

〈ISE 수자원학회 특별호 논문〉

수질모형실험을 통한 인공수로와 호수에서 흐름유발시설 효과검증
및 적용방법에 관한 연구The Effect and Application of Flow Induction Machine in
Artificial Canal Way and Lake through Water Quality Model Test

최 계 윤* / 김 동 언** / 윤 근 호*** / 한 만 신****

Choi, Gye Woon / Kim, Dong Eon / Yoon, Geun Ho / Han, Man Shin

Abstract

The objective of this study is to investigate the water pollution problems brought about by the construction of eco-friendly waterfront space through the physical model experiment including water quality consideration. Due to the lack of water supply into the artificial ponds and canals, the water quality problems such as eutrophication, odor and so on can be occurred. There have been many numerical models on such phenomena but limited studies using physical test due to the difficulty in the verification of physical interpretation of the study area. In this study, a prototype model that is not affected by the dimensionless parameters was carried out, where unpolluted water is mixed into the contaminated water to reduce the concentration of nutrients. In addition, this study also attempt to find the optimal configuration of the flow induction machines using the scale model which will evaluate and verify the effectiveness of the enforcement methods to maintain the water quality objectives.

Keywords : artificial canal way, flow induction machine, water quality model test, eutrophication

요 지

본 연구는 인공수로 또는 인공호수와 같은 환경 친화적 친수공간이 건설됨에 따라 발생하는 수질오염 문제를 수질모형실험을 통해 해소할 수 있는 방법을 연구하였다. 호소수의 개념으로 도입되는 인공수로 및 호수는 제한된 수량 공급으로 인해 수질악화, 악취발생 및 녹조 현상이 일어날 수 있다. 하지만, 이러한 현상을 예상할 수 있는 방법은 수치해석으로만 의지해 왔고 물리적 해석에 의한 검증이 이뤄지지 않아 실제 적용에 대한 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 오염된 물과 오염되지 않은 물이 서로 희석되어 영양염류의 농도를 낮추는 현상에 착안하여 원형과 모형의 상사에 영향을 받지 않는 무차원의 물리적 수질모형실험을 실시하였다. 또한 수체 내에서 흐름을 인공적으로 발생시키는 흐름유발기기의 효과 검증과 적용방법을 연구하여 목표수질을 유지할 수 있는 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 인공수로, 흐름유발시설, 수질모형실험, 부영양화

* 교신저자, 인천대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: gyewoon@incheon.ac.kr)

** (주)수성엔지니어링 수력부 사원 (e-mail: a30110@naver.com)

*** 인천대학교 토목환경공학과 석사과정 (e-mail: gnho84@naver.com)

**** (재)국제도시물정보과학연구원 선임연구원 (e-mail: 8190hansman@hanmail.net)

1. 서론

최근 국민소득의 증가와 삶의 질의 중요성이 대두되면서 친수공간 조성에 관한 관심이 증대되고 있어 인공수로 또는 인공호수와 같은 환경 친화적 친수공간이 많이 건설되고 있지만, 호소수의 개념으로 도입되는 인공수로 및 호수는 제한된 수량 공급으로 인해 수질악화의 우려가 있으며, 악취발생 및 녹조 현상이 일어날 수 있다. 또한, 기존의 한국에 건설된 다양한 규모의 연못과 호수는 대부분 심각한 부영양화 상태에 있고 부영양화로 인한 녹조 현상은 호소의 미관과 친수환경을 저해시켜 이용객들에게 새로운 공해가 되기도 한다. 하지만, 호소수의 수질관리에 대한 연구는 아직까지 미흡하며 적절한 연구 방법도 없는 실정이다.

일반적인 호소의 흐름은 극심한 저유속을 가지고 있어 단순 흐름이 아닌 여러 방향성을 복잡한 흐름 특성을 가지고 있다. 또한 흐름의 특성이 명확하지 않아 정립된 이론과 연구방법이 수질분야가 대부분이며 도시의 호수 보다는 댐 건설로 인한 저수지 등의 연구가 현재까지 진행되었다. 하지만 사람들과 많이 접하게 되는 도심지역의 인공호수에 대한 문제가 발생하면서 여러 수질개선 기술이 개발되고 있지만 영향에 대한 구체적인 범위, 효과 등에 대해서는 아직까지 명확하게 정립되지 못하였다. 따라서, 본 연구와 직접 관련된 연구 성과는 거의 미미하기 때문에 수리모형실험과 호소수의 흐름에 대한 기존의 연구 사례를 중심으로 언급하였다.

수리모형실험은 실험과 상사로 되어 있는 모형에 물을 흘려서 실험과 똑같은 수리현상을 얻음으로써 목적에 부합한 결과를 획득하기 위한 연구의 방법이다. 즉, 복잡한 자연현상을 예상할 수 없는 경우 상사법칙에 따라 수류를 상·하류부에 있어서 경계조건에 맞는 물을 흐르게 하여 실험의 축척으로 된 흐름이 모형에 생기도록 만드는 것으로 호안과 수리, 수문, 분류와 합류, 유수지, 사행 등에 적용되어 원형의 현상을 예상하는 것이다. 수리모형실험의 적용성에 관하여 살펴보면 다음과 같다.

수리모형실험에서는 하상 조도의 영향이 매우 중요한데 김기형 (2004)은 수로의 불규칙성은 유변의 변화와 수로의 연한 종단면 크기의 형상의 변화를 포함하는 것으로서 일반적으로 점진적이고 균일한 변화는 조도계수에 큰 영향을 주지 않는다고 하였다. 이 외에도 김창완 (2002), 박용섭 (2003), 황영만 (2009) 등에 의하여 수리모형실험으로 흐름 특성에 대한 연구는 많이 진행되었지만, 흐름의 제한이 있는 인공 호수 개념의 공간에는 수리모형실험에 대한 연구가 아직은 이뤄지지 못하고 있다.

국내에는 다양한 규모의 연못 또는 호소가 있으나 대부

분이 심각한 부영양화 상태에 있으며, 도심지에 위치한 친수용 연못 등의 얇은 호소에서는 영양물질이 다량 함유된 대기 중의 분진, 우수 및 이용자의 오염물질 투기 등으로 호소의 미관과 친수환경을 저해시키고 있다. 실제로 일부의 친수용 호소를 제외하고는 대부분의 친수용 인공호수를 조성하면서 수질을 정화할 수 있는 시설을 건설하지 않음으로써 부영양화가 필연적으로 발생할 수밖에 없는 상황이다. 또한, 인공호소에 수질 보전 또는 개선을 위한 기술개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 호수의 일반적인 현상을 연구한 사례에서 백용욱과 안윤주 (2008)는 도시지역에서 인공적으로 조성된 호수들은 도시민의 휴식과 레크리에이션 공간으로 활용되고 있으며, 수자원의 확보를 위해 도시에서 떨어진 지역에 건설된 대규모 인공호수와는 달리 도심의 소형 인공호수는 저류용량이 적고 체류시간이 길다는 특성을 가지고 있다고 한다. 특히, 도심의 대기 오염으로 인해 오염된 침적물의 낙하나 산성강우는 도시 인공호 내 퇴적물에서 영향을 미치는데, 대기 중 입자상물질에 흡착된 중금속들은 강우와 함께 호수에 유입되고 수체의 부유입자에 다시 흡착, 침전됨으로써 최종적으로 퇴적물에 축적된다.

지재성 (1997)은 인공적으로 조성된 일산호수에 대하여 저류용량에 비하여 유입용량이 적어 유입수의 체류시간이 50~100일 이상으로 매우 긴 편이며, 하천으로부터 취수되는 유입수의 수질 불안정 및 대기 중으로부터 유입되는 오염물질량이 상당할 것으로 예측하여 수질관리에 있어 여러 가지 변화 인자가 복합적으로 작용할 것으로 판단하였다. 따라서, 현재 설치된 수처리 시설만으로는 부영양화 발생 등과 같은 수질확보의 제반문제를 모두 해결하기 어려워 지속적인 기초조사와 관련 실험연구를 통한 합리적인 대안의 도출이 필요하다고 하였다.

Lorenzen and Fast (1977), Davis (1980)는 조류의 성장을 위하여 태양에너지와 영양염류가 가장 중요한 두 가지의 제한 인자로 정의하였다. 호수가 충분히 혼합될 경우, 조류가 태양에너지에 노출되는 시간이 작아짐에 따라 성장이 억제될 수 있다고 보았으며, 인공순환 장치를 설계하는데 있어서 가장 중요한 사항은 장치가 호수에 충분한 혼합을 제공할 수 있어야 한다는 것이고, 설계기준은 경험적인 방법 또는 이론적인 방법을 사용한다고 하였다.

Gray et al. (2002), 최광순 (2008)은 수체의 혼합이 제한되는 환경특성을 가지는 기수역의 호수에서는 오염물질이 쉽게 퇴적되고, 물의 정체에 의해 조류의 대량증식현상과 유기퇴적토의 분해에 의한 용존산소의 고갈현상이 쉽게 나타난다고 한다. 이러한 이유로 미국, 일본 등 선진국에서는 부영양화 문제를 하천수질관리의 중요한 과제로 인식하여 환경조사 지침서를 제작하고, 수질개선기법

을 개발하는 연구를 진행하고 있다.

권순국 (2006), Kramer and Brockmann (1994), Kennish (2000), Orive (2002)는 저수지 또는 담수호로 유입되는 과잉의 영양염의 부하와 함께 산소 소비를 요구하는 유기물, 유사 또는 유해물질이 유입되어 조류 이상증식 및 기타 여러 가지 문제를 일으키고 있으며, 이러한 해결 방법으로 영양염 발생원의 삭감, 희석의 증가, 영양염 부하를 대폭 감소시키는 호수 내의 조치 등을 제안하였다. 이 중 호수 내의 조치는 인위적인 호수 순환을 통하여 호수 하층부의 물과 상층부의 물을 자연스럽게 순환시켜 물속의 용존산소를 증가시키고 호기성 박테리아의 활동 영역을 크게 넓혀 호수의 수질개선 효과를 일으킨다고 한다. 구체적인 효과로는 용존산소의 증가, 성층현상의 개선, 인 등의 용출감소, 총질소 감소, 녹조현상의 제어, 슬러지발생의 감소, 병원균류의 억제, 악취 제거 등으로 각각의 효과들이 서로 상호연관 되어 호수의 물리적, 화학적, 생태적 조건에서 자연의 정화능력을 극대화시키는 것이다.

적용분야로는 일반저수지, 담수호수, 담수 양식장, 도시공원의 인공호수, 음용 수원지, 하천의 정체수역, 운하 등의 수질개선을 위해서 사용되고 있으며 충남 당진 면천저수지 (2008년), 경남 밀양 가산 저수지 (2008년) 등에서 적용하고 있다.

본 연구에서는 수량공급체계가 한정되어 있어 자정작용이 어렵고 흐름의 정체로 인한 사수부가 발생하는 인공수로 및 호수에 흐름유발시설을 도입하여 기기의 효과 검증과 적용방안에 대하여 수질모형실험을 통해 연구하였다. 대상지역은 인천 청라국제도시의 주운수로 (3.7 km)와 중앙호수 (2km)를 대상으로 Froude 상사법칙을 이용하여 수평축척 1/75, 연직축척 1/15의 왜곡도 5인 모형으로 제작하였다.

수질모형실험은 오염이 덜 된 물을 오염된 호수에 혼합하여 영양염류의 농도를 낮추는 희석의 개념으로 진행하였으며, 무차원 희석률을 시간의 상사에 적용하여 흐름유발시설 설치에 대한 효과와 적용방법을 연구하였다.

2. 흐름에 대한 지배방정식

호수는 수심이 작고 연직방향의 흐름이 매우 작으므로 복잡한 흐름을 이해하기 위해서는 수평방향의 2차원 모형이나, 3차원 모형이 요구된다. 3차원 모형은 실제의 흐름 현상에는 잘 부합되나 실무에 적용하기에는 상당한 시간과 노력이 필요하다.

비압축성 점성 유체의 운동을 나타내는 지배 방정식인 3차원 Navier-Stokes 방정식을 2차원으로 하기 위해서는 다음의 가정을 하고 식을 유도한다. 즉 흐름의 연직 유속성

분과 가속성분을 무시하고, 연직방향의 속도 구배와 밀도구배는 아주 작으며 압력분포는 정수압분포로 가정한다. 또 바람에 의한 영향이나 지구 자전에 의한 영향을 무시하며 깊이 따른 변동 성분을 표현할 때에는 평균치로 대표한다.

물을 비압축성이라 가정하면 밀도 ρ 가 일정할 때 Navier-Stokes 운동량 방정식의 2차원적 표현은 Eqs. (1a), (1b)와 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{1}{\rho h} Z_{bx} - \epsilon \nabla^2 u = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial y} + \frac{1}{\rho h} Z_{by} - \epsilon \nabla^2 v = 0 \quad (1b)$$

여기서, u, v 는 수심방향에 평균된 $x-, y-$ 방향의 유속성분이며 수심 n 과 h 는 아래의 그림의 좌표계에서와 같이 임의 기준면에서부터 수면까지의 거리와 임의 기준면에서 하상까지의 거리를 각각 나타낸다. 또, ρ 는 물의 밀도, t 는 시간, g 는 중력가속도, ϵ 는 와점성계수, c_c 는 흐름방향의 절대속도성분을 나타내고 $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 이다.

앞의 가정에서 지구자전에 의한 힘을 나타내는 Coriolis force 항이 생략되었고 Z_{bx}, Z_{by} 는 각각 x, y 방향의 하상마찰용력 항으로 표현된다.

$$Z_{bx} = \frac{gu}{(h+n)c_c^2} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2a)$$

$$Z_{by} = \frac{gv}{(h+n)c_c^2} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2b)$$

따라서, 수체 단위체적에서 질량보존을 나타내는 2차원 연속방정식은 Eq. (3)과 같다.

$$\frac{\sigma H}{\sigma t} + \frac{\sigma(H_u)}{ex} + \frac{\sigma(H_v)}{\sigma y} = 0 \quad (3)$$

여기서, H 는 수심으로 $H=h+n$ 이다.

3. 수질모형실험 장치 제작 및 실험 방법

3.1 모형의 제원과 실험 조건

본 연구대상지역인 청라지역은 개발 중인 중앙부를 사이로 북쪽에는 공촌천, 남쪽으로는 심곡천이 흐르고 두 하천을 연결하는 남북수로 및 동서수로로 구분되어 진다.

수질모형실험 대상지역의 제원은 인공호수 (2km)와 인공수로 (3.7 km)로 구성되어 있으며, 총 담수량은 387,000 m^3 으로 물순환시스템을 이용하여 수질을 보전하도록 되어 있다. 물순환시스템은 인공호수의 2곳에 위치한 취수시설에서 15,000 m^3 /일의 물을 취수하여 수질정화시설을 설치하여 수질을 개선하고, 1,000 m^3 /일은 증발량 등에 대한

손실유량 보충한다. 외부에서 총 16,000 m³/일의 깨끗한 유량을 인공수로의 8곳으로 각 2,000 m³/일씩 공급하여 유입시킨다. Table 1은 대상지역에 건설되는 인공수로 및 호수의 제원을 나타내고 있고, Fig. 1은 대상지역의 계획 평면도와 물순환체계 개념도를 나타낸다.

청라지구 수리모형 실험의 모형은 흐름을 지배하는 가장 큰 인자를 중력의 영향을 받는 개수로의 흐름으로 보고 Froude 상사 법칙에 따라 수평축척 1/75, 연직축척 1/15, 왜곡도 5인 모형으로 설계하였다. 수평축척과 수직축척이 다른 왜곡모형을 사용하는 이유는 실험 시에 일정 정도 이상의 수심을 확보하여 수심이 작은 경우에 발생하는 층류발생, 표면장력의 영향, 유속측정 문제 등을 방지하기 위하여 사용하였다. 본 실험의 모형에 축척을 사용하는 경우 동서수로의 수심은 6.7 cm, 수로폭은 10~13 cm가 되고, 남북수로는 수심 1.3~6.7 cm, 수로폭 5~8 cm, 중앙호수는 수심 10 cm로 산정된다.

원형의 취수시설과 물을 공급하는 수경시설은 모형에서 각각의 위치에 유량계와 밸브를 장착하여 필요유량을 조절할 수 있도록 설계하였다. 취수용량은 원형과 모형의 축척비에 의하여 2곳의 취수구에서 0.00256 m³/min의 유

량을 취수하고 8곳의 수경시설에는 각 0.00032 m³/min의 유량이 공급된다. 본 모형에서는 원형에서의 일 증발량을 취수량에 포함시켜 취수량과 증발량을 합한 값으로 취수량을 결정하였다. Table 2는 모형의 제원을 나타내고 있으며, 모형의 길이 49.3m, 수로 폭 10~13cm, 수심 6.7cm로 하여 제작하였다.

본 연구에서 사용된 희석의 개념은 오염이 되지 않은 맑은 물을 오염된 호수에 혼합함으로써 영양염류의 농도를 낮추는 방법을 선택하였으며, 깨끗한 물의 공급을 통한 희석은 영양염류의 농도저하를 통해 수질상태를 양호하게 유지할 수 있고, 흐름유발시설은 수체 내 유속을 빠르게 하여 체류시간을 짧게 하고 바닥으로의 침전물을 감소시킴으로써 영양염류의 축적을 감소시키는 효과를 발생시킨다.

호수의 희석에 의한 수질개선 효과를 검증하기 위하여 목표희석률을 결정하였으며, 초기담수 수질과 처리수 수질의 혼합으로 목표수질에 도달할 수 있는 희석률의 기준을 설정하였고, Fig. 3에서 보는바와 같이 목표수질에 도달하기 위한 필요 희석률의 개념을 나타내었다.

Table 3은 연구대상지역의 초기담수 수질과 처리수가

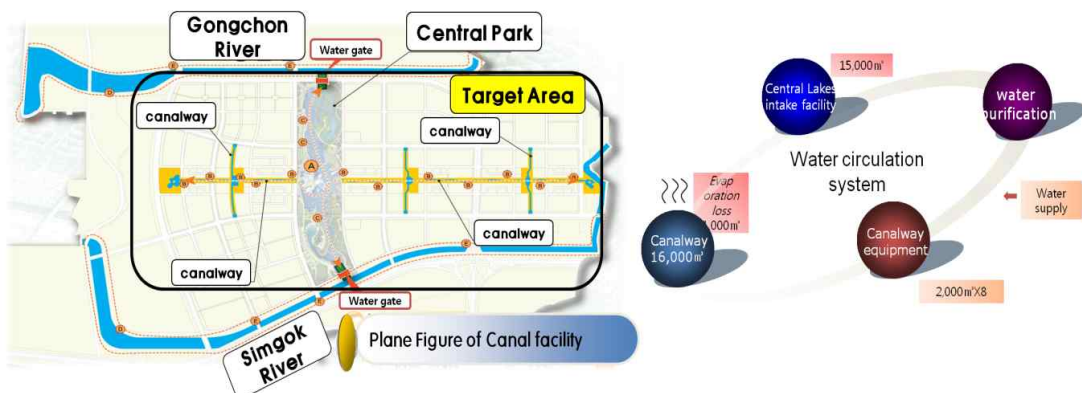


Fig. 1. Plane Figure of Canal Facility and Concept of Water Circulation System

Table 1. Specification of Real Target Area

Division	Length (km)	Width (m)	Water depth (m)	Volume (m ³)	Amounts of intake (m ³ /day)	Amounts of evaporation (m ³ /day)	Amounts of supply (m ³ /day)
The Canal way	3.7	9~10	1.0	70,000	-	1,000	16,000
The Central lake	2.0	400	1.5	317,000	15,000		-

Table 2. Specification of Scaled Model

Division	Length (m)	Channel width (cm)	Water depth (cm)	Volume (m ³)	Intake flow (m ³ /min)	Evaporation (m ³ /min)	Supply (m ³ /min)
Canal ways	49.3	10~13	6.7	0.73	-	No consider	0.00032 × 8
Central lake park	26.7	5.3	10	3.86	0.00256		-

희석됨에 따라 낮아지는 영양염류의 농도가 목표수질농도에 도달하기 위하여 필요한 처리수의 희석률을 산정한 것이다. Table 3에 나타나 있는 수질 항목 중에서 COD는 초기담수 및 처리수 모두 목표수질을 만족시키기 때문에 고려하지 않았으며, 호수의 부영양화에 가장 큰 영향을 미치고 초기 담수 및 처리수의 농도가 다른 항목에 비하여 좋지 않은 T-P를 기준으로 목표희석률을 설정하였을 때,

66.7%로 산정되었다.

목표희석률에 도달하기 위한 시간의 결정은 국내·외 유사한 인공호수의 물갈이 시간을 기준으로 결정하였다. Table 4는 본 대상지역과 유사한 시설의 물갈이 시간을 나타내고 있으며, 본 연구대상지역이 다른 지역에 비하여 목표 T-P의 설정이 높고 다른 호수들에 비해서 물갈이 시간이 짧음을 알 수 있다. 이는 기존의 호수들이 조류의

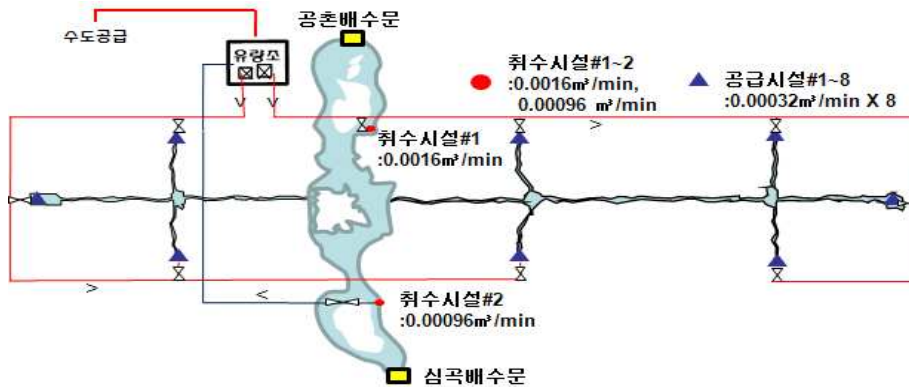


Fig. 2. Water Circulation System of a Scale Model

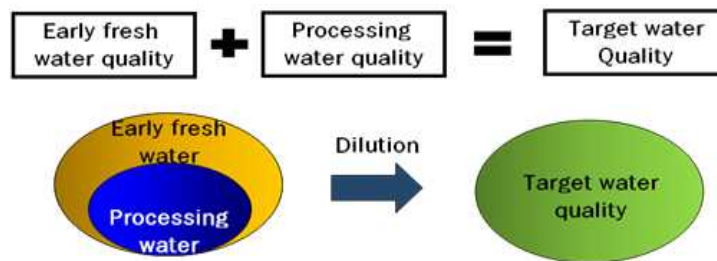


Fig. 3. The Concept of Dilution

Table 3. Dilution Rate to Reach in Target Quality of Water Target Area

	Target quality of water	Early fresh water quality of water	Processing quality of water	Ratio of dilution
COD(mg/l)	5.00	3.80	3.00	0%
T-P(mg/l)	0.03	0.05	0.02	66.7%
SS(mg/l)	5.00	7.70	3.00	41.7%
Chl-a(mg/m ³)	14.00	21.30	7.00	49.0%

Table 4. Comparison of Cycle Time with other Artificial Lakes

	Volume (m ³)	Cycle Volume (m ³ /day)	Cycle Time (day)	Target T-P (mg/l)
Target area	387,091	16,000	24.2	0.030
Ilsan lake park (Korea)	453,000	6,500	69.6	0.030
Bundang central park (Korea)	26,000	430	60.5	0.050
Sangdong lake park (Korea)	27,000	1,000	27.0	0.025
Gokyo kaien (Japan)	450,000	20,000	22.5	-

과다 발생으로 인한 심미적 불쾌감 및 이용객의 호소수질 불만족도가 높아 물갈이 시간을 짧게 설정함으로써 수질 개선을 도모하기 위한 방법이다. 본 연구에서 도입된 목표회석률의 도달시간은 원형의 물갈이 시간인 24.2일로 설정하고 이는 모형에서 30시간으로 환산되며, 흐름유발 시설을 통하여 모형의 30시간 내에 목표회석률 66.7%를 만족할 수 있도록 설치 개수의 범위를 결정하여 설치하였다.

3.2 실험기기의 검증 및 실험방법

흐름유발시설에 대한 모형은 소형모터를 이용한 수류 발생기와 수중펌프를 설치하여 원형에서의 기기 영향범위를 모형으로 환산하여 동일한 조건으로 흐름을 유발할 수 있게 하였다. 흐름유발시설의 원형에서 제시하고 있는 영향범위는 10 m 이내에서 0.1 m/s 이하의 유속을 발생시켜야 하는데 이를 모형으로 환산하면 13.3 cm 이내에서 2.58 cm/s의 유속으로 산정된다. 본 조건을 만족시키기 위하여 모형 장치에 덮개를 설치하여 영향범위를 조절하였다.

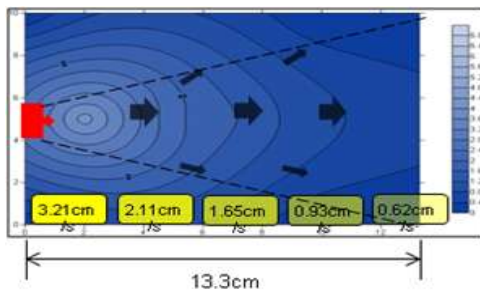


Fig. 4. Distribution of Machine

Table 5. Velocity of Machine

Machine	5 cm	13.3 cm
Current machine	2.11 cm/s	0.62 cm/s
Pump	1.46 cm/s	0.30 cm/s

으며, Fig. 4에서 보는바와 같이 13.3cm의 영향범위를 고려하였고, Table 5에서 보는바와 같이 펌프를 통하여 유속을 조절하였다.

오염된 물의 상태를 표현하고 회석에 대한 영향을 검토하기 위하여 모형수로 내에 NaCl을 투입하여 전체의 초기 농도를 균일하게 조정 한 후, 물순환시스템을 이용하여 맑은 물은 공급하여 주면서 염분이 포함된 물은 취수하여 염분 농도를 낮추는 방법을 선택하였다. 목표회석률 도달시간인 30 시간동안 실험을 진행하면서 1시간 간격으로 총 27개의 지점에서 염분농도를 측정하였으며, 시간이 지남에 따라 수질의 회석률에 대한 변화를 검토하였다. 본 연구에서 사용된 NaCl은 다른 재료에 비하여 편리성과 경제성이 뛰어나며 확산의 영향이 비교적 적어 추적자의 실험재료로 많이 사용된다 (Moore, 2003/2004). Fig. 5에서 보는바와 같이 본 연구 대상 지역의 인공호수 수질을 측정 한 27개 지점을 나타내었으며, 호수 전체에 대하여 분석이 가능하도록 선택하였다.

4. 실험결과

4.1 흐름유발시설이 없는 경우

흐름유발시설이 없고 기본 공급유량과 취수유량을 유지하였을 경우에 대하여 인공호수 내의 회석률을 살펴보

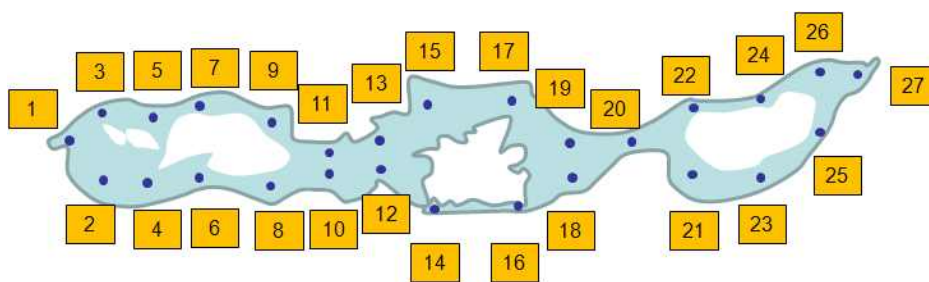


Fig. 5. Measurement Points in Central Lake

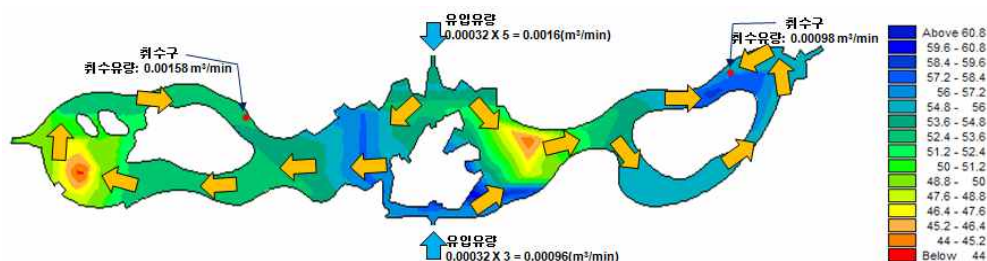


Fig. 6. No Machines in the Lake and Artificial Flow Direction

면 44~61%로 측정지점 마다의 편차가 크게 나타나는 것을 알 수가 있다. 희석률이 적게 나온 구간을 살펴보면 Fig 6에서 보는 바와 같이 동일한 구간 내에 하폭이 커서 수면적이 상대적으로 넓은 지역이나, 취수시설 또는 유입부로부터의 거리가 멀리 떨어져 흐름에 영향을 적게 받는 구간에서 희석률이 낮게 나타났다. 대상지역에서 흐름을 촉진하기 위하여 흐름유발시설을 설치하는 경우 유입되는 유량이 취수되는 방향으로 흐름방향을 결정하였고, 수면적과 흐름 상태를 고려하여 설치하였다.

Fig. 7은 30시간 동안의 희석률 측정값을 나타내고 있

으며, 시간이 지남에 따라 9시간부터 21시간 사이의 효과가 크게 나타났다.

4.2 흐름유발시설이 있는 경우

흐름유발시설의 설치가 없는 경우의 결과를 바탕으로 인공수로에서 공급된 물이 호수내의 전 구간을 통과하여 취수시설로 유입될 수 있도록 인공의 흐름방향을 정하고 흐름유발 기기를 12개, 16개, 20개로 설치 한 경우에 대하여 희석률 변화를 검토하였다. Fig. 8~10은 각각의 개수에 대하여 시설 설치 모습을 보여주고 있다.

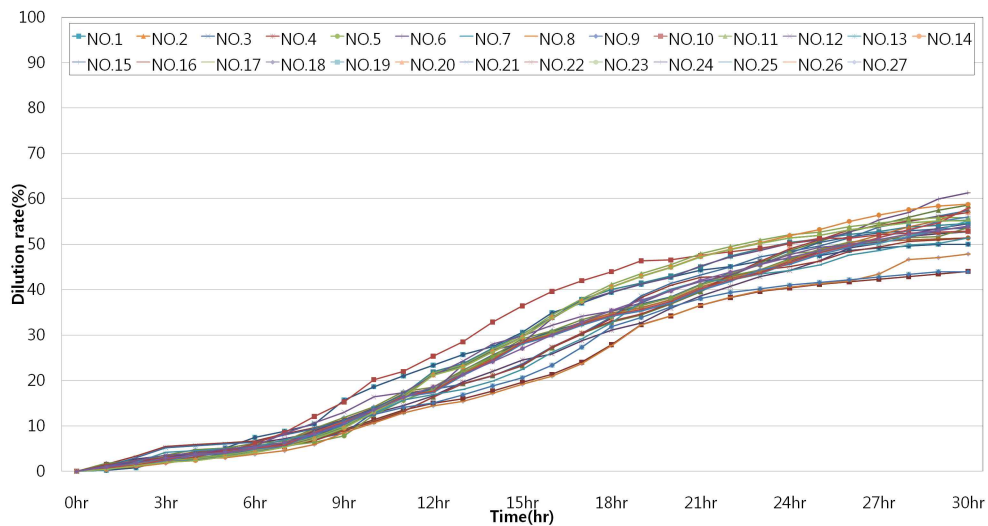


Fig. 7. Dilution Rate by Each Time when There's No Machine



Fig. 8. Location of Flow Machine (12 ea)



Fig. 9. Location of Flow Machine (16 ea)

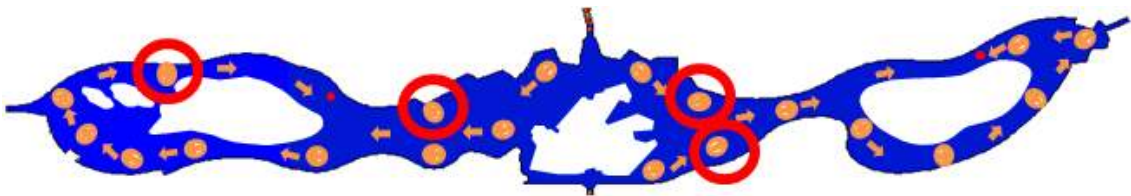


Fig. 10. Location of Flow Machine (20 ea)

실험의 순서는 12개 설치 후의 결과 값을 바탕으로 희석률이 낮은 지점에 흐름유발시설을 추가하며 16개, 20개

의 순으로 실시하였다. 각 실험의 희석률 측정값은 아래의 Fig. 11~13까지와 같다.

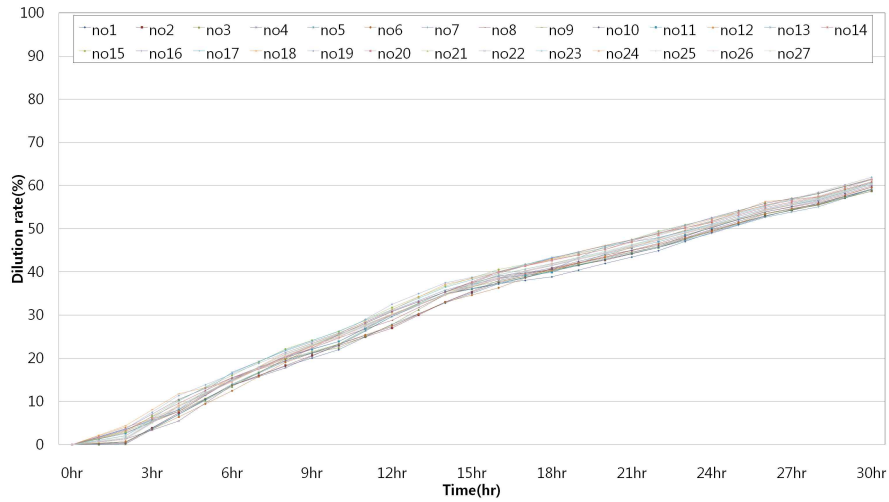


Fig. 11. Dilution Rate in Central Lake (12 ea)

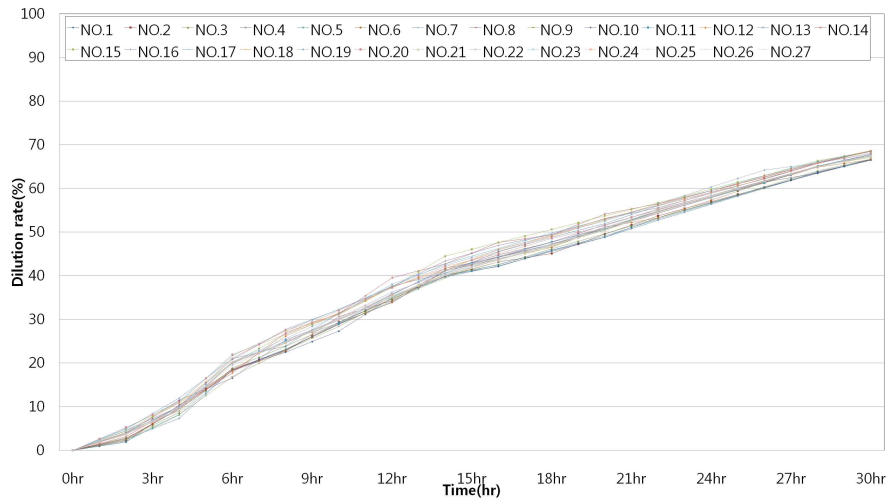


Fig. 12. Dilution Rate of Central Lake (16 ea)

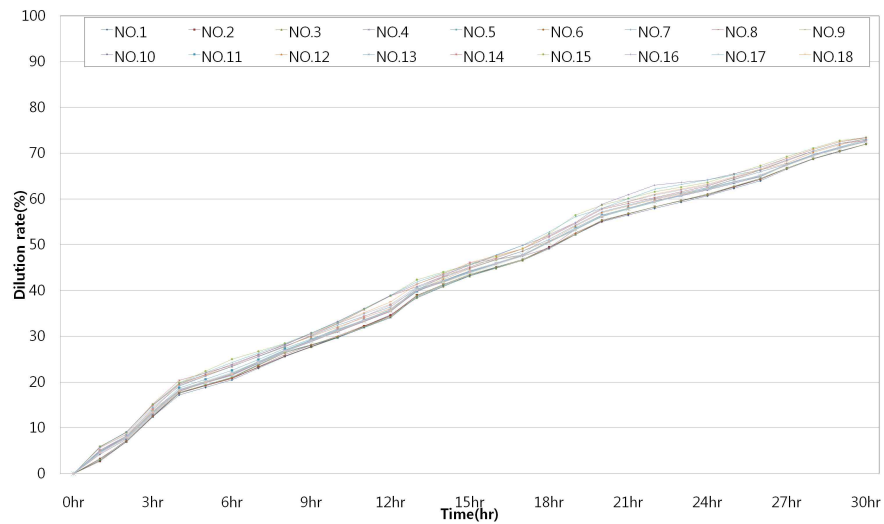


Fig. 13. Dilution Rate of Central Lake (20 ea)

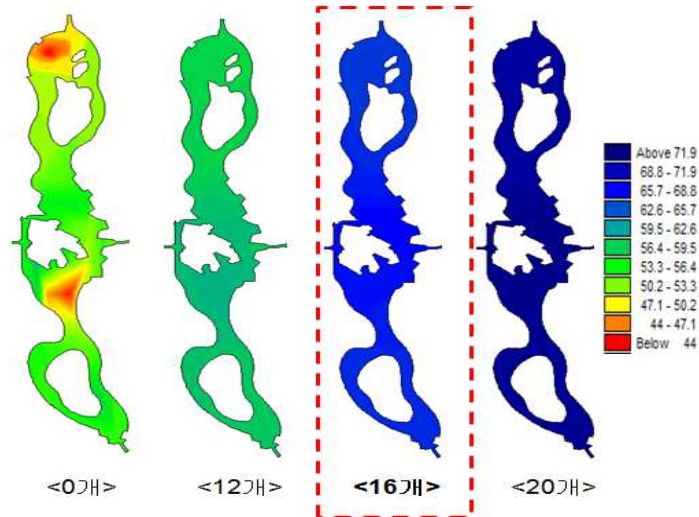


Fig. 14. Distribution of Dilution Rate on Each Case

Fig. 11에서 보는 것과 같이 시설 12개를 설치한 경우 30시간 이후의 희석률은 전 지점에서 59~62%까지 균일한 값을 나타내었으며 흐름유발시설이 없는 경우보다 측정지점에서의 희석률 편차가 작게 나타났다. Fig. 12은 16개를 설치한 경우를 보여주고 있으며, 66~68%의 희석률을 나타내고 있고, Fig. 13은 20개가 있는 경우에 72~73.5%의 희석률을 나타내고 있다.

호수 내 흐름유발 시설의 설치로 인하여 지점별 희석률의 편차가 감소하였으며, 설치 개수가 증가할수록 동일한 시간대에서의 희석률 값이 높게 나타났다.

Fig. 14는 30시간 이후 호수 내에서 희석률의 분포를 나타내며, Fig. 14에서 보는 것과 같이 시설의 개수가 많아질수록 희석률은 높게 나타나고, 특히 수면적이 상대적으로 넓은 구간의 희석률이 높아져 전 수로간의 편차가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한, 시설을 16개 설치한 경우에는 30시간 이내에 평균 희석률 67.6%로 목표희석률인 66.7%에 가장 가까운 값을 나타낸다. 따라서, 본 연구대상 지역에서는 기본 설계된 물순환체계에서 호수 내에 16개의 흐름유발시설 설치를 통해 목표수질을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 수질모형실험을 통하여 물순환체계를 가지고 있는 인공수로 및 인공호수 내 흐름유발 시설을 설치하는 경우 수질 개선 효과 및 적용방법에 관한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 본 연구에서는 호수의 오염된 물이 목표수질까지 도달하는데 필요한 목표희석률 개념과 목표희석률까지 도달하는데 걸리는 목표시간의 개념을 도입하였

으며, 호수의 부영양화에 가장 큰 영향을 미치는 T-P를 기준으로 하여 목표희석률을 66.7%로 설정하였고, 목표시간은 대상지역의 1회 물갈이 시간인 30시간으로 결정하였다.

2. 흐름유발시설이 설치되지 않은 경우에 대한 30시간 이후의 호수 내 희석률 측정값은 44~61%로 산정되었으며, 각 지점마다의 편차가 17%까지 나타났지만 흐름유발시설을 12개, 16개, 20개로 설치한 경우는 평균 희석률이 각각 60.3%, 67.6%, 72.6%로 나타났고, 그 편차도 3%에서 1.5%까지 줄어들어 물의 순환을 촉진하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구 대상지역의 흐름유발시설을 적용하기 위한 최적 설치 개수는 목표 희석률 66.7%에 가장 가깝게 나타난 16개를 설치한 경우가 적정한 것으로 나타났다.
3. 본 연구에서 제시된 물리적인 방법의 수질모형실험은 기존의 수치해석으로만 수행되어 왔던 수질모형 해석과 비교할 수 있는 물리적 모형실험 방법이며, 원형과 모형의 측정 인자관계를 증명할 수 있는 상사법칙이 없어 현재까지 시행되지 않았지만, 희석을 통한 영양염류의 농도를 낮추는 방법은 무차원의 희석률을 시간의 상사를 통해서 원형과 모형의 관계를 나타내었다.

흐름유발시설의 설치 효과는 물의 순환을 빠르게 하여 희석시간의 단축과 희석률을 높이지게 하며, 물의 교란을 발생시킴으로써 호수의 상·하 순환을 유도하여 바닥에 침전되는 침전물의 양을 줄일 수 있을 것으로 판단되어 설치방향 등에 의한 영향을 검토하는 것도 향후 연구대상이다.

참고문헌

- 권순국 (2006), “저수지·담수호의 친환경적 수질개선 방안”, **농어촌과 환경**, 한국농어촌공사 농어촌연구원, 제93호, p. 23.
- 김기형 (2004). 수중구조물 상태에 따른 하도흐름의 실험적 연구, 박사학위논문, 인천대학교.
- 김영선 (2009). “골프코스에서 강수량, 관수량 및 시비관리가 연못의 수질 변화에 미치는 영향”, **한국잔디학회지**, 한국잔디학회, 제23권, 제1호, pp. 1-8.
- 김장완 (2002), **임진강 유역 홍수피해 원인조사 및 항구 대책 수립 보고서 2권: 임진강 하류부 수리모형실험**, 건설교통부 서울지방국토관리청.
- 이요상 (2009). “저수지 물순환 장치 설계 및 평가”, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제42권, 제4호, pp. 17-21.
- 박용섭 (2003), “합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석”, 박사학위 논문, 인천대학교.
- 백용욱, 안윤주 (2008), “도심 인공치 퇴적물의 총 중금속, 용존 중금속, 생물 이용성 중금속의 연관성 규명”, **한국하천호수학회지**, 한국하천호수학회, 제41권, 제1호, pp. 66-72.
- 서울특별시 한강사업본부 (2009). **한강공원 특화사업 수리실험 보고서**.
- 성도용 (2003). **생태개념을 도입한 호수·연못 조성 길라잡이**. 한국토지공사.
- 전병호, 최계운, 정상만, 오경두 (2009). 수리학. 양서각, pp. 442-465.
- 조홍연, 조범준, 정신택 (2005). “역산이론을 이용한 연안 수질모형의 매개변수 추정”, **한국해안해양공학회지**, 한국해안해양공학회, 제17권, 제3호, pp. 149-157.
- 지재성 (2007). **부영양화호소의 수질향상을 위한 컴팩트형 조류제거 공법 개발**, 환경부.
- 최광순 (2008), “물 교환이 제한적인 시화호 상류 기수역의 부영양화”, **한국하천호수학회지**, 한국하천호수학회, 제41권, 제2호, pp. 216-227.
- 한국토지주택공사 (2009). **인천청라지구 주운시설 건설공사 실시설계보고서**.
- 한무영 (2000). “pH를 이용한 트레이서 테스트 방법의 개발”, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제1호, pp. 95-101.
- 황영만 (2009), “투수성을 고려한 도류제의 합류부 흐름 개선 효과에 관한 실험적 연구”, 박사학위 논문, 인천대학교.
- Davis (1980), “Destratification of reservoirs—a design approach for perforated-pipe composed-air systems”, *Water service*.
- Gray, J.S., Wu, R.S., and Or, Y.Y. (2002), “Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment”, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 238, pp. 249-279.
- Jennifer (2005). “Monitoring protocol for reporting impacts of salt tracer methodology on stream Biota”, *Forest Health and Monitoring Unit, Private and Community Forests Program*, Oregon Department of Forestry, Salem, OR. pp. 5-9.
- Kennish, M.J. (2000), “Estuary restoration and maintenance”, *CRC Press*. Florida.
- Kramer, K.J.M., and Brockmann, U.H. (1994), “Tidal estuaries; manual of sampling and analytical procedures” *AA Balkema*, Rotterdam.
- Lorenzen, M., and Fast, A. (1977), “A guide to Aeration/Circulation techniques for lake management”, *EPA-600/3-77-004*.
- Moore (2003/2004). “Introduction to salt dilution gauging for streamflow measurement”, *Streamline Watershed Management Bulletin*, Vol. 7, No. 4 Winter, pp. 20-23.
- Orive (2002), “Nutrients and eutrophication in estuaries and coastal waters”, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.

논문번호: 특별호	접수: 2011.03.03
수정일자: 2011.04.29	심사완료: 2011.04.29