

국내 인공댐호의 물리적 환경인자에 의한 호수특성 고찰에 관한 연구

김좌관 · 홍옥희*

지산간호보건전문대학 환경관리과, *한국전력기술연구원 화학환경연구실
(1992년 7월 2일 접수)

Studies on the Physical Environmental Factor Analysis for Water Quality Management in Man-made Lake of Korea

Jwa-Kwan Kim and Wk-Hee Hong

*Department of Environmental Engineering, Jisan Junior College**
Lab. of environmental chemistry, Institu. of Korea Electrics Technology.
(Manuscript received 2 July 1992)

Abstract

First, We classified man-made lakes in Korea as 4-type lakes, that is, there were River-run lakes, Dentic lakes, Reservoir-lakes, River-mouth lakes, We studied on the environmental factors of 3-type lakes except River-mouth lakes, compared these lakes with natural lakes in foreign country. Environmental factors were watershed area, lake storage, mean depth, hydraulic retention time. As a results, 3-type lakes in Korea had remarkable differences one another according to above-mentioned environmental factors. First, We recognized that River-run lakes had higher nutrient loading according to having wider watershed area than natural lakes, and had lower algal growth rate according to shorter hydraulic retention time than natural lakes. Dentic lake had higher nutrient loading than natural lakes, longer retention time than River-run lake. Reservoir-lakes had environmental factors between Dentic lakes and River-run lakes. Therefore, If this studies had no quantitative results about various factors, We recognized that man-made lakes in korea had different environmental factors as compared with natural lakes, and had clear classification among 3-type lakes.

KEY WORDS : physical envirnmental factor analysis, water quality management, classification of man-made lakes, nutrient loading, retention time

1. 序 論

우리 나라는 용수의 대부분을 지표수에 의존하고 있어서 해방이후 현재까지 지표수, 특히 하천수의 확보에 국가적 심혈을 기울여 왔다. 그 결과 우리나라 주요 하천수계마다 크고 작은 많은 댐들이 건설되었는데, 이러한 댐들은 용수의 지속적인 공

급뿐만 아니라 용수의 통제와 전력의 생산에도 지대한 공헌을 한 것이 사실이다. 그러나 최근에 이르러서는 인구의 증가와 함께 급속히 진행된 산업화의 영향으로 이들 댐호의 대부분이 극심한 수질 오염과 부영양화 현상을 겪으면서 그 유용성이 위협받고 있다.

현재 우리 나라의 호수 및 저수지는 179개로서

자연호수는 9개뿐이고 170개가 인공호수이다(환경처, 1988). 이처럼 대부분이 인공호수들로서 좁은 국토에 많은 댐들이 건설됨으로 인하여 주요하천 수계의 중·상류부에는 댐이 없는 곳이 거의 없게 되었는데 특히 북한강 수계에 있어서는 댐호의 유로연장이 전체 하천 유로길이의 80% 이상을 차지하게 되었다(환경처 1988).

한편, 우리 나라는 화성암 지형의 특성상 자연호수의 발달이 매우 빈약한 반면 예로부터 농업용수의 확보를 위하여 평야지역에 크고 작은 많은 인공호수들을 건설하여 왔다. 이러한 농업용 저수지들은 하천에 조성된 대형댐호들과 다른 여러 특성들을 지니는데 최근에 이르러서는 대형댐호들과 마찬가지로 극심한 수질오염현상을 나타내고 있는 형편에 있다.

이처럼 80년대 초반부터 호수의 수질오염현상이 심화되면서 용수의 수질이 악화되자 호수의 수질보전 대책을 마련하기 위하여 지난 10년동안 호수수질연구소, 수자원공사, 환경처등 많은 연구자들이 노력을 경주하여 왔다(호수수질연구소, 1991). 그런데 우리 나라에 진행되어 온 연구내용을 대별하여 보면 주로 호수의 수질분석, 동식물성 플랑크톤의 분류 및 정량분석, 호수 외부로부터 유입되는 오염물질의 부하량 조사, 호수수질의 모델링연구등이 주류를 차지하고 있는 반면 육수학적 연구의 기초라 할 수 있는 호수의 물리학적 요인들, 즉 지형적, 수문학적, 미기상학적 특성이나 호수 저질에 대한 연구등은 상대적으로 미약함을 알 수 있다(국립환경연구원, 1984 : 수자원공사, 1988 : 환경청, 1988).

그런데 호수에서 진행되는 수질악화와 부영양화 현상은 호수 외부에서 유입되는 오염부하량 뿐만 아니라, 호수자체가 갖는 제반 지형적 특성에 크게 영향을 받고 있다고 판단된다. 일례로 호수 용적이 거의 비슷한 두 호수에 같은 정도의 오염물질이 유입된다고 하더라도 실제의 호수수질은 각각 호수의 형태적, 수문학적 특성에 따라서 크게 차이가 나는 것이 보통이며, 이러한 현상은 실제로 일본의 자연호수인 Biwa호, 미국의 오대호등의 호수 연구 결과등에서 빈번히 보고되고 있다(LBRI et al, 1989).

이러한 외국의 연구예를 고려할 때, 본 저자들은

우리 나라 호수의 구조적 특징이 문헌에 자주 소개되는 외국의 호수들과는 특히 형태적 및 유역환경등에서 많은 차이가 있으며, 이러한 우리 나라의 특유한 조건들이 최근의 부영양화현상을 가속화시키는 데 적지 않게 기여하고 있다고 판단하였다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 우리 나라 호수들을 호수의 형태에 따라 수개의 호수군으로 분류하였고, 유역특성과 수리수문학적인자의 고찰을 통한 호수군의 차별성을 우선 확인하였으며 이러한 호수의 제반특성이 어떻게 호수의 부영양화 진행에 영향을 미치는 지를 고찰하였다.

2. 研究 範圍와 研究 方法

우리 나라는 화성암 지역의 특성상 자연호수의 발달이 크게 미약하다. 따라서 대부분의 호수들은 크기의 대소를 막론하고 인공적으로 축조되었는데 이러한 인공호수들은 모두 하천의 흐름을 막거나 또는 산골짜기의 어귀를 막아서 조성된 것들이다. 하천을 막아서 축조한 호수는 다시 댐의 위치에 따라서 상류부에는 주로 다목적 댐이, 중하류부에는 발전용 댐이, 그리고 강의 하단에는 해수 역류방지용 하구둑이 조성되어 있다.

따라서 본 연구를 수행하기 위한 호수의 분류와 명명작업은 호수의 형태적 특성에 따라 저자의 임의로 크게 네가지로 구분하였는데, 곁가지형 호수(Dentritic lake), 하천형 호수(River-run lake), 하구형호수(River-mouth lake), 저수지형호수(Reservoir lake)로서 각 호수형태에 따른 지형적, 수문학적 특성이 Table 1과 같으며 그 대표적 호수의 형태는 Fig.1과 같다. 대상호수의 연구범위는 소규모의 농업용수용 저수지보다도 만수면적이 최소 1km² 이상인 인공호수를 대상으로 하였으며 4가지 호수군 중 하구언의 축조로 조성된 하구형 호수는 연구대상에서 제외하였고 외국의 자연호수는 비교적 문헌상 자주 거론되는 호수인 일본의 Biwa호등 5개를 그 대상으로 하였다.

호수의 환경특성을 과학적으로 평가하는 방법에는 여러가지가 있는 데 크게 그 호수를 포함하는

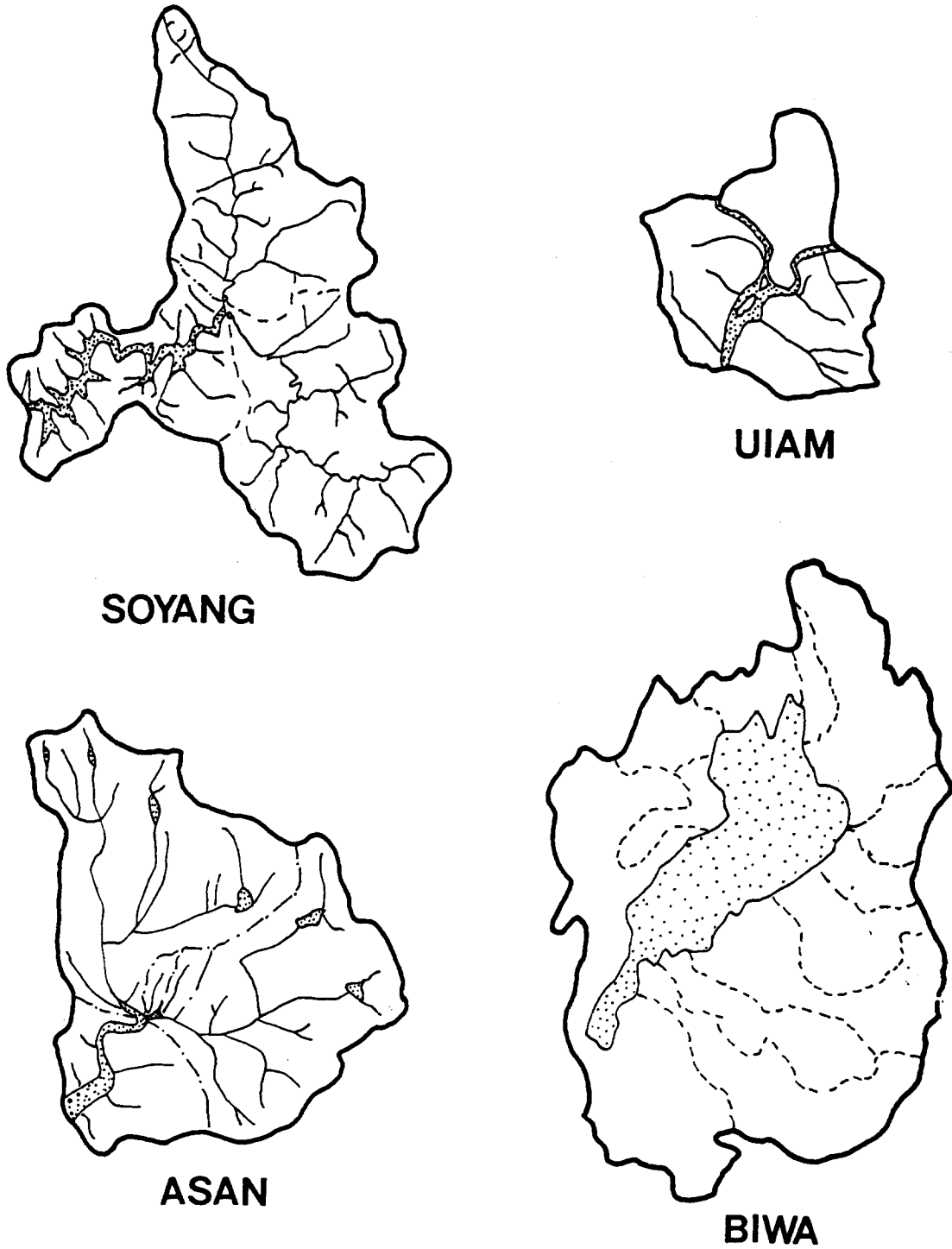


Fig. 1. Diagram of various lakes and watersheds.

Table 1. Classification of man-made lakes

Categories	Characteristics	Example lakes
River-run lake	1. Short retention time. 2. Simple shoreline development. 3. Uniformity of horizontal water quality.	Paldang, Uiam Cheongpyeong Chuncheon
Dentritic lake	1. Long retention time. 2. Complex shoreline development. 3. Formation of embayment in lake. 4. High variation of horizontal water quality.	Soyang, Andong, Daecheong, Chungju
Reservoir	1. Long retention time. 2. Small storage of water. 3. Low water depth.	Daegami, Hoam, etc. small reservoirs
River-mouth lake	1. High loading rate because of location at river-mouth. 2. High variation of horizontal water quality.	Nakdong, Asan, Yeongsan, etc.

유역권(watershed)을 비교 검토하는 방법론과 호수만을 떼어서 여러가지 형태적 특성을 분석하는 방법론의 두가지로 대별할 수 있다. 이에 부가하여 호수의 유역과 형태적 특성이 결국 호수의 수리수문학적 특성을 결정하게 되므로 이러한 관점에서 호수의 수문학적 특성을 검토하는 방법론도 고려할 수 있다. 본 연구에서는 유역특성과 수리수문학적 특성만을 고려하여 검토하였다. 우리나라 호수의 지형특성 자료는 일차적으로 기존의 자료들을 수집 이용하고 일부 호수에 대해서는 1 : 50,000의 지도를 원도화하여 caliper등을 이용 지도상에서 측정하였으며, 외국의 호수들에 대해서는 기존의 자료등에서 발췌하였다.

3. 結果 및 考察

3.1. 流域特性 因子

일반적으로 호수의 수질 및 생산성에 영향을 가장 크게 미치는 인자는 대상 유역면적으로부터 배출되는 영양염류의 부하량으로, 유역은 가지는 특성에 따라 강우기와 건조기에 각기 유입되는 영양염류

부하량이 달라지게 된다(Brylinsky, 1973). 호수의 수질 및 생산성에 영향을 미치는 유역특성인자로는 유역면적의 크기 및 인구, 경사도, 토지이용형태, 토양특성등이 있으며 일반적으로 유역면적이 크고 인구밀도가 높을수록, 경사가 급하고 토양 침식성이 클수록 영양염류 부하량은 높다고 하겠다(OECD, 1982).

국내 인공댐호의 유역특성인자는 호수에 직간접적으로 유입되는 영양염류의 양과 비례관계에 있는 유역면적 값(D)과 이를 희석시키는 호수면적의 값(L), 유입지천과 호수수표면으로 직접 유입되는 오염부하량을 나타내는 총면적 값(유역면적과 호수면적의 합), 총면적으로부터 유입된 영양염류를 희석시키는 역할로 호수생산성과 반비례 관계가 있는 호수용량 값을 각기 선정하였다(Fee, 1974). 따라서 D/L비와 총면적/호수용량비의 값이 크면 클수록 대상 호수의 상대적 오염부하량은 크다고 하겠다. 외국의 자연호수와 국내의 인공호수를 각기 비교한 결과는 다음 Table 2와 Fig 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 D/L와 총면적 대 호수용량비의 그래프가 지수적 증가함수를 나타내고 있어 호수의 물리적 특성상의 구분없이 호수의 표

Table 2. Catchment factors of man-made and natural lakes

Lake names	Catchment area(D) (km ²)	Lake surface area(L) (km ²)	D		Total area VS. Lake storage (km ² /10 ⁶ M ³)
				L	
Daecheong	4,134	72.8	56.8		4.045
Soyang	2,768	70.0	39.6		1.494
Chungju	6,648	97.0	68.5		3.77
Andong	1,584	51.5	30.8		1.636
Paldang	19,222	36.5	526.6		1,069.9
Uiam	7,807	16.6	470.3		13.49
Cheongpyeong	10,615	17.6	597.9		122.7
Chuncheon	4,853	14.3	338.9		79.79
Jinyang	2,285	23.7	96.6		21.18
Yeongsan	3,471	37.5	92.6		13.87
Asan	1,634	28.0	58.4		11.70
Sapkyo	1,639	20.2	81.1		19.80
Haenam	181	8.4	21.6		11.16
Hoedong	95	2.2	43.8		5.25
Biwa	3,174	674.0	4.71		0.14
Inawasiro	711	104.8	6.78		0.21
Laguna	3,820	900.0	4.24		1.45
Michigan	117,845	58,016.0	2.03		0.04
Ontarion	75,272	19,009.0	3.96		0.06

Total area=Catchment area +Lake surface area

면적이거나 저수용량의 산술적 증가가 유역면적의 대수적 증가를 나타내는 일반적 특성을 나타내고 있다.

외국의 자연호수와 비교할 때 국내의 인공호는 호수면적에 비해 비교적 넓은 유역면적을 지니고 있음이 나타났고, 이에 따라 넓은 유역면적으로부터 높은 영양염류부하량이 일어나고 더불어 높은 호수생산성이 유발될 유역환경특성을 지니고 있다. 또한 국내인공호에서도 하천형 호수, 저수지형 호수, 가지형 호수 순으로 넓은 유역면적을 지니고 있다. 그러나 하천형호수의 경우 대부분 강의 중하류에 설치되어 있어 자체 유역면적보다도 사실상 상류부 인공호의 더 넓은 유역면적까지 포함되어 자체 유역관리 뿐만 아니라 상류댐의 오염부하량

통제도 수질관리상 중요한 것으로 판단된다. 저수지형 호수의 경우, 가지형 호수에 비해 유역면적은 작지만 작은 호수용량과 호수면적을 가짐으로서 D/L비, 총면적/호수용량비가 상대적으로 큰 값을 나타내고 있어 가지형 호수에 비해 높은 생산성이 유발될 유역환경특성을 지니고 있다.

3.2. 水理 水門學的 因子

호수의 수질과 생산성에 영향을 미치는 인자중 수리 수문학적 특성은 대단히 중요하다. VOLLENWEIDER의 경우 호수의 년평균 인농도를 예측하는 경험적 인모형의 작성시, 호수의 평균수심과 체류시간 그리고 인부하량을 독립변수로 이용하여 하나의 통계적 모형식을 개발한 바 있다(OECD, 1974).

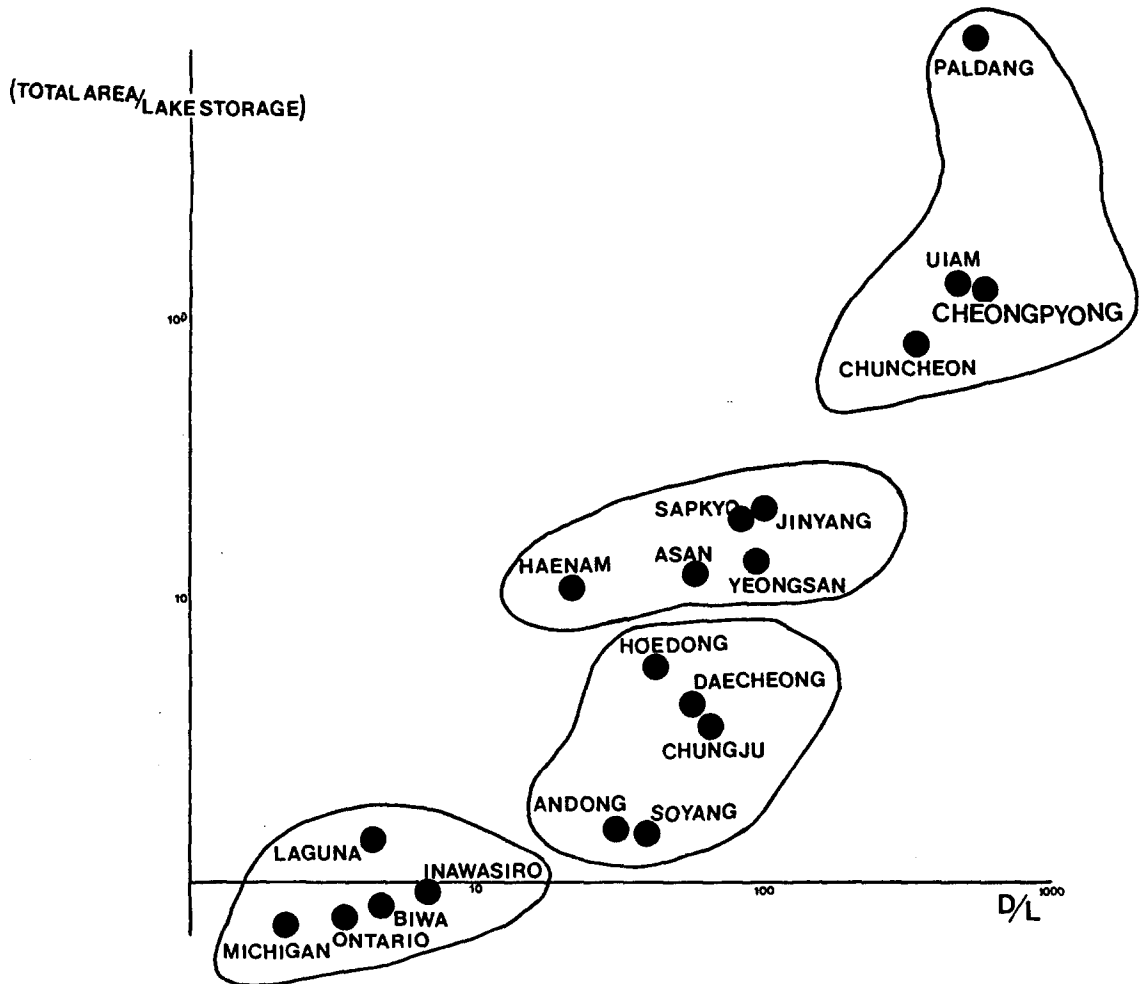


Fig. 2. Diagram of D/L vs. total area/storage in man-made and natural lakes.

이처럼 수리 수문학적 인자는 호수의 생산성을 파악하는 데 중요한 역할을 담당하고 있으며 그 인자로는 수심, 체류시간, 표수층과 심수층의 용량, 총 및 유효 저수용량, 수리학적 혼합 정도 및 크기등이 있다. 국내 호수군에 따른 수리학적 체류시간의 특성은 팔당호, 의암호, 춘천호, 청평호가 하천형 호수(river-like lake)로 5일~17일 정도의 짧은 수리학적 체류시간을 가지며, 가지형 호수인 대청호, 충주호, 안동호, 소양호 등은 5개월에서 약 1년 정도의 체류시간을 가진 호수로 구분할 수 있어 큰 차이를 보여주고 있다. 다음 Table 3과 Fig. 3은 국내 인공댐호의 수리 수문학적 특성을 나타내고

있다.

Fig. 3은 체류시간과 호수용량을 도시화한 것으로 일반적 호수의 특성이 호수별로 체류시간과 호수용량이 지수적으로 증가하고 있음을 보여주고 있어, 호수 생산성에 반비례로 미치는 인자들이 비례적 관계를 유지함으로써 상호 보합적인 관계를 나타내고 있다. 따라서 국내 인공호는 외국의 자연호수에 비해 낮은 수심과 작은 저수용량으로 높은 생산성을 유발할 수리 수문학적 특성을 지니고 있으며, 반대로 짧은 체류시간으로 인한 호수 생산성의 억제도 동시에 이루어지는 특성을 지니고 있다.

Table 3. Hydrologic factors of man-made & natural lakes

Lake names	Mean depth (M)	Volume (10 ⁶ M ³)	Retention time (year)
Daecheong	20.40	1,025	0.470
Soyang	25.70	1,900	0.950
Chungju	28.40	1,789	0.480
Andong	19.82	1,200	0.52
Jinyang	5.80	109	0.085
Paldang	6.70	244	0.015
Uiam	4.70	80	0.011
Cheongpyeong	4.72	83	0.027
Chuncheon	4.26	61	0.047
Yeongsan	7.31	253	0.100
Asan	5.10	142	0.070
Sapkyo	4.20	84	0.150
Haenam	2.10	17	0.600
Hoedong	11.60	16	0.128
Biwa	41.00	27,500	5.500
Inawasiro	37.00	3,860	3.800
Laguna	3.60	3,260	0.960
Michigan	84.60	4,871,000	99.100
Ontario	86.00	1,638,000	7.900

* Lake volume is effective volume

* All data is criteria of yearly mean

국내 인공호수의 유역특성인자와 수리 수문학적 인자간의 상호 연관성을 파악하기 위하여 호수 유입유량(Qin)의 간접척도인 유역면적(D)과 호수용량(V)의 간접척도인 호수수표면적(L)의 비(D/L)를 통하여 수리학적 체류시간(T=V/Qin)과의 상관성을 파악한 결과 다음 Fig.4와 같이 높은 상관성을 나타내어 국내 인공호수의 체류시간이 유역면적 대 호수용량의 비로 나타낼 수 있었다.

4. 結 論

본 연구에서는 국내 인공댐호를 4가지 호수군으로 구분하였고, 그 물리적 환경인자를 유역특성인

자, 수리 수문학적 인자로 구분하여 하구형 호수를 제외한 3가지 호수군에 대하여 파악하였다.

유역특성인자로는 유역면적 대 호수면적의 비, 총면적(유역면적과 호수 면적의 합) 대 호수저수량의 비를 각 호수종류별로 파악하였으며, 자연 호수에 비해 국내 인공호수가 넓은 유역면적을 지니고 있음이 밝혀졌고 국내 인공호수중에서도 하천형 호수, 저수지형 호수, 가지형 호수순으로 넓은 유역면적을 지니고 있었다. 따라서 국내 인공호수들은 높은 영양염류 부하량으로 빠른 시간내에 부영양화될 가능성이 있음을 알수 있었다.

수리 수문학적 인자로는 평균수심, 저수용량, 수리학적 체류시간을 고찰하였으며 자연호수가 국내

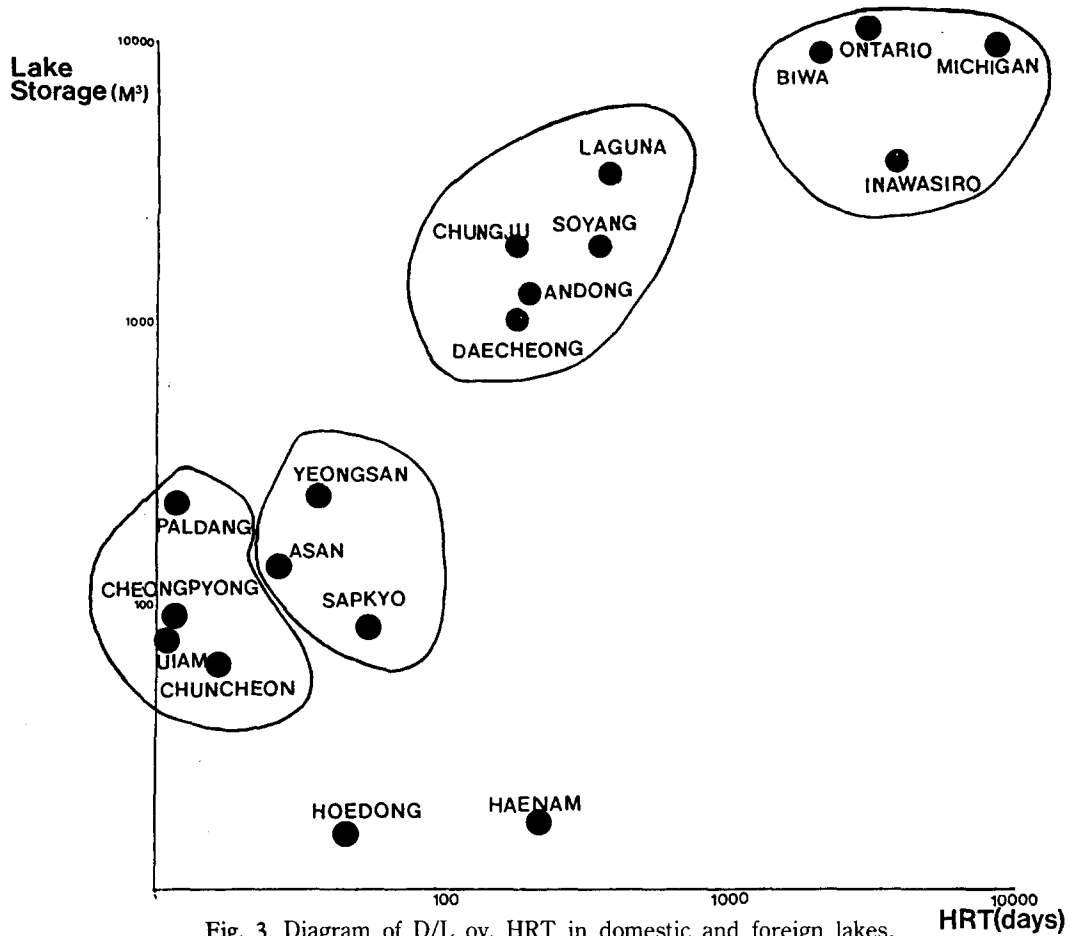


Fig. 3. Diagram of D/L ov. HRT in domestic and foreign lakes.

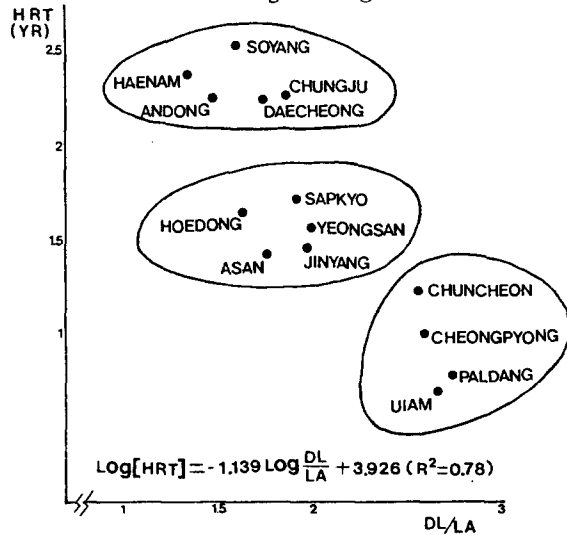


Fig. 4. Diagram of HRT vs. storage in man-made and natural lakes.

인공호수에 비해 긴 체류시간과 큰 저수용량을 갖고 있었다. 따라서 국내 인공호수들은 작은 저수용량과 낮은 수심으로 조류의 높은 생산성이 유발될 특성을 갖는 반면, 자연호수에 비해 짧은 체류시간을 가짐으로서 조류생산성을 억제하는 물리적 특성을 동시에 갖고 있었다.

결론적으로 유역특성인자와 수리 수문학적 인자를 동시에 고려해 볼 때, 하천형 호수는 자연 호수에 비해 넓은 유역면적으로부터 영양염류가 유입되고 높은 수리학적 유출율로 영양염류가 유출됨으로서 부하량에 비해 조류의 과다 번성이 억제되는 환경 특성을 지니고 있었다. 가지형 호수의 경우는 자연 호수에 비해 넓은 유역면적을 가져 높은 영양염류

부하량이 예상 되었고, 하천형 호수에 비해 긴 체류시간을 지남에 따라 조류의 성장능력이 더욱 커지는 특성을 갖고 있었다. 그러나 체류시간의 경우, 자연호수가 긴 체류시간을 지남에 따라 국내 인공댐의 조성으로 생긴 호수에서는 상대적으로 조류의 과다번성이 억제되는 특성을 아울러 지니고 있다. 저수지형 호수의 경우는 모든 물리적 환경인자가 하천형 호수와 곁가지형 호수의 중간위치를 점하고 있었으며 자연호수와는 큰 차별성이 확인 가능하였다.

따라서 위에서 살펴본 인공호의 물리적 환경인자들은 비록 영양상태와 호수생산성에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대한 정량적인 연구결과는 아닐지라도 자연 호수에 비해 국내 인공호수가 현격한 물리적 환경특성을 갖고 있음이 확인되었으며 연구방법론상 임의로 구분하였던 국내의 3가지 인공호수군의 차별성이 확인 가능하였다.

參考文獻

- 국립환경연구원, 1983, 호소수의 부영양화에 관한 조사연구.
국립환경연구원, 1989, 하천 및 호수수질의 최적화 방안.

- 산업기지개발공사, 1987, 다목적 댐 저수지 수질 조사 보고서.
한국수자원공사, 1988, 댐저수지 오염부하량에 관한 조사연구
환경청, 1986, 전국환경보전 장기종합계획사업 수질부문보고서.
호수수질연구소, 1991, 호수분야연구논문초록집.
Brylinsk, M. and K.H. Mann, 1973, An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. & Oceanogr.*, vol.18.
Fee, Everett J., 1979, A relation between lake morphometry & primary productivity & its use in interpreting whole-lake eutrophication experiment. *Limnol. & Oceanogr.* vol.24
Lake Biwa Research Institute & International Lake Environmental Committee, 1989, DATA BOOK OF WORLD LAKE ENVIRONMENTS, International Lake Environmental Committee.
OECD, 1982, Eutrophication of waters monitoring, assessment, and control, OECD.
Richardson, Jonathan L., 1975, Morphology & Lacustrian productivity, *Limnol. & Oceanogr.*, Vol. 20.