

장자못의 생태學的研究
第Ⅱ報 春季 장자못의 基礎生産

嚴圭白·金翰集

(서울大學校 文理科大學 植物學科)

Ecological Studies of the Lake Changjamot II.
Primary Production in Lake Changjamot During Spring Season

Uhm, Kyu Baek and Hanjip Kim

(Department of Botany, Seoul National University)

ABSTRACT

A study was made on the primary production of Lake Changjamot during the spring season of 1973 by means of the oxygen method.

The stratification of temperature and dissolved oxygen were formed in May with the stratified structure of phytoplankton. The range of Secchi disc transparency was from 0.8m to 2.3m during the nine months of this investigation, which was begun in January, 1973. The value was lowest in early June when the phytoplankton blooming reached the peak.

The concentration of PO_4-P , NH_3-N , NO_3-N and NO_2-N was reduced at the beginning of the phytoplankton blooming and increased again after May except PO_4-P . It might have been caused by the inflow of the nitrogenous fertilizer from the surrounding agricultural area since May when farming was started.

The total amount of chlorophyll-a in the entire water column varied from 25 mg/m² to 277 mg/m² from January till September with the maximum value occurring in early June. These values show a considerable eutrophication of the lake in comparison with the data obtained in 1969.

The daily gross production in the lake varied from a low of 655 mg C/m² to a high of 2,859 mg C/m² during the spring season and this corresponds to the variation of the amount of chlorophyll. The total amount of daily respiration varies from 650 mg C/m² in winter to 2,307 mg C/m² in late spring and exceeds gross primary production especially in late May showing the negative balance of daily production and consumption of organic material at that time.

In conclusion, Lake Changjamot is a fairly productive and a moderately autotrophic lake and has been eutrophicated much during the past four years.

緒 論

湖沼生態系에 있어서 物質代謝의 主要過程은 有機物의 生成과 分解라고 할 수 있다. 그 중 有機物의 生成은 주로 湖沼中의 綠色植物 특히 植物플랭크톤의 光合成

에 의존하고 있으며 有機物의 分解過程은 微生物에 의하여 進行된다. 그리고 식물플랭크톤에 의한 有機物의 生成은 湖沼生態系에 있어서의 基礎生産을 의미한다. 基礎生産의 測定은 Gaarder & Gran(1927)에 의하

여 늘웨이의 Oslo Fjord에서 소위 'Light-and-Dark bottle' 法으로 처음 試圖되었으며 그 이후 水團의 物質生産 研究가 활발하게 전개되었으며, 二次大戰후에 Steemann-Nielsen (1952)에 의하여 Carbon-14 法이 개발되면서 物質生産研究가 生態學의 中心課題로 많은 生態學者들의 努力이 傾注되어 왔다 (Manning & Juday, 1941; Lindeman, 1942; Hogetsu & Ichimura, 1954; Verduin, 1956; Ichimura & Saijo, 1958; Rodhe et al., 1957; Rodhe, 1958; Vollenweider & Nauwerck, 1961; Vollenweider, 1969; 嚴, 1973).

最近에 Patten et al.(1964)는 實驗을 통해서 基礎生産量이 큰 富營養水域에 있어서는 소위 'Light-and-Dark bottle'의 酸素法이 Carbon-14法과 같이 測定效率이 높음을 밝힌 바 있다.

이제 筆者 등은 本研究에 있어서 湖沼生態系의 構造와 機能을 究明하는 研究의 一環으로 「장자못」을 對象으로 하여 植物플랑크톤에 의한 봄의 blooming 現象을 chlorophyll-a量과 酸素法에 의한 基礎生産量의 變動으로 把握하고 이를 物理化學的 要因과 관련지어 春季湖沼生態系의 物質生産의 機構를 考察하였다.

本 研究를 수행함에 있어서 늘 간곡하신 指導와 끊임없는 激勵을 하여 주신 恩師 李敏載교수·洪淳佑교수 그리고 鄭英昊교수님에게 감사할 德린다. 그리고 實驗에 助力해 준 李鏡·鄭煌 兩君에게 감사한다.

「장자못」의 概況

研究對象湖沼인 「장자못」은 京畿道 楊州郡 九里面 水澤里 도리미에 위치하고 있는 河跡湖의 일종으로 길이가 약 1km, 水面積이 약 103,500m² 되는 작은 湖沼로서 湖沼에서의 最大深度가 봄철에 5m되는 비교적 얇은 湖沼이다(Fig.1).

「장자못」의 주위는 漢江流域의 河川敷地로서 湖沼는 農場과 田畝으로 둘러 싸여 있다. 그리고 北쪽으로는 洗濯池, 葡池, 蛇池, 銅錢못 등 연못이 부근에 散在해 있다.

「장자못」은 크게 두개의 湖沼로 구분되며 北쪽의 못에는 湖沼 北端의 마을과 工場으로 부터 排水를 유입시키는 개천이 있으나 갈수기에는 거의 물이 흐르지 않는 반면, 南쪽의 못에는 많은 水量의 물이 流入되며 못의 南端에 漢江으로 흘러 들어가는 水路가 있어서 북쪽의 못보다는 河川의 性質을 띠고 있다고 하겠다. 이와같은 이유로 調査는 비교적 靜水性 湖沼性格을 띤 北쪽 못의 湖邊에 가까운 固定못에서 실시하였다.

方 法

試水는 장자못의 湖心에 가까운 固定點에서 表面으로부터 1m 간격으로 底層에 이르기 까지 siphon 方法과 Van Dorn 採水器를 병행하여 採水하였다. 表面 水温은 棒狀水銀溫度計로, 深層水温은 thermister 電氣溫度計로 각각 測溫하였다. 溶存酸素量은 Winkler法에 의하여 측정하였으며 Rawson의 表로 酸素飽和度를 계산하였다.

試水는 採水된 즉시로 實驗室로 돌아와서 Whatman filter paper로 여과한 후 化學分析을 하였다. 試水의 化學分析은 각기 다음의 方法에 따라서 이루어졌다.

pH는 採水 즉시 pH meter(Corning Model 10)로 측정하였다. 磷酸鹽은 phosphate-molybdate complex를 isobutanol로 抽出하여 SnCl₂로 發色시켜 比色定量하였다(Procter & Hood法). 암모니아는 bis-pyrazolon으로 발색시켜서 定量하였다(Golterman, 1969).

亞窒酸鹽은 diazo化하여 發色하였으며, 窒酸鹽은 cadmium-copper filing에서 NO₂로 還元시킨 다음 亞窒酸發色法으로 發色하여 比色定量하였다(Strickland & Parson, 1968).

위의 모든 比色定量은 spectrophotometer, Hitachi Model D4 를 이용 定量하였다.

Chlorophyll-a는 Parson & Strickland(1963) 및 嚴

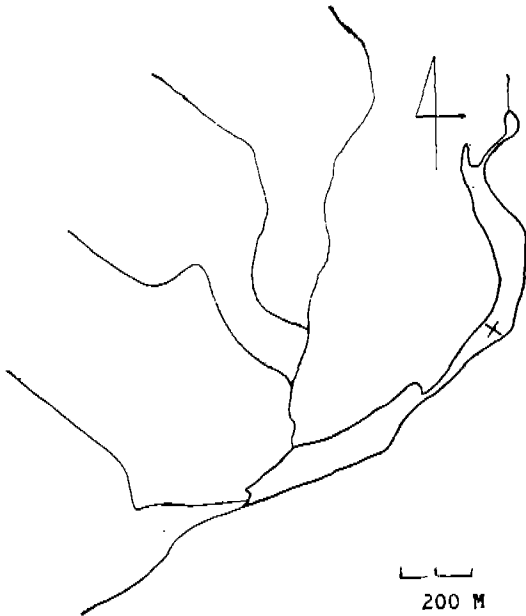


Fig.1 Morphometry of the Lake Changja-not showing position of station studied.

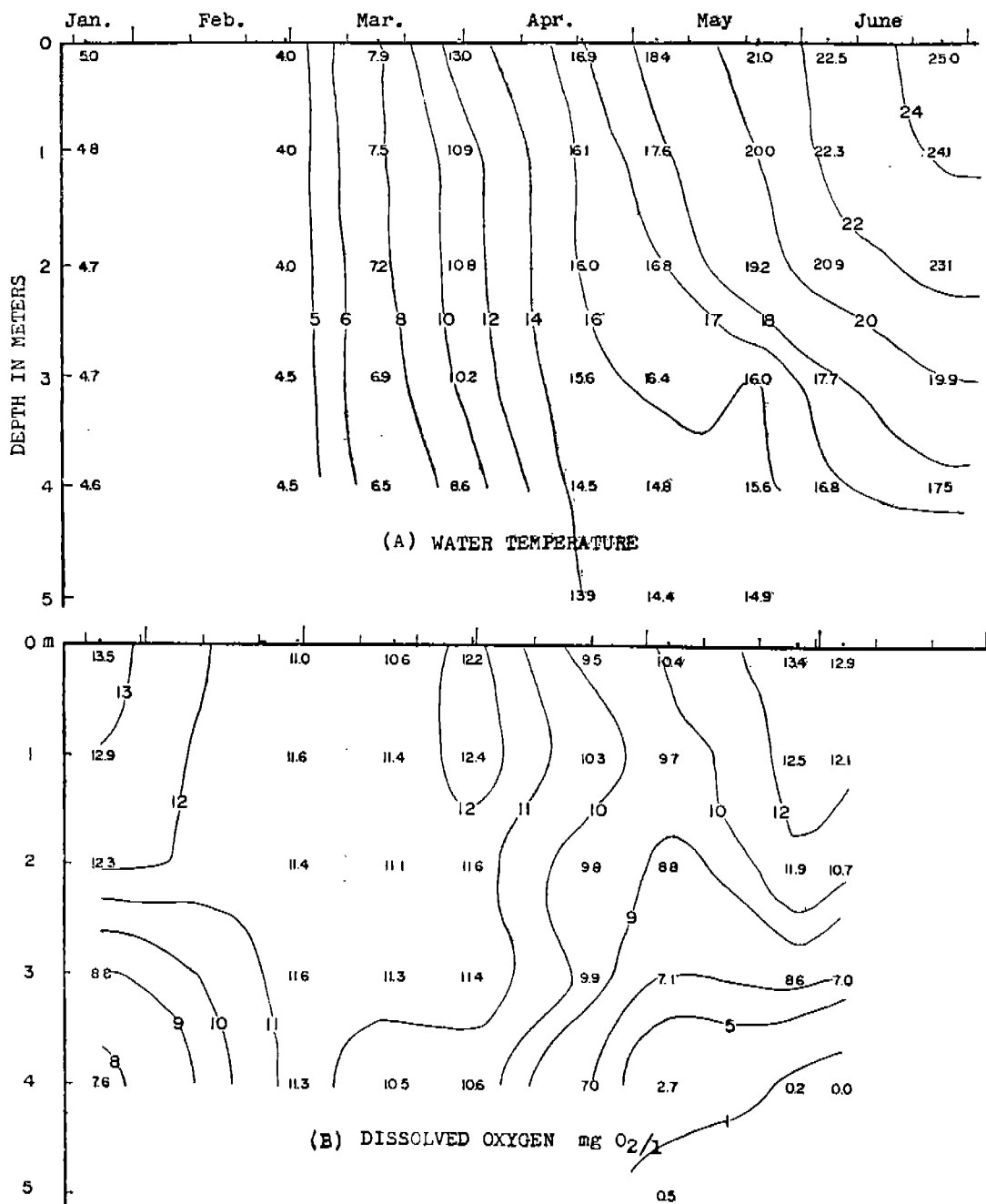


Fig.2 Seasonal variations of water temperature and quantities of dissolved oxygen.

· 洪 (1969)에 의거하여 spectrophotometer로 定量하였으며 SCOR-UNESCO(1966)式에 의거하여 chlorophyll-a量(mg/m³)을 測定하였다.

基礎生産은 Gaarder & Gran(1927)의 소위 'Light-and-Dark bottle' 法으로 測定하였으며, 측정된 水中 溶存酸素量의 변동에 의한 基礎生産量은 Strickland (1960)의 換算計數를 써서 mg C/m²/day로 換算하였다.

結果 및 考察

(1) 物理·化學的要因

水温: 水深과 季節에 따른 水温의 分布를 보면 Fig. 2A와 같다. 水温은 1月에서 3月까지는 거의 等温的으로 分布되어 있으며 4月 이후 점차 上昇하여, 5月以後에는 깊이 5m 以內의 淺은 水深에도 不拘하고 水深 3~4m層에 水温躍層(thermocline)이 形成되면서 5月末頃에 이르러서는 水温의 成層構造를 이루게 된다.

溶存酸素量: 溶存酸素의 分布(Fig. 2B)는 水温의 分布와 흡사하게 季節에 따른 變動이 觀察되었다. 즉 겨울의 停滯期에 있어서 溶存酸素의 成層構造는 1月末에 表層에서 포화도 105.7%, 底層에서는 58.9%로 나타나며 이와 같은 成層構造는 이른 봄 循環期에 무너져서 溶存酸素의 一様한 分布를 보이다가 5月以後 다시 成層을 形成한다. 5月 이후에 表層水는 飽和度 110%

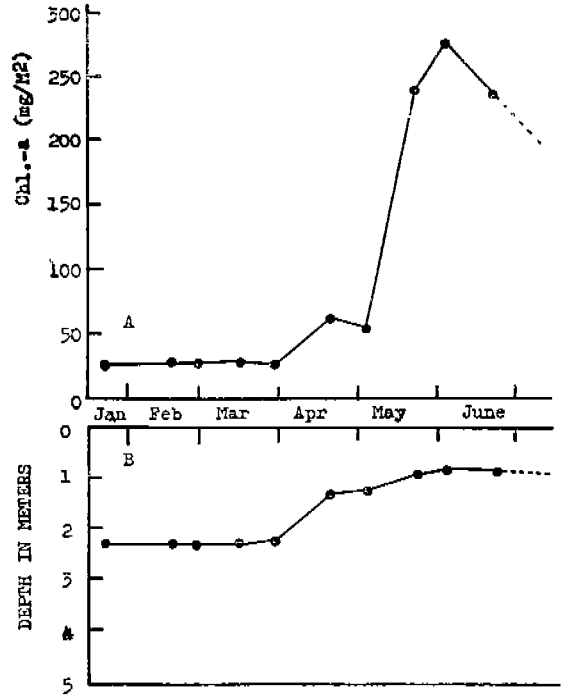


Fig. 3 Seasonal variations of quantities of chlorophyll-a (A, mg/m² in the entire water column), and changes of Secchi disc transparency (B).

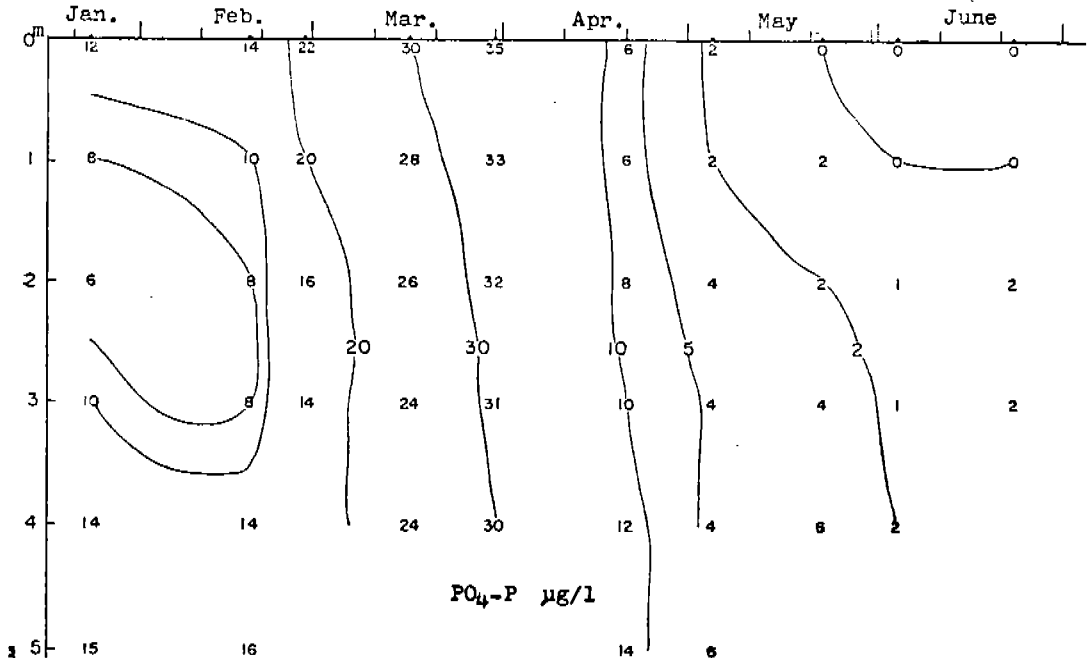


Fig. 4 Seasonal changes in quantities of PO₄-P.

以上の 높은 용存酸素 값을 유지하는 반면 4~5m 層에서는 飽和도가 5~0%로 용存酸素의 缺乏 내지는 無酸素層을 이루고 있다.

이때의 表層의 높은 포화도는 表層水의 chlorophyll-a의 量的增大와 一致하고 있으며(Fig. 3), 底層의 용存酸素의 缺乏狀態는 植物플랑크톤의 光合成에 의한 酸素供給은 거의 없는 反面 底面에서의 有機物의 分解作用이 水温上昇과 함께 促進되어 酸素消費가 增加된 것이 그 原因이라고 생각된다.

富栄養湖(eutrophic lake)에서는 一般的으로 深水層에서 酸化作用이 일어나 酸素가 消費되어 湖沼의 底層에 뚜렷한 酸素의 缺乏을 招來하여 용存酸素의 垂直分布는 clinograde-curve (Åberg & Rodhe 1942)를 그리게 되는데, 5月 以後 장자못에 있어서도 용存酸素의 垂直分布는 이러한 clinograde-curve를 나타내고 있다.

透明度: 透明度는 湖沼의 환경조건 및 懸탁물질의 量을 表示하는 物理的 要因으로서 장자못의 경우(Fig. 3B) 가장 큰 때는 1, 2, 3月の 2.3m이며 6月 初旬이 0.8m로 가장 낮았다.

6月 初旬에 가장 낮은 값을 보이는 것은 表層에 있어서 chlorophyll 量이 最高值(60.2 mg chl.-a/m³)를

나타내는 것과 일치한다.

營養鹽類: 營養鹽類 중 無機磷酸鹽(Fig. 4)은 겨울철에 成層構造를 이루다가 3月末에 이르기까지 농도가 增加한다.

이렇게 蓄積된 인산염이 植物플랑크톤의 blooming이 始作되는 4月 이후에 減少되는 것은 植物플랑크톤의 增殖으로 인한 磷酸鹽의 消耗에 起因하는 것으로 생각된다.

磷酸鹽이 3月末까지는 底層에 비해 表層水에 높은 濃도를 보이는 것은 인근 農土의 解水과 더불어 流域의 磷酸鹽이 表層水에 流入된 것이라고 생각된다. 그리고 4月 이후에는 表層水에 比하여 底層水에 높은 인산鹽의 濃도를 나타내고 있다.

Ammonia 性 窒素의 濃도(Fig. 5A)는 겨울에 있어서 湖水의 成層構造를 보여주고 있으며 植物플랑크톤의 blooming 初期에 일단 減少되었다가 점차 增加하는 傾向을 보이고 있다.

窒素鹽(Fig. 5B) 역시 4月 中旬頃에 減少된 후 점차 增加하고 있다.

亞窒素鹽의 높은 농도는 一般的으로 汚染의 基準으로 생각되고 있으나 汚染되어 있지 않은 湖沼의 表層水에서도 極少量의 亞窒素鹽은 季節的 變動을 나타낸

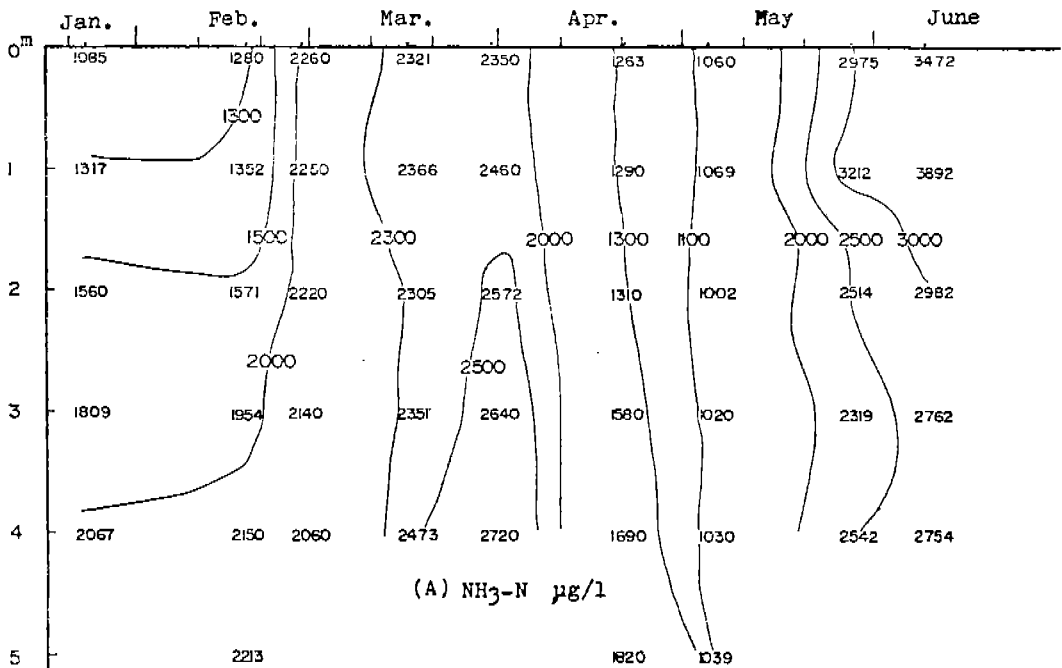


Fig. 5-A Seasonal changes in quantities of NH₃-N.

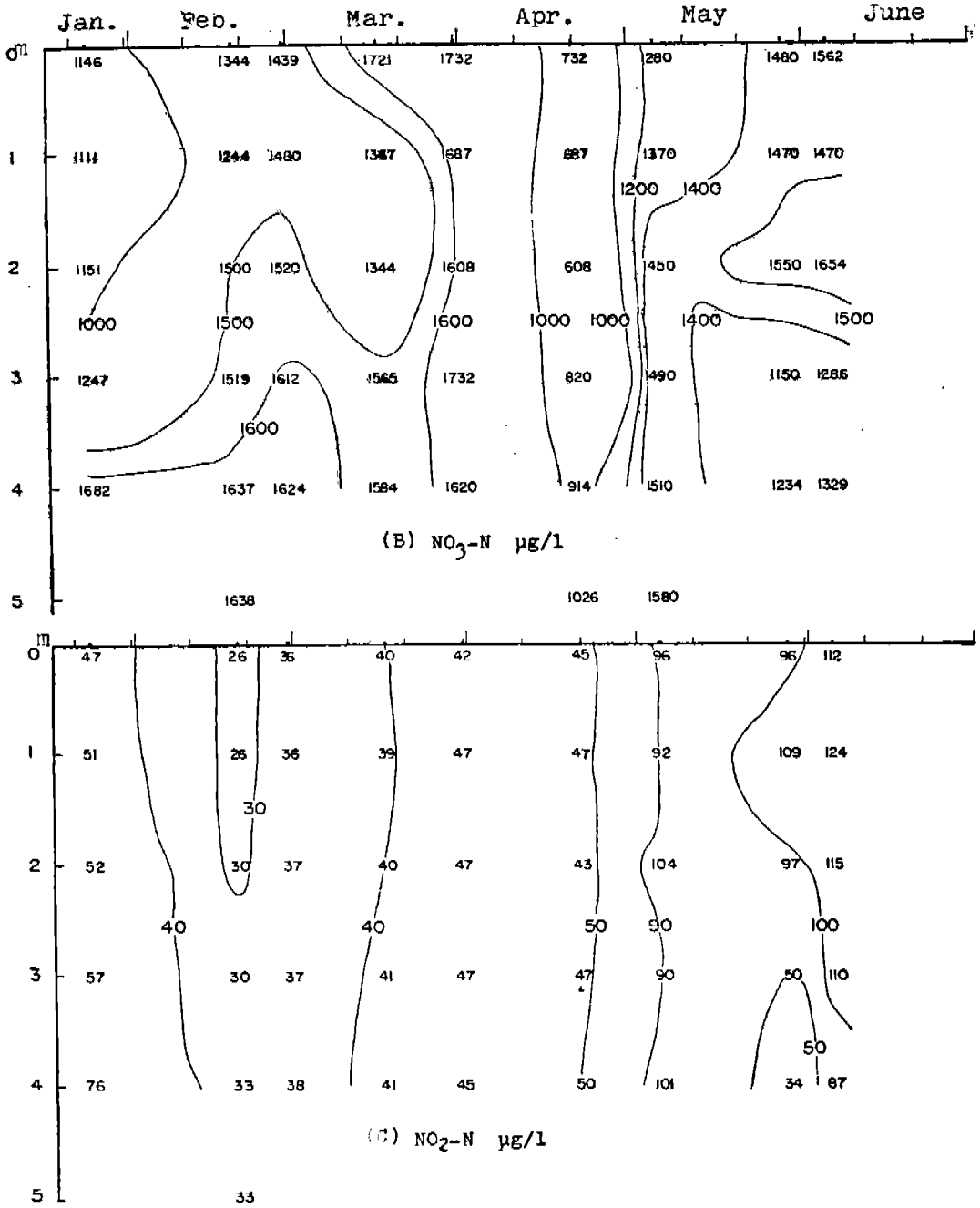


Fig. 5-B and C Seasonal changes in quantities of $\text{NO}_3\text{-N}$ (B) and $\text{NO}_2\text{-N}$ (C).

다(Juday & Peterson, 1925).

장자못의 경우 아질산염 (Fig. 5C)은 少量이 항상 존재하며 그량은 4월 이후에 점차增加하여 6월에는 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 의 수준에 이르는 것을 볼 수 있다.

이상과 같이 여러 種類의 窒素成分이 4월에 減少되었다가 5,6월에 再增加하는 것은 隣近耕作地에서 畝間과 함께 農耕活動이 始作되어 流域에 많은 量의 窒素成分이 流入된 結果라고 생각된다.

따라서 장자못에 있어서는 ammonia性 窒素와 窒酸鹽 등의 窒素成分은 植物플랑크톤의 blooming에 limiting factor로 作用하지 않는다고 생각된다.

(2) Chlorophyll-a의 分布

湖沼生態系에서는 水深이 깊어짐에 따라 光線이 약해지기 때문에 그에 따라서 光合成의 減少가 일어나므로 光線量의 차이는 植物플랑크톤의 生産量을 決定하고 그 結果 各層의 植物플랑크톤은 어떤 階級의 垂直分布, 즉 各 湖水의 特徵的 生産構造(productive structure)를 이룬다. 植物의 光合成에는 chlorophyll以外에도 여러가지 色素가 關係하고 있으나 植物플랑크톤의 現存量을 測定하는에는 光合成에 直接的으로 關係하는 chlorophyll의 量을 定량함으로써 植物플랑크톤의 現存量을 測定할 수 있으며 이 chlorophyll量

의 垂直分布를 파악함으로써 生産構造를 규정할 수 있다.

장자못의 chlorophyll-a의 季節에 따른 垂直分布는 Fig. 6과 같다.

Chlorophyll-a는 겨울 停滯期에서 이른 봄 循環期까지의 1,2,3월에는 同質的인 分布를 보인다. 畝間 이후의 停滯期에는 도치된 L型의 成層構造를 이루어서 5월과 6월에는 1~2m層에 chlorophyll量의 maximum을 나타내고 8월과 9월에는 1~3m에 걸쳐 maximum을 볼 수 있다.

한편 5월과 6월에 湖沼의 底層에는 無酸素層임에도 不拘하고 상당량의 chlorophyll이 存在하고 있다. 또한 5월 이후 底層의 pH는 表層(pH 8.2, 5월 22日; pH 8.4, 6월 3日)에 비해 상당히 낮은 값(pH 7.4, 5월 22日; pH 7.6, 6월 3日)을 보이고 있어 有機物分解가 旺盛한 것을 알 수 있다. 따라서 5,6월 湖沼의 底層에서는 表層으로부터 inactive plankton이 沈降하여, 蓄積되어 光合成은 일어나지 않는 反面, 有機物의 分解作用만이 일어나고 있다고 생각된다.

장자못의 總 chlorophyll-a의 季節的 變動을 나타내어 보면 Fig. 3A와 같다.

總 chlorophyll-a의 量은 1,2,3월에는 24~28mg chl. -a/m²의 적은 값을 보이다가 이른 봄철의 湖沼의

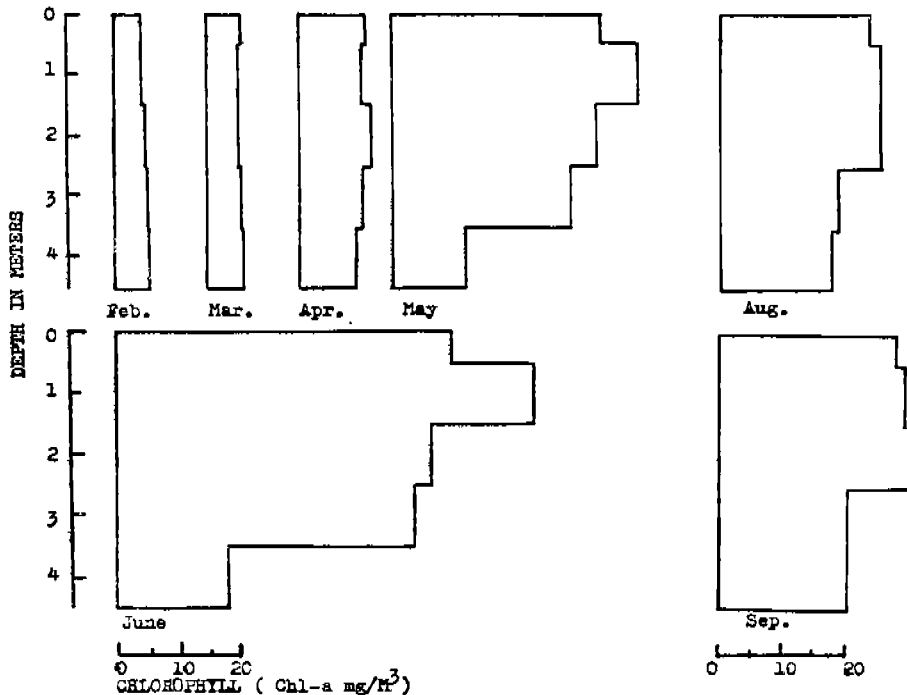


Fig. 6 Seasonal changes of vertical distribution of chlorophyll-a in Lake Changjamot.

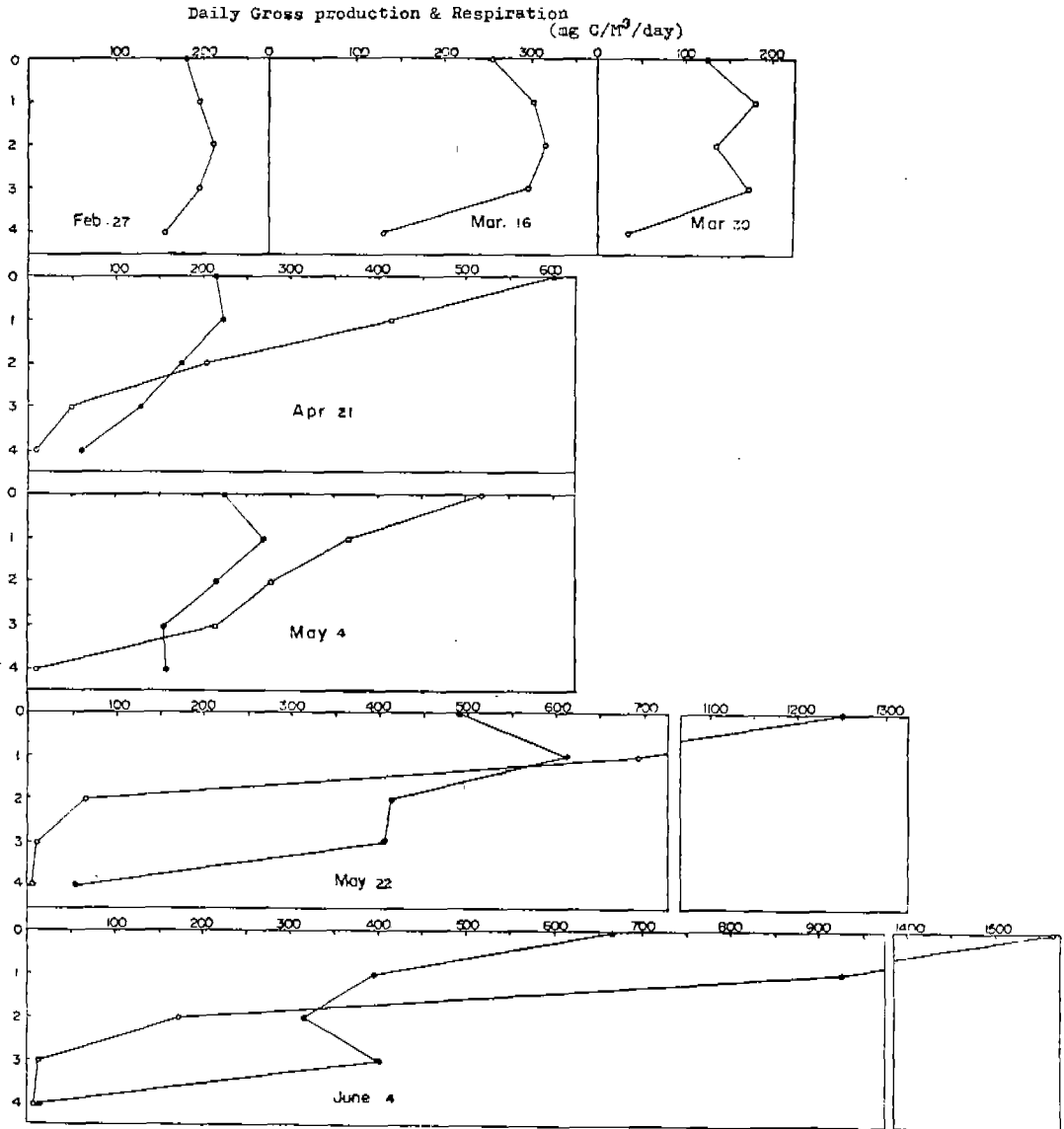


Fig. 7 Depth profiles of daily gross photosynthesis(○) and respiration(●).

循環期가 지난 4月 이후 水温의 上昇과 더불어 增加하기 시작하여 6月 初에 277mg/m²로 極大에 이르고 7月 이후 減少되었다가 8月 114mg/m², 9月에 133mg/m²로 再增加하는 傾向을 보이고 있다.

이러한 chlorophyll-a의 量的變動으로 장자못에서는 5月, 6月에 植物플랑크톤의 blooming이 있다고 생각되며 이러한 chlorophyll의 變動은 透明度와 一致하고 있다.

또한 chlorophyll의 量を 1969年度 장자못의 chlorophyll量 (嚴·洪, 1969)과 비교하여 보면 1969年の 年中 chlorophyll-a의 最大 값이 50 mg/m² 未滿으로 이는 1973年度 277mg/m²에 비해 현저한 差異를 보이고 있어 過去 4年間に 相當한 富栄養化(eutrophication)가 進行되었다고 생각된다.

3. 基礎生産과 呼吸

In situ에서 'Light-and-Dark bottle'法에 의해 測

定한 基礎生産量과 呼吸量を 水深에 따라 表示하면 Fig. 7과 같다.

圖表에서 보는 바와 같이 光線에 依한 억제는 나타나지 않았으며 光合成에 의한 總基礎生産은 겨울에는 비교적 적은 값으로 水深에 따라 별 차이가 없으나 chlorophyll의 現存量이 늘어나는 4月 이후에는 表層水와 底層水 사이에 基礎生産의 顯著的한 差異를 나타내고 있다. 특히 chlorophyll의 垂直分布(Fig. 6)에서 5, 6월에 있어서 湖沼의 底層에 相當量의 chlorophyll-a (18~30 mg/m³)가 存在하는 것을 볼 수 있었는데 이들 底層에 있는 植物플랑크톤에 의한 光合成은 거의 zero에 가까우며 呼吸도 정지되어 있는 것이 觀察된다.

Chlorophyll의 垂直分布에서 보듯이 5月과 6월에 있어서의 chlorophyll의 最大直는 水深 1~2m層에 存在하나 基礎生産은 表層에 더 큰 光合成량을 나타내고 있다. 이것은 5, 6월의 장자못의 透明度가 0.8~0.9m로서 水中에서 光線量의 급격한 減少가 일어나 1~2m層의 植物플랑크톤의 光合成作用이 圓滑하지 못한 데에 基因한다고 생각된다.

장자못의 1日間 總基礎生産量, 呼吸 및 純生産量을 보면 table 1과 같다.

Table 1. Gross primary production (P_G), respiration (R), and net production (P_N) in Lake Changjamot.

Date	Weather	P_G		
		mg C/m ² ·day	mg R C/m ² ·day	mg P_N C/m ² ·day
Feb. 27	fine	914	650	264
Mar. 16	very fine	1,280	—	—
Mar. 30	cloudy	655	—	—
Apr. 21	cloudy	1,219	801	418
Mar. 4	fine	1,402	1,144	258
May 22	fine	1,813	1,976	-163
June 4	fine	2,859	2,307	552

여기에서 보는 바와 같이 總基礎生産量과 呼吸量은 blooming이 極大에 도달한 6月 初에 最大值를 나타내었다.

특히 5月 末의 경우 呼吸量을 증가하여 有機物의 生産과 消費의 balance가 negative로 나타난다. 그러나 위의 表로 볼 때 장자못은 大體로 autotrophic lake로서 富營養湖로 생각되며 營養鹽類의 농도 역시 富營養湖 내지는 그 이상의 값을 이루고 있으며 특히 隣近에서 流入된 窒素性분이 植物플랑크톤의 blooming을 促進시키고 있다고 생각된다.

結 論

1973年 1月 23日 부터 6月 末에 이르는 春季 장자못의 基礎生産을 'Light-and-Dark bottle' 法에 의하여 測定하였다.

同時에 物理·化學的 要因과 植物플랑크톤의 現存量으로써 chlorophyll의 分布를 調査하여 基礎生産과의 關係를 考察하였다.

1. 장자못의 水温上昇은 3月 中旬에 始作되어 5月 末에 水温의 成層構造를 形成하며, 溶存酸素의 겨울철 成層構造는 이른 봄의 循環期에 파괴되었으며 水温의 上昇과 더불어 5月 이후에 다시 成層을 形成하여 5, 6월의 湖沼의 底層은 無酸素層으로 나타난다.

2. 透明度의 범위는 0.8m~2.3m이며 6月 初에 가장 낮았다.

3. pH 값은 2月에서 5月 初까지는 6.7~7.0으로 同質的인 分布를 보였고 5月 이후에는 6月 末에 이르기까지 계속 增加하였으며 水深이 깊어짐에 따라 낮은 값을 나타냈다.

4. 無機營養鹽類는 植物플랑크톤의 增殖期 始初에 減少하였으나, ammonia, 窒酸鹽 및 亞窒酸鹽 등의 窒素成分은 다시 增加하여서 植物플랑크톤의 增殖에 limiting factor로 作用하지 않는다.

5. 全水柱의 chlorophyll-a의 量은 25~277 mg C/m²·day로서 이와 같은 chlorophyll-a 量의 變動으로 보아 植物플랑크톤의 blooming은 4月 中間에 始作되어 6月 初에 極大에 이르고 있다.

生産構造로서의 chlorophyll의 垂直分布는 겨울철의 同質形과 봄철 이후의 도지된 L-型의 成層形으로 나타난다.

6. 總基礎生産의 變動은 655~2,859mg C/m²·day로 植物플랑크톤의 blooming이 極大에 이른 6月 初에 가장 높았다. 6月 初에 2,307mg C/m²·day로 가장 높았고 겨울철에는 650mg C/m²·day이었다. 一時的으로 呼吸에 의한 有機物消費가 植物플랑크톤에 의한 有機物生産을 능가하였으나 대체로 장자못은 自家營養的 (autotrophic)인 富營養湖로 생각된다.

REFERENCES

Åberg, B. and W. Rodhe. 1942. Über die Milieufaktoren einigen Südschwedischen Seen. *Symb. bot. Uppsalsiens*, 5, No. 3, 256pp. Uppsala.
 Gaarder, T. and H.H. Gran. 1927. Investigations of the

- production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapp. Cons. Explor. Mer.* 42 : 1—43.
- Golterman, G.E., ed. 1969. Methods for chemical analysis of fresh waters. IBP Handbook No.8.
- 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.
- Ichimura, S. and S. Saijo. 1958. On the application of C-14 method measuring organic matter production in the lake. *Bot. Mag. Tokyo*, 71 : 174—180.
- Juday, C. and W.H. Peterson. 1925. The forms of nitrogen found in certain lake waters. *J. Biol. Chem.*, 63 : 269—285.
- Lindeman, R.L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 23 : 399—418.
- Manning, W.M. and R.E. Juday. 1941. The chlorophyll content and productivity of some lakes in north-eastern Wisconsin. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Letters*, 33 : 363—393.
- Parson, T.R. and J.O.H. Strickland. 1963. Discussion of the spectrometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21 : 155—163.
- Patten, B.C., J.L., Norcross, D.K. Young, and C.L. Rutherford. 1964. Some experimental characteristics of dark and light bottles. *J. Cons. Perm. Int. Intern. Explor. Mer.* 28, 335—353.
- Rodhe, W. 1958. The primary production in lakes. Some results and restrictions of the ^{14}C method. *Rapp. Cons. Explor. Mer.*, 144 : 122—128.
- Vollenweider, R.A. and A. Nauwerck. 1957. The primary production and standing crop of phytoplankton. In: *Perspectives in Marine Biology*. (ed. by A.A. Buzzati-Traverso); 200—322. Univ. Calif. Press, Berkeley.
- Strickland, J.D.H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 122 : 1—172.
- _____, and T.R. Parson. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167 : 1—317.
- Steemann-Nielsen, E. 1952. The use of radio-active carbon for measuring organic production in the sea. *J. du Cons.*, 18 : 117—140.
- SCOR-UNESCO, 1966, Determination of photosynthetic pigment in sea-water. Monographs on Oceanographic Methodology 1. UNESCO Publications Center, Paris.
- Verduin, J. 1956 Primary production in lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 1 : 85—91.
- Vollenweider, R. A. 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 Edingburgh.
- _____, and A. Nauwerck. 1961. Some observations on the C-14 method for measuring primary production. *Verh. int. Ver. Limnol.*, 14 : 134—139.
- 嚴圭白, 1973. 夏季停滯期에 있어서 數個湖沼의 生態學的 比較 研究, *식물학회지*, 16 : 17—34.
- _____. 洪英男. 1969. 장자못의 生態學的研究, 第 I 報 環境要因과 生産構造에 關하여. *한국육수학회지*, 2 : 75—85.

(1974.7.2. 接受)