 역시 底層에서 最大値(33.03mg/m²)를 나타나는 것과一致된다(Fig. 20의 St. 5).

永郎湖에 있어서는 表層이 8.1mg/l에 비하여 4m層에서 11.7mg/l로 最大値를 보이고 있으며 6m의 底層에 있어서는 4.9mg/l로 相當히 적은 값을 나타내고 있는데, 이것은 底層의 鹽分濃度가 表層의 10.9‰보다 월등히 높은 25.6‰로서, 鹽分濃度の 영향이 크게 작용했을 것으로 보인다(Fig. 9).

衣岩湖에 있어서는 表面이 13.2mg/l로 最大値를 나타내며 그 以深의 水層에 있어서는 별로 큰 變化는 인식할 수 없었다. 春川湖의 경우 表層으로부터 20m의 底層에 이르기까지 10mg/l내외의 含量같은 分布를 나타내고 있다. 溶存酸素量의 垂直分布 pattern으로 보더라도 衣岩湖와 春川湖가 늘 물이 흐르는 河川性의 湖沼의 特徵을 보이고 있음을 알 수 있겠다(Fig. 10 및 11).

이에 비하여 昭陽湖에 있어서는 表面으로부터 30m層에 이르는 溶存酸素量의 垂直分布 pattern을 볼 때 表

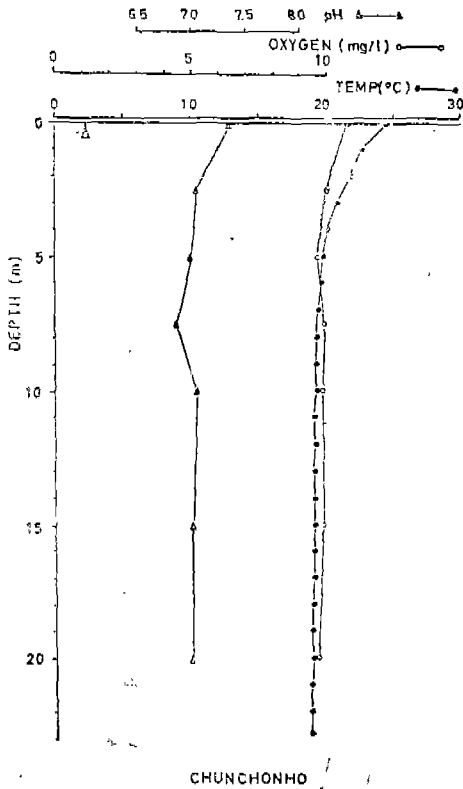


Fig. 10. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Chunchonho.

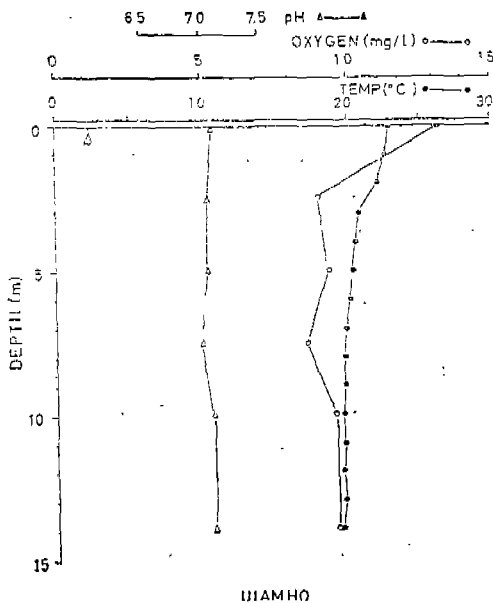


Fig. 11. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Uiamho.

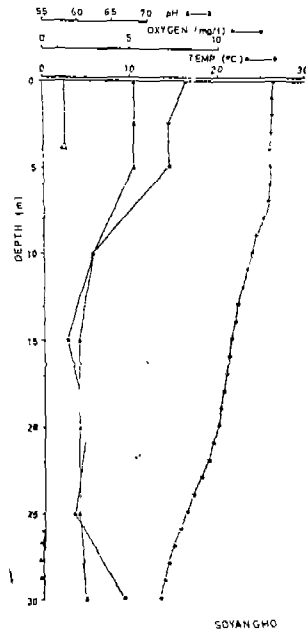


Fig. 12. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Soyangho.

층과 底層間의 뚜렷한 차이를 찾아볼 수 있었으며 10m 層 水深으로는 酸素량이 減少하는 傾向을 알 수 있다 (Fig. 12).

장자룻의 경우, 溶存酸素량의 垂直分布 pattern은 더욱 뚜렷한 curve를 그린다. 8月21日의 觀測에서 湖面 表面의 酸素량은 10.6mg/l로서 많은 酸素량의 分布를 나타내고 있으나 4m의 底層에 있어서는 거의 無酸素 層을 이루고 있다. 그리고 9月15日의 觀測에서도 表面의 酸素량이 12.1mg/l에 비하여 4m의 底層에 있어서는 0.4mg/l의 낮은 값으로 酸素의 缺乏狀態를 나타내고 있다 (Fig. 14 및 15).

Åberg & Rodhe(1942)는 湖沼에 있어서 溶存酸素의 垂直分布 pattern에 대하여 orthograde-curve, clinograde curve 그리고 positive 및 negative heterograde-curve 등으로 분류하였다.

Sawyer(1966)는 生物生産이 적은 貧營養湖에 있어서는 水深에 따른 溶存酸素량의 差는 거의 없으며, 한편 生物生産이 큰 富營養湖에 있어서는 深水層에 있어서 有機物分解로 인한 酸素消費가 많아져서 酸素량이 현저하게 적어진다는 點에 立脚하여 酸素의 垂直分布를 湖沼의 營養度の 貧富의 指標로서 考察하기 위하여서는 夏季停滯期の 成層狀態에 注目하여야 한다고 주장한 바 있다.

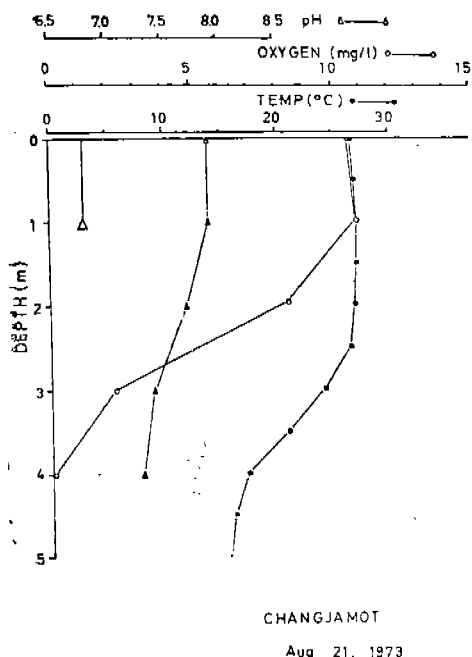


Fig. 13. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Changjamot, on Aug. 21, 1973.

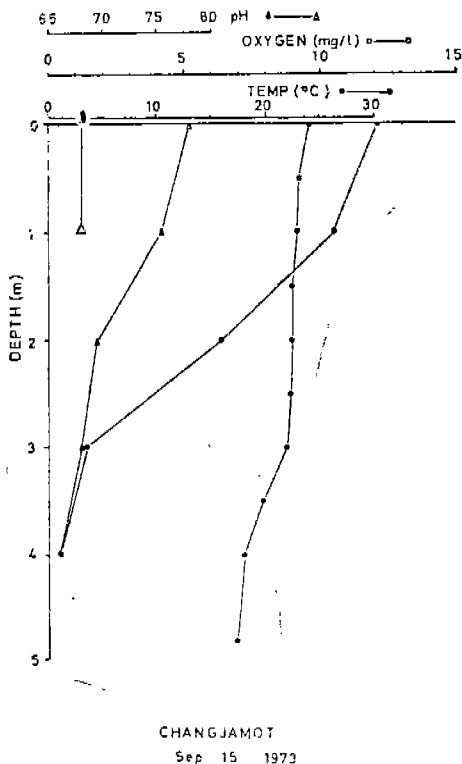


Fig. 14. Vertical variations of temperature, dissolved oxygen, pH and secchi disc reading of Lake Changjamot, on Sept. 15, 1973.

花津浦의 酸素分布는 일종의 positive heterograde의 成層構造를 나타내고 있다(Fig. 7, 8 및 Table 1). 즉 2m層에서 12.3mg/l로 溶存酸素의 極大을 이루고 있는데 이와같은 分布型은 Eberly(1963; 1964)도 Indiana湖에서 觀察報告하고 있다.

永郎湖에 있어서도(Fig. 9, Table 2) 表層에서는 별큰 變動을 보이지 않으나 4m層에서 極大值인 11.7mg/l로서 positive heterograde 分布를 나타내고 있다. 永郎湖에 있어서의 透明度는 4m로서 水深에 비하여 비교적 투명하며, 表水層이 두텁지 않아서 光合成이 中層에서 많이 일어나기 때문에 4m層에 溶存酸素의 極大가 나타나는 것으로 생각한다(Hutchinson 1957).

장자못의 酸素分布는 전형적인 clinograde curve을 그린다(Fig. 13, 14 및 Table 6). 水温의 成層構造 역시 底層에서 낮아지고 있으며, 一般의으로 水温과 有機物の 酸化가 底層에 있어서의 酸素缺乏을 초래하는 主要因으로 생각된다(Reid 1961).

春川湖의 경우(Fig. 10), 表層에 있어서는 약간의 水變動을 보이나 5m以深으로는 한결같은 分布를 보이며 orthograde 分布型이라고 하겠다. 衣岩湖 역시 orthograde curve를 그린다(Fig. 11).

昭陽湖의 溶存酸素의 分布는 表層에 있어서는 7.1~8.2mg/l로서 비교적 높은 값을 나타내며 10~25m의 深層에 있어서는 1.4~2.8mg/l로 低下되다가 30m層에서 다시 4.6mg/l로 증가되는 變化를 보인다(Fig. 12, Table 5). 이것도 灌水過程에 있는 人工湖인 特征에 뚜렷한 成層構造를 나타내고 있지 않은 것으로 해석할 수 있다.

(5) 營養鹽類

磷: PO_4-P 는 花津浦에 있어서 0.09~0.06ppm의 범위에 있으며, 永郎湖에 있어서는 0.03~0.15ppm의 범위로서 4m層에서 0.15ppm으로 그 濃度가 가장 높다.

人工湖의 경우 春川湖가 비교적 높은 값을 보이고 있었으며 0.06~0.24ppm의 범위에 있었으며, 衣岩湖에서는 0.10~0.13ppm의 범위로, 그리고 昭陽湖에서는 0.04~0.10ppm의 낮은 농도의 범위로 分布되고 있었다.

장자못에 있어서는 8월에는 0.05~0.14ppm, 그리고

9월에는 0.06~0.08ppm으로서 비교적 그 값이 높다. 특히 total-P의 값의 分布를 볼 때, 장자못의 경우 8월에는 0.89~1.72ppm, 그리고 9월에는 2.10~2.44 ppm의 높은 값을 나타내고 있다.

窒素: NH₃-N, NO₂-N 및 NO₃-N는 營養鹽類로서 重要な 窒素源이 되고 있기 때문에 주로 NO₂-N 및 NO₃-N의 分布를 조사하였다.

NO₂-N은 花津浦의 경우, 0.002~0.003ppm 그리고 永郎湖의 경우 0.001~0.002ppm등 극히 微量의 分布를 보이고 있다.

人工湖의 경우, 衣岩湖에 있어서는 全水層을 통하여 0.003~0.004ppm으로 分布되고 있었으나 春川湖에 있어서는 5m層까지의 表層에서만 0.001~0.04ppm의 범위로 分布하고 있을 뿐 深層에 있어서는 檢出되지 않았으며, 昭陽湖에 있어서는 全水層에 걸쳐서 전혀 檢出되지 않았다.

그러나 장자못에 있어서는 8월에 表層에서 0.19 ppm으로 底層의 0.02ppm보다 높은 分布를 보이고 있다. 그리고 9월 역시 表層의 0.05ppm은 底層의 0.01ppm보다 약간 높다. NH₃-N의 分布는 9월에 0.27~0.47ppm의 分布를 보인다. 그리고 NO₃-N에 있어서도 8월에는 0.2~1.16ppm, 9월에는 0.47~1.0ppm의 비교적 높은 값을 보이고 있는데 이와같이 장자 못에 있어서 窒素化合物의 量이 비교적 높은 것은 周邊流域으로부터 農業廢水 등의 流入으로 基因된 富營養化現象의 영향이라고 생각한다.

한편 花津浦에 있어서 NO₃-N의 量은 0.03~0.26 ppm, 永郎湖의 경우 0.06~0.20ppm의 分布를 보이고 있다.

人工湖의 경우, NO₃-N의 量은 衣岩湖가 0.92~0.96ppm으로서 가장 높고, 春川湖는 0.39~0.48ppm 그리고 昭陽湖는 0.07~0.24ppm의 分布를 나타내고 있었다. 그런데 이 3湖沼中, 衣岩湖가 가장 높은 까닭은 春川市로부터 衣岩湖로 孔之川을 통하여 流入되는 都市廢水의 영향이라고 생각한다.

硅酸: 花津浦에 있어서 SiO₂는 1~2.5ppm, 그리고 永郎湖에 있어서는 1~3.5ppm의 범위로 分布되고 있다.

그런데 人工湖의 경우, 春川湖가 8.2~9.1ppm의 범위에 있어, 가장 높았고, 다음으로 衣岩湖는 6.8~7.5 ppm의 범위에 있었는데 底層에는 더욱 많았다. 昭陽湖에 있어서는 2.75~3.55ppm의 범위로 分布되어 있으며 15~25m層에서 높은 값을 나타내고 있다.

장자못의 경우, 8월에는 4.5~12.0ppm으로 諸湖沼中 가장 높은 分布를 하고 있었는데, 9월에는 7.6~

8.5ppm의 分布를 나타내고 있었다.

이와같은 SiO₂의 값은 大體로 유럽의 湖水에 있어서의 2mg/l 내외의 硅酸鹽의 含量보다 높았다(Hutchinson 1957).

2. Chlorophyll量의 分布 및 變動

本 研究에 있어서 湖沼의 生産力의 한 指標로서의 chlorophyll의 垂直分布와 季節變動 및 水平分布에 관하여 考察하였다.

(1) Chlorophyll量의 垂直分布

Kozminski(1938)는 Wisconsin의 諸湖沼에서 chlorophyll의 垂直分布型을 5型으로 類別하였으며, Riley (1940)는 Linsley湖에서 chlorophyll의 季節的인 變動으로부터 4型의 垂直分布 pattern을 分類하였다. 그리고 Hogetsu & Ichimura(1954)는 湖沼의 水深이 깊어질에 따라서 chlorophyll量이 增加함을 보고하였으며, 이와같이 深度가 더해질에 따라서 chlorophyll量이 增加하는 現象은 Kozminski(1938)나 Manning & Juday(1941)등도 여러 湖沼에 있어서 꼭 같이 觀察되었다고 보고하고 있다. 한편 湖沼의 營養生成層의 中間層에 chlorophyll의 極大가 보이는 例도 보고되고 있으며(Kozminski 1938; Riley 1940; Manning & Juday 1941) 海洋에 있어서는 Riley, et al. (1949)와 Steel & Yentsch(1960)등이 보고하고 있다. Ichimura 외 (1968)도 中營養湖인 棒名湖에서 夏季停滯期에 補修 深度附近에 발달된 變水層에 溶存酸素量과 함께 chlorophyll量의 極大가 分布하고 있음을 보고하였다.

一般的으로 chlorophyll의 垂直分布의 pattern은 同質型和 成層型의 2型으로 類型化할 수 있다(Talling 1957; Ichimura 1956). 同質型은 흔히 湖沼의 循環期에 形成되며 成層型은 湖沼의 停滯期에 이루어진다(Ichimura, et al. 1965; 1971).

Chlorophyll量의 垂直分布를 볼 때 장자못에 있어서

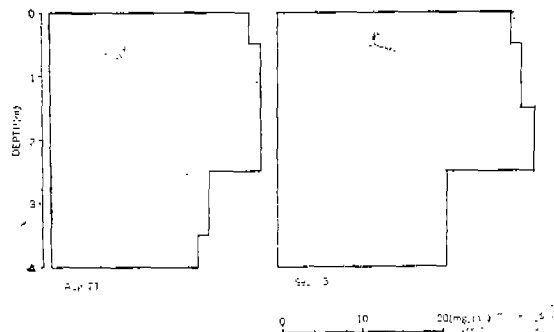


Fig. 15. Vertical distribution of chlorophyll in Lake Changjamot on Aug. 21 and Sept. 15, 1973.

는 8월21日和 9월15日의 두번에 걸친 測定結果 그림 15와 같이 成層型을 이루고 있다. 대체로 chlorophyll 量은 表水層에 많았으며 이같은 pattern은 Manning & Juday(1941) 및 Hogetsu & Ichimura(1954)도 夏季 停滯期에 있어서 觀察하고 있다. chlorophyll量의 最大値는 8월에 1~2m層의 25.99mg/m³, 9日에는 2m 層의 31.98mg/m³로서 1969年 8月24日에 測定된 量보다 훨씬 많은 값을 나타내고 있다(嚴 1971). 이것은 그 사이에 상당히 富營養化된 결과라고 생각된다. 그리고 4m層의 底層에 있어서도 8月과 9月에 各各 18.09mg/m³, 및 21.20mg/m³의 상당한 chlorophyll量의 分布를 나타내고 있는데 이때의 溶存酸素量은 그림 13, 14와 같이 8月에는 無酸素狀態를 나타내어 9月에는 0.42mg/m³의 극히 적은 量으로 나타내고 있다. 이러한 결과로 미루어 보아 底層에 있어서 거의 無酸素狀態가 形成되어 있음에도 불구하고 상당한 量의 chlorophyll量이 分布한다는 것은 植物플랑크톤의 增殖으로 인한 것이 아니고 表層으로부터 老朽된 植物플랑크톤이 서서히 底層으로 沈降하는 결과라고 생각된다.

花津浦와 永郎湖의 경우 chlorophyll量의 垂直分布는 그림 16, 및 17과 같으며 두 湖沼에 있어서는 底層에 最大値를 갖는 L型의 成層構造를 나타내고 있다. 이러한 chlorophyll의 成層構造는 특히 夏季停滯期에 特徴的인 pattern이라고 할 수 있다(Ichimura 1956).

衣岩湖에 있어서의 chlorophyll量의 垂直分布를 보면

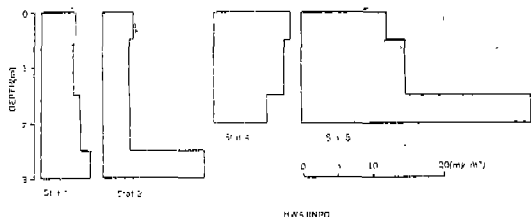


Fig. 16. Vertical distribution of chlorophyll in Lake Hwajinpo, at each station.

Table 7. Chlorophyll-a amount(mg/m³) in impoundments waters at summer season

Lakes	Date	Uiamho		Soyangho		
		Sept. 6 1973	Sept. 27 1973	Sept. 4 1973	Sept. 28 1973	
Depth (m)	0	5.48	6.43	0	1.15	2.44
	2.5	5.38	0.95	3.26	1.55	2.85
	5	0	0.52	0.81	1.96	3.18
	7.5		1.57	1.22	—	3.26
	10		0.52	1.06	0.41	2.85
	15		0.52	1.63	0	0

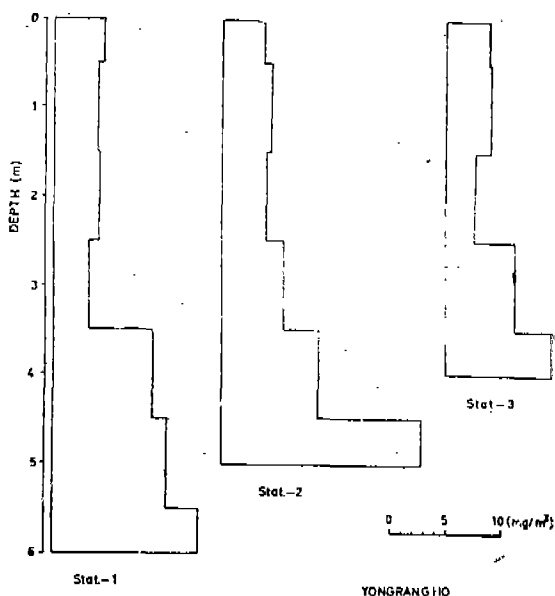


Fig. 17. Vertical distribution of chlorophyll in Lake Yongrangho, at each station.

表 7에서와 같이 9月初에는 表層에서 最大値(6.43 mg/m³)를 나타내고 있으나 5m層以下의 水層에서는 극히 적은 量의 chlorophyll의 分布를 보이고 있다. 이것은 8月 下旬에 있었던 늦장마로 말미암아 華川陂와 春川陂의 水門을 열었었고 이어서 連續的으로 衣岩陂의 水門 역시 4-5日間 開門한 뒤였기 때문에 全湖水가 攪亂되어 여름동안에 형성되었던 成層構造가 무너지고 또한 濁도가 크게 높아진 까닭으로 생각된다.

春川湖에 있어서는 이러한 湖水의 攪亂에 의한 影響이 더욱 심하여 5m層以下에서는 전혀 chlorophyll이 檢出되지 않았는데 이 역시 장마후의 增水로 陂의 畚水門을 連日 열었던 까닭으로 湖水와 함께 플랑크톤의 流出이 일어나서 衣岩湖의 경우처럼 成層構造가 무너지기 뒤, 表層에서부터 植物플랑크톤의 分布가 다시 이루어지기 때문에 chlorophyll의 分析이 表層에서만 가능했던 것으로 생각된다.

더욱이 衣岩湖와 春川湖은 發電用 陂인 까닭으로 發電을 위한 계속된 湖水의 流出이 있기 때문에 緩慢하나마 물이 흐르는 流動狀態를 보이게 되며, 이에 따라서 機械的인 물의 搖動과 對流 등의 原因으로 成層現象은 거의 볼 수 없었으며 外觀上 靜水性인 湖沼이나 근본적으로는 上流의 河川水를 提防으로 一時停滯시킨 河川性을 지니고 있는 것으로 생각된다.

昭陽湖에 있어서는 지난 72年 11월부터 湛水가 시작 된 후 이미 水深이 80m에 이르렀으나 陂의 完工이 日

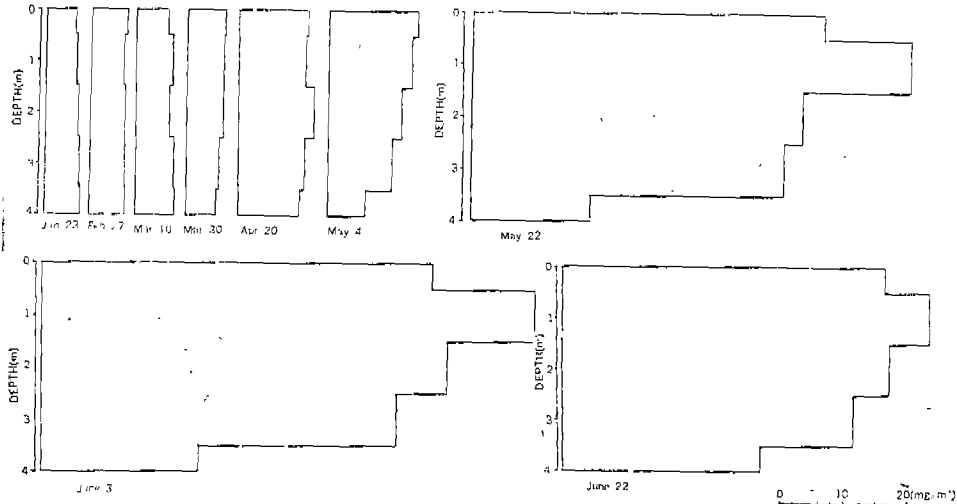


Fig. 18. Seasonal and vertical distribution of chlorophyll in Lake Changjamot.

색한 까닭으로 아직도 湖沼生態系로서의 성격이 뚜렷이 形成되지 못하였으며 植物플랑크톤의 分布도 流動적인 까닭으로 chlorophyll의 成層構造도 나타내지 않고 있는 듯 하다. 대체로 9月初에는 5m層, 9月下旬에는 10m層에 이르는 表層에 있어서만 거의 homogeneous한 分布를 보이고 있으며, 그리고 循環期에 있어서의 C型構造를 보이는 것은 아직도 湖沼形成過程에 있음을 나타내고 있는 것으로 생각한다. 그리고 9月下旬에 測定한 결과와 比較하여 보면 表層部位에 있어서 나뉠까 chlorophyll量이 增加되고 있음을 알 수 있겠다.

(2) chlorophyll量의 季節變化

Hogetsu & Ichimura(1954) 및 Ichimura(1956)는 日本의 Lake Suwa등 3個湖沼에서 조사한 결과 chlorophyll의 最大를 夏季에 관찰하였다고 보고한바 있다. Anderson(1958)은 Washington州의 2鹹湖의 調査에서, Lenore鹹湖에서는 봄과 이른 가을에 chlorophyll의 最大値를 보았고, Soap湖에서는 가을에 最小分 分布하고 있음을 보고하였다.

Chlorophyll量의 季節變化를 測定하기 위하여 장자못을 대상으로 하여 1월부터 9월까지 每月 定期的으로 0, 1, 2, 3 및 4m의 各層으로 부터 採水하여 chlorophyll量을 定量한 結果는 그림 18 및 19에서와 같다.

Chlorophyll-a의 垂直分布에 대한 季節變化를 그림 21로 표시하였다. 同質型의 垂直分布는 1月~4月에 이

르는 循環期에 있어서 관찰될 수 있었으며 成層型은 5月 이후에 볼 수 있었다. 특히 5~6月の 停滯期 初期에 있어서는 層에 最大値를 나타내는 成層構造를 보이며, 8月以後의 夏期停滯期에 있어서는 最大値가 1m層에 위치하는 成層型을 나타내고 있다. 이와같은 chlorophyll-a의 垂直分布의 季節變化에 대해서는 Ichimura(1956), Yamaguchi & Ichimura(1972)등도 日本의 湖沼의 경우를 보고하고 있다.

垂直分布의 季節變動에 대한 pattern뿐 아니라, 單位面積의 湖面下 水柱에 포함되는 chlorophyll量의 季節變動의 pattern도 독특한 樣相을 보인다. 그림 19에서 單位面積當 chlorophyll量(mg chlorophyll-a/m²)의 季

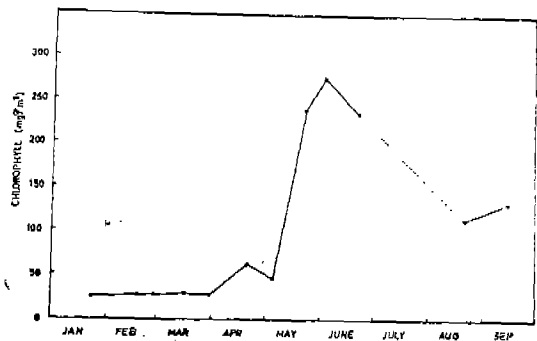


Fig. 19. Seasonal variation of chlorophyll(mg/m²) in Lake Changjamot.

節變化를 表示하였다.

그림에서 chlorophyll의 最大値는 6月3日의 277.4 mg/m²이었으며, 대체로 1月~3月 시이는 25.1~28.5 mg/m²의 낮은 값을 나타내고 있다. 이것은 植物 플랑크톤이 解水 후에 氣溫의 上昇과 함께 光合成을 活潑히 하여 旺盛하게 成長하였음을 의미하는 것이며 그 결과 봄의 blooming이 5月末로 부터 6月初에 걸쳐 일어났음을 나타내는 것이라고 하겠다.

그리고 6月 이후 점차 減少되어 8月21日에는 113.6 mg/m²로 줄었다가 9月15日에는 133.1mg/m²로 若干 增加되었다.

이와같이 봄과 가을에 Chlorophyll量이 큰 季節變化는 우리나라와 같은 溫帶地方의 湖沼中에서도 특히 富營養湖에서 볼 수 있는 pattern으로서 장자못도 富營養湖라고 할 수 있겠다.

(3) chlorophyll의 水平分布

Ichimura(1961)는 chlorophyll의 水平 및 垂直分布가 자기 그 湖盆形態에 따라서 다르다고 지적하고 均一型, 規則型 그리고 不規則型의 3型으로 分類하였다. 汽水湖인 花津浦와 永郎湖에 있어서 數個地點에서 조사한 chlorophyll의 水平分布는 그림 20 및 21과 같다.

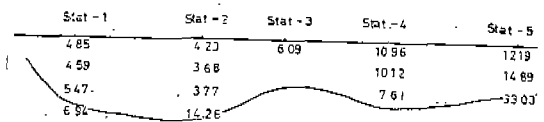


Fig. 20. Horizontal distribution of chlorophyll in Lake Hwajinpo.

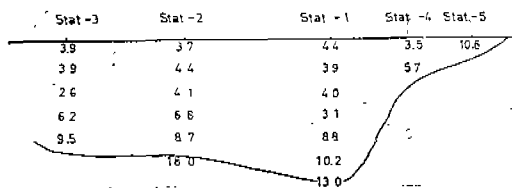


Fig. 21. Horizontal distribution of chlorophyll in Lake Yongrangho.

花津浦에서의 chlorophyll의 水平分布는 그림 20에서 볼 수 있듯이 外湖의 St-1에 있어서는 대체로 同質型에 가까운 分布를 하고 있으나 外湖의 湖心部分의 있어서는 뚜렷한 L型의 成層을 나타내고 있다. 그리고 內湖에 있어서는 沿岸에 가까운 St-4에 있어서 倒置된 成層構造를 나타내며 內湖의 湖心部分인 St-5에 있어서는 底層이 最大인 L型의 分布를 보인다.

永郎湖에서의 chlorophyll의 水平分布는 그림 21에서와 같으며, 대체로 底層에 最大를 나타내는 L型의

成層構造를 이루고 流入河川의 河口部分인 St-3에 있어서는 湖心部分인 St-1의 경우와 비하여 적은 現存量을 보이고 있다.

永郎湖와 花津浦의 있어서의 chlorophyll의 水平 및 垂直分布는 Ichimura(1961)의 水平分布 pattern과 比較하여 볼 때 不規則型이라고 할 수 있다. 이것은 永郎湖와 花津浦가 汽水湖이기 때문에 夏季表에 海水와의 交流가 빈번하여 水質環境이 變動하는 까닭으로 植物 플랑크톤의 分布가 그 영향을 받아 不規則인 分布를 나타내는 것으로 생각한다.

3. 基礎生産

花津浦에 있어서 light-and-dark bottle法에 의하여 推定된 總生産量은 表 8에서와 같거니와, 이 결과로 보면 表面에서 가장 높았으며, 1m²당 水柱의 總光合成量은 713mg/m²/day으로 計算된다.

한편 永郎湖에 있어서 같은 方法으로 推定된 總光合成量은 表 9와 같다. 그러나 永郎湖의 경우 表面에서 보다는 오히려 底層에서 總光合成量이 높았으며 3m層에서의 總光合成量 0.3mgC/l/day는 表面(0m層)의 0.266mgC/l/day 보다 0.034mgC를 증가하였으며 더욱이 5m層에 있어서는 表面의 것 보다 0.128mgC/l/day 나 증가하고 있다.

Table 8. Light-and-dark bottle experiments in Lake Hwajinpo, July 28-29, 1973

Depth (m)	IB (mg/l)	LB (mg/l)	DB (mg/l)	LB-DB (mg/l)	Gross photosynthesis (mgC/l/day)
0	7.79	8.05	6.87	1.18	0.369
1	8.17	7.25	6.87	0.38	0.119
2	13.08	12.74	12.49	0.25	0.078
3	11.06	10.57	10.10	0.47	0.147

※ For obtaining the photosynthetic rate (mgC per unit time), the conversion factor was adopted from Strickland(1960).

Table 9. Light-and-dark bottle experiments in Lake Yongrangho, Aug. 2-3, 1973

Depth (m)	IB (mg/l)	LB (mg/l)	DB (mg/l)	LB-DB (mg/l)	Gross photosynthesis (mgC/l/day)
0	7.45	7.98	7.13	0.85	0.266
1	7.48	8.10	7.78	0.32	0.100
2	7.65	7.98	7.25	0.73	0.228
3	7.32	7.64	6.68	0.96	0.300
4	10.06	11.28	10.54	0.74	0.231
5	10.21	9.73	8.47	1.26	0.394
6	4.69	5.94	6.22	(-0.27)	(-0.084)

이와 같은 總光合成量의 垂直分布는 그림 10에서의 溶存酸素量의 分布 pattern이나 그림 20에서의 chlorophyll의 垂直分布의 L-型의 成層構造와 一致되는 것이라고 하겠다.

花津浦와 장자못에 있어서 C-14 法에 의한 基礎生産량을 測定한 결과는 그림 22 및 23에서와 같다.

花津浦에 있어서의 基礎生産량은 257.3mgC/m²/day로서 水表面인 0m 層에서 126.6mgC/m²/day로 가장 컸으며, 底層인 3m 層에서는 最小值를 나타내고 있는 2m 層보다 11mgC/m²가 많은 48.5mgC/m²를 나타내고 있다.

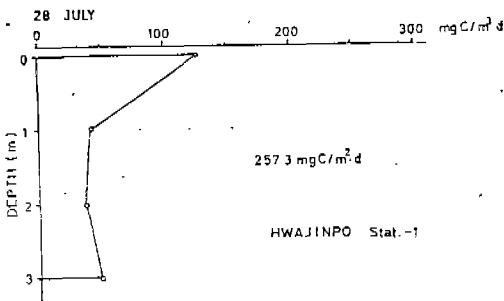


Fig. 22. Primary production of Lake Hwajinpo, Station-1.

이처럼 底層에 있어서 若干上廻하는 것은 chlorophyll의 垂直分布 pattern이나 溶存酸素量의 垂直分布 pattern에 있어서나 다 같이 底層인 3m 層에 높은 값을 나타내고 있으며, 이런 현상은 light-and-dark bottle 法에 의한 基礎生産量 推定에 있어서도 3m 層에서 높은 값을 보이고 있었다. 이것은 現存量의 最大値가 底層에 있었으며, shade species에 의한 光合成量의 増大에 原因된 것으로 생각된다.

이와 같은 基礎生産의 profile은 Findenegg(1964 a)도 Langsee에 있어서 관찰하고 있으며 *Oscillatoria*의

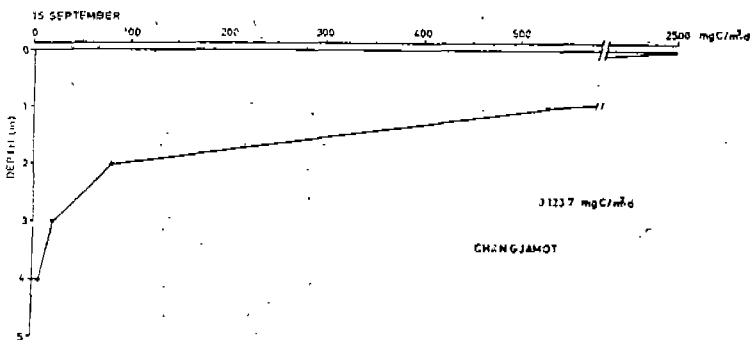


Fig. 23. Primary production of Lake Changjamot.

増殖에 의한 것으로 解析하고 있다.

장자못에 있어서의 基礎生産량은 3,123.7mgC/m²/day로서 0m 層에서 最大值인 2496.9mgC/m²/day이 있으며 底層인 4m 層에 있어서는 5.5mgC/m²/day의 最小值를 나타내고 있다(Fig. 23). 이 값은 日本의 富營養湖에 있어서의 0.2~1.7gC/m²/day(Aruga 1968)보다도 2배에 가까운 높은 값으로서, 이처럼 장자못에 있어서 높은 基礎生産량은 水深이 比較的 얕고(最大水深이 5m) 주변流域이 河川敷地로서 田畠으로 둘러싸여 있어서 農業廢水로 인하여 富營養化가 進行된 결과라고 생각한다.

Aruga(1968)는 日本의 湖沼에 있어서의 基礎生産測定值의 分布를 富營養湖에서 0.2~1.7gC/m²/day, 中營養湖에서 0.05~0.3gC/m²/day, 그리고 貧營養湖에서 0.03~0.1gC/m²/day로 보고하고 있다.

같은 溫帶地方에 속하는 우리 나라의 湖沼의 基礎生産測定值를 위의 日本의 例와 比較해 볼 때, 花津浦는 中營養湖로 그리고 장자못은 富營養湖로 分類할 수 있겠다.

4. 湖沼型

湖沼를 그 안에 棲息하는 生物相에 따라서 分類하는 試圖는 19世紀 末葉부터 특히 植物플랭크톤에 대하여 여러가지로 이루어진 바 있으나, 生物學의 特徵과 湖水의 化學的 特性과의 相關을 인식하여 이로써 湖沼의 分類를 提案한 것은 독일의 Thienemann(1913-15)에 그 嚆矢라 하겠다.

Naumann(1917)은 Thienemann과는 독립적으로 瑞典의 南部·中部의 諸湖에 있어서 營養物이 豊富한 湖水와 營養物이 缺乏된 湖水에서 그곳에 生育되는 植物플랭크톤의 主體가 다른 點에 基點을 두고 水温, 腐植質 또는 營養物質로서 질소 성분이나 인화합물 등이 環境要因으로서 湖沼의 生物相에 중요하게 影響을 끼치게 될을 주장하면서, 湖沼를 富營養型(eutrophic type)과 貧營養型(oligotrophic type)으로 나누고 이를 다시 正營養型(獨立營養型), 石灰營養型 및 從屬營養型 등으로 細分하는 湖沼標式을 提案하였다.

Thienemann(1921; 1928)은 Naumann의 提案을 參考하여 各湖沼標式을 貧營養型·富營養型으로 分類하였으나 褐色湖를 腐植營養型(dystrophic type)으로 하여 한 型을 追加하였다. 이 후 湖沼標式을 中心

問題로 하여 이 分野에 관한 많은 研究가 遂行되었다.

戰後, C-14 法에 의한 基礎生産의 測定方法이 St-eemann Nielsen(1952)에 의하여 開發된 이래로 傳統的인 Thienemann-Naumann의 湖沼型에 대한 檢討가 生産力과 연관되어 새로운 문제로 論議되기에 이르렀다.

특히 Rodhe(1958 a)는 C-14 法으로 스웨덴의 各湖沼의 基礎生産을 測定하여 富營養湖에 있어서는 100~2,200mgC/m²/day, Lappland의 貧營養湖에 있어서는 100mgC/m²/day 미만의 基礎生産량을 보고하고 있다.

그 후 Findenegg(1964a, b)는 植物플랑크톤의 基礎生産에 기초를 두고 湖沼型을 分類하였으며, 生産·深度의 curve의 형태에 따라서 3型으로 구분하였다.

Findenegg는 表水層의 上部, 대체로 1~2m의 깊이에서 基礎生産의 뚜렷한 最大值가 展開되며 水深이 깊어짐에 따라서 生産량이 급격하게 감소되는 경우 第I型으로 分類하였다. 第II型은 貧營養湖에서와 같이 一般적으로 基礎生産의 極大值가 뚜렷하게 나타나지 않는 湖沼型으로서 營養物質의 缺乏으로 인하여 작은 값의 基礎生産을 나타내며 euphotic zone에서 光線이 制限要因으로 작용하지 않는다고 Findenegg는 설명하고 있다. 第III型은 적어도 두 개의 基礎 生産의 最大值를 볼 수 있으며, 表水層의 最大值에 이어서 變水層에도 또 하나의 最大值가 나타나는 소위 dichotomic production—depth curve의 湖沼型을 가르킨다.

우리 나라의 各 湖沼를 그 特性에 따라 湖沼型을 分類하면 아래와 같다.

溶存酸素량의 垂直分布型에 따라서 Sawyer(1966)가

類型化한 湖沼型으로 分類한다면 春川湖나 衣岩湖 등의 人工湖는 貧營養湖로 그리고 장자못은 富營養湖로 分類된다(Fig. 10, 11, 13, 및 14 참조). 그리고 Ichimura(1960)는 chlorophyll 含量的 生産層中の 平均値에 따라서 貧營養湖 0.1~0.8mg/m³, 中營養湖 1~5mg/m³, 및 富營養湖 10~60mg/m³로 分類하고 있다. 이 分類에 하면 우리나라의 湖沼型은 表 10과 같이 區分할 수 있다.

우리 나라에 있어서 chlorophyll의 含量으로 볼 때 장자못과 花津浦의 內湖(Station-5)는 富營養湖로 分類되며 花津浦의 外湖(Station-1), 永郎湖 그리고 衣岩湖, 昭陽湖 등은 中營養湖(mesotrophic lake)로 區分된다.

基礎生産測定値의 分布로 湖沼型의 分類를 試圖한다면, 富營養湖는 장자못이 이型에 속할 것이며, 花津浦(St-1) 등은 中營養湖에 속한다. 또한 Findenegg(1964)의 分類에 따르면 장자못이나 花津浦의 外湖는 第I型으로, 그리고 永郎湖는 第II型으로 類型化할 수 있겠다.

結 論

1973年 7月 下旬부터 9月 中旬에 이르는 夏季停滯期에 있어서 汽水湖로서 東海峯의 花津浦와 永郎湖, 人工湖로서 春川湖, 衣岩湖 및 昭陽湖 그리고 河跡湖인 장자못 등 6개 湖沼를 對象으로 하여 物理·化學的 要因과 植物플랑크톤의 現存量으로서의 分布 그리고 基礎 生産량을 測定하여 生態學的 觀點에서 比較하였으며 構造와 機能面의 特性을 基礎로 湖沼生態系의 標式을 類型化하였다.

Table 10. Average values of chlorophyll content in mg/m³ in several Lakes

Lake Type	Lakes	Maximum depth in m	Area(km ²)	Date	Chlorophyll(mg/m ³)
Eutrophic	Changjamot	5	0.1	Aug. 24 1969	11.3(Uhm1971)
	"	5	"	" 21 1973	22.8
	"	5	"	Sept. 15 1973	26.7
	Hwajinpo, St-5	3	0.66	July 28 1960	20.0
	Suwa	6.5	3.8	Aug. 1960	15.0(Sakamoto 1962)
Mesotrophic	Hwajinpo St-1	3.7	0.66	Aug. 22 1970	4.0(Uhm 1971)
	"	"	"	July 28 1973	5.6
	Yongrangho	7	0.91	Aug. 23 1970	6.5(Uhm 1971)
	" St-1	"	"	Aug. 2 1970	6.8
	" St-2	"	"	"	7.5
	" St-3	"	"	"	5.6
	Uiainho	20	17.2	Sept. 6 1973	1.9
	"	"	"	" 27 1973	1.6
Soyangho	"	"	70.0	" 4 1973	1.3
	"	"	"	" 28 1973	2.9

1. 水温分布로 볼 때 水温躍層은 장자못과 永郎湖 각각 3~4m層 및 4~5m層에서 볼 수 있었다. 人工湖 및 花津浦의 경우, 뚜렷한 成層構造는 나타나지 않고 있었다.

2. 溶存酸素量의 垂直分布에 있어서 각각 花津浦와 永郎湖는 positive heterograde curve를, 장자못은 전형적인 alinograde curve를, 그리고 底層에서 酸素缺乏狀態를 나타내고 있었다. 人工湖의 경우, 春川湖와 衣岩湖에 있어서는 orthograde curve를 그리며 昭陽湖는 成層構造가 뚜렷하지 않았다.

3. 鹽分濃도는 花津浦와 永郎湖의 경우 底層이 表層보다 높았으며 花津浦의 경우 底層의 鹽分도가 32.7%로 海水와 濃도가 거의 같았다.

4. NO_2-N , NO_3-N , NH_3-N 등 窒素化合物, PO_4-P 및 total-P 등의 磷化合物, 그리고 硅酸鹽 등의 營養鹽類의 分布는 窒素化合物의 경우 장자못이 가장 높은 값을 나타내고 있었으며 磷化合物 역시 장자못에서 높았다. 硅酸鹽의 分布는 春川湖가 가장 높았으며 장자못 역시 높은 값을 보이고 있었다. 汽水湖 營養鹽類의 分布는 대체로 낮은 값을 보이고 있었다.

5. Chlorophyll量의 垂直分布는 장자못의 경우, 成層型을 이루고 있으며 汽水湖에 있어서는 底層에 最大値를 보이는 L型의 成層構造를 하고 있었다. 春川湖에 있어서는 表層(0-5m)에서만 測定되었으며, 衣岩湖 및 昭陽湖에 있어서는 成層構造를 이루지 못하고 同質型의 分布를 하며 湖에 있어서도 적었다.

6. 장자못에 있어서 조사한 chlorophyll의 季節分布는 1~4月間의 春季循環期에 있어서는 同質型의 垂直分布를 하고 있었으며, 成層型은 5月 이후에 形成되었다. 그리고 chlorophyll量의 最大値는 6月 23日의 277.4 mg/m²이었다. chlorophyll의 季節變動은 富營養湖에서의 pattern으로 比較될 수 있겠다.

7. Chlorophyll의 水平分布는 汽水湖인 永郎湖와 花津浦에서 不規則型의 水平分布를 이루고 있다.

8. 基礎生産의 測定値와 chlorophyll量의 分布로 볼 때, 장자못 및 花津浦 內湖는 富營養湖로, 花津浦 外湖, 永郎湖, 衣岩湖, 昭陽湖는 中營養湖로 分類된다.

引用文獻

Åberg, B. and W. Rodhe 1942. Über die Milicufaktoren einigen Südschwedischen Seen. Symb.bot.Upsaliens, 5, No.3, 256pp. Uppsala.
 Anderson, G.C. 1958. Seasonal characteristics of two saline lakes in Washington. Limnol. and Oceanogr.

3: 51-68.
 Arnemo, F. and A. Nauwerck 1965. Limnological studies in Hyttödammen. 2. Phytoplankton and its production. Rept. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 46: 141-166.
 Aruga, Y. 1968. Technical problems for measuring primary production in the sea and inland waters and the data reported from various area. Bull. Plankton Soc. Japan 15: 19-22.
 Banse, K. and G.C. Anderson 1967. Computation of chlorophyll concentrations from spectrophotometric readings. Limnol. and Oceanogr. 12: 696-697.
 Clarke, G.L. 1946. Dynamics of production in a marine area. Ecol. Monogr. 16: 321-335.
 Doty, M.S. and M. Oguri 1958. Selected features of the isotopic carbon primary productivity techniques. Rapp. Cons. Explor. Mer, 144: 47-55.
 Eberly, W.R. 1963. Oxygen production in some northern Indians lakes. Proc. Indust. Waste Conf., Purdue Univ. 17: 733-747.
 _____ 1964. Further studies on the metalimnetic oxygen maximum with special reference to its occurrence throughout the world. Invest. Indiana Lakes and Streams, 6: 103-139.
 Elton, C. 1927. Animal Ecology. MacMill. Comp., N.Y.
 Findenegg, I. 1964 a. Produktions biologische Planktonuntersuchungen an Ostalpenseen. Int. Revue ges. Hydrobiol. 49: 381-416.
 _____ 1964 b. Types of planktic primary production in the lakes of the Eastern Alps as found by the radioactive carbon method. Verh. int. Verein. Limnol. 15: 352-359.
 Forbes, S.A. 1887. The lake as a microcosm. Bull. Peoria (Illinois) Sci. Ass. 77-87. (Cited from: Rodhe, W. 1969. President's Lecture: Limnology social welfare, and Lake Kinneret. Verh. int. Verein. Limnol. 17: 40-48)
 Forel, F.A. 1901. Handbuch der Seenkunde. Allgemeine Limnologie 249pp. Stuttgart. (Cited from: Welch, P.S. 1952. Limnology 2nd ed. 471pp. New York and London.)
 Gaarder, T. and H.H. Gran 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. Rapp. Cons. Explor. Mer 42: 1-48.
 Hogetsu, K. and S. Ichimura 1954. Studies on the biological production of Lake Suwa. VI. The ecological studies on the production by phytoplankton. Jap. Jour. Bot., 14: 280-303.
 Hutchinson, G.E. 1957. A Treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons, Inc. New York.
 Ichimura, S. 1956. On the standing crop and productive structure of phytoplankton community in some lakes of central Japan. Bot. Mag. Tokyo 69: 7-16.
 _____ 1960. Photosynthetic pattern of natural phytoplankton relating to light intensity. Bot. Mag. Tokyo 73: 458-467.
 _____ 1961. On the spatial difference of the primary production in the lake and its relation to

- environment factors. Bot. Mag. Tokyo 74: 6-13.
- _____ and S. Saijo 1958. On the application of C-14 method measuring organic matter production in the lake. Bot. Mag. Tokyo 71: 174-180.
- 市村俊英, 小村弘, 加藤君雄 1965. 八郎潟の植物プランクトンと, 基礎生産—八郎潟の研究, 418-463.
- Ichimura, S., S. Nagasawa and T. Tanaka 1968. On the oxygen and chlorophyll maxima found in the metalimnion of a mesotrophic lake. Bot. Mag. Tokyo 81: 1-10.
- Juday, C. 1940. The annual energy budget of an inland lake. Ecology 21: 438-450.
- Kozminski, Z. 1938. Amount and distribution of the chlorophyll in some lakes of northeastern Wisconsin. Trans. Wis. Acad. Sci., Arts and Letters 31: 411-438.
- Kristiansen, J. and H. Mathiesen 1964. Phytoplankton of the Tystrup-Bavelse Lakes, primary production and standing crop. Oikos 15: 1-43.
- Lindeman, R.L. 1941. Seasonal food cycle dynamics in senescent lake. Amer. Midl. Nat. 26: 636-673.
- _____ 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology 23: 399-418.
- Lohmann, H. 1908. Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehalts des Meeres an Plankton. Wiss. Meeresunters, NF Abt. Kiel 10: 131-370.
- Manning, W.M. and R.E. Juday 1941. The chlorophyll content and productivity of some lakes in northeastern Wisconsin. Trans. Wisconsin Acad. Sci., Arts and Letters 33: 363-393.
- Nannmann, E. 1917. Undersökningar over fytoplankton och under den pelagiska regionen försiggående gyttje—och dybildningar inom vissa syd—och mellansvenka urbergsvatten. Kungl. Svenska Vetenskapsakademeins Handl. 56(6): 1-165.
- Odum, H.T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. Ecol. Monogr. 27: 55-112.
- _____ and E.P. Odum 1955. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. Ecol. Monogr. 25: 291-320.
- Reid, G.K. 1961. Ecology of inland waters and estuaries. Reinhold Pub. Co., New York.
- Riley, G.A. 1940. Limnological studies in Connecticut. Part-III. The plankton of Linsley Pond. Ecol. Monogr. 10: 279-306.
- Riley, G.A., H. Stommel and D.F. Bumpus 1949. Quantitative ecology of the plankton of the western north Atlantic. Bull. Bingham Oceanogr. Coll. 12: 1-169.
- Rodhe, W. 1958 a. Primärproduktion und Seetypen. Verh. int. Ver. Limnol., 13: 121-141.
- _____ 1958 b. The primary production in lakes some results and restrictions of the ¹⁴C method. Rapp. Cons. Explor. Mer 144: 122-128.
- _____ R.A. Vollenweider and A. Nauwerck 1957. The primary production and standing crop of phytoplankton. In: Perspectives in Marine Biology (ed. A.A. Buzzati-Traverso); 290-322, Univ. Calif. Press.
- Saijo, S. and S. Ichimura 1963. A review of the recent development of techniques measuring primary production. In: Proc. Conf. on Primary Productivity Measurements, Marine and Freshwater. (ed. by M.S. Doty) Univ. Hawaii, Aug.-Sept. 1961. U.S. Atomic Energy Commission Div. Tech. Inf. J.I.D. 7633, 91-102.
- Sawyer, Clair N. 1966. Basic concepts of eutrophication. Jour. WPCF 38: 737-744.
- SCOR-UNESCO 1966. Determination of photosynthetic pigment in sea-water. Monographs on Oceanographic Methodology 1. UNESCO Publications Center, Paris.
- Steel, J.H. and C.S. Yentsch 1960. The vertical distribution of chlorophyll. Jour. mar. biol. Ass. U.K. 39: 217-226.
- Stemann Nielsen, E. 1952. The use of radio-active carbon for measuring organic production in the sea. Jour. du Cons. 18: 117-140.
- _____ and E.A. Jensen 1957. Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Report 1: 49-136.
- Strickland, J. D. H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. Bull. Fish. Res. Bd. Canada 122: 1-172.
- Talling, J.F. 1957. The phytoplankton population as a compound photosynthetic system. New Phytologist 56: 133-149.
- Tansley, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational terms and concept. Ecology, 16: 234-307.
- Teal, J.M. 1957. Community metabolism in a temperate Cold Spring. Ecol. Monogr. 27: 283-302.
- Thienemann, A. 1913. Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel. I. Verh. naturh. Ver. preuss. Rheinl. 70: 249-302.
- _____ 1915. II. *Ibid.* 71: 273-389.
- _____ 1921. Seetypen. Naturwiss. H. 18: 1-3.
- _____ 1928. Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. Die Binnengewässer 4: 1-172.
- 嚴圭白 1971. 湖沼에 있어서의 生産構造에 관한 研究. 식물학회지 14: 15-23.
- Verduin, J. 1956. Primary production in lakes. Limnol. and Oceanogr. 1: 85-91.
- Vollenweider, R.A. ed. 1969. A Manual on methods for measuring primary production in aquatic environments including a chapter on *Bacteria*, I.B.P. Handbook No. 12. Blackwell Sci. Pub., Oxford and Edinburgh.
- _____ and A. Nauwerck. 1961. Some observations on the C-14 method for measuring primary production. Verh. int. Ver. Limnol., 14: 134-139.
- Wright, J. C. 1959. Limnology of Canyon Ferry reservoir. II Phytoplankton standing crop and primary production. Limnol. and Oceanogr. 4: 235-245.
- Yamaguchi, Y. and S. Ichimura. 1972. Dynamic status of primary production in lake Yuniko, a small eutrophic subalpine lake in central Japan. Bot. Mag. Tokyo 85: 157-176.
- (1973年 10月 30日 접수)