

시스템 사고를 통한 다기능 생태저류지의 관리방안*

- 광명 안터생태공원을 중심으로 -

이현지¹⁾ · 유수진²⁾ · 전진형³⁾

¹⁾ 한국환경정책·평가연구원 · ²⁾ 고려대학교 대학원 환경생태공학과

³⁾ 고려대학교 환경생태공학부

The Management Methods of Multi-Purpose Ecological Reservoir by System Thinking*

- Focused on Anteo Eco Park -

Lee, HyunJi¹⁾ · You, Soojin²⁾ and Chon, Jinhyung³⁾

¹⁾ Korea Environment Institute,

²⁾ Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Graduate School, Korea University,

³⁾ Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University.

ABSTRACT

Ecological reservoir is a multifunctional space where provides the functions of retention, animal habitat and improvement of ecosystem health and landscape. The ecological reservoir of Anteo Eco Park located in Gwangmyeong-si has established to functions for water purification, maintenance of healthy aquatic ecosystem. Because the Anteo Eco Park is located in the site where nonpoint pollutant materials flow in, Anteo Eco Park has potential factors which aquatic ecosystem health deteriorates and damages the habitat of golden frog(*Rana plancyi chosonica*) which is restoration target species. Therefore, the purpose of this study is to suggest the plan to manage the variables which impede the right functions of aquatic ecosystem by understanding the causal loop diagram for the change of water

* 본 연구는 2014년 환경부 “차세대 에코이노베이션 기술개발사업(과제명: 습지생태계 조성 및 자연생태 회복기술 개발, 과제번호: 416-111-010)”으로 지원받아 수행하였습니다. 이에 감사의 글을 전합니다.

First author : Lee, HyunJi, Korea Environmnet Institute,

Tel : +82-44-415-7412, E-mail : leehyunji@kei.re.kr

Corresponding author : Chon, Jinhyung, Division of Environ. Sci. & Eco. Eng., Korea University,

Tel : +82-2-3290-3621, E-mail : jchon@korea.ac.kr

Received : 6 January, 2015. **Revised** : 16 March, 2015. **Accepted** : 21 March, 2015.

quality environment and the interaction of predator-prey through system thinking. The results are as follows. First, the study showed that the individual number of golden frog which is an indicator species of Anteo Eco Park is threatened by snakeheaded fish, which is an upper predator. Therefore, balanced food chain should be hold to protect golden frog by capturing the snakeheaded fish which is individual number's density is high, and the monitoring management of the individual number for predator (snakeheaded fish)-prey(golden frog) should be performed. Second, the study represented that water pollution and carnification is caused by the sediment as the dead body of the large emergent vegetation in the winter cumulates as sediment. Ecological reservoir in Anteo Eco Park has been managed by eliminating the dead body of the large emergent vegetation, but the guideline for the proper density maintenance of vegetation community is additionally needed. Lastly, the study showed that aquatic ecosystem of Anteo Eco Park where is contaminated from the inflow of nonpoint pollutants affects the individual number's decline of golden frog and snakeheaded fish. Accordingly, the creation of a buffer area and a substitution wetland is needed in the periphery of the Anteo Eco Park to control the inflow of nonpoint pollutants including organic matters, nutrients and heavy metals. This study will be helpful that Anteo Eco Park improves the regional landscape and maintain healthy aquatic ecosystem space for the park visitors including local residents.

Key Words : *System thinking, Causal loop diagram, Water purification, Aquatic ecosystem, Quality of life.*

I. 서 론

저수지는 농업사회의 산물이며 과거에는 마을 내 우수를 저장하여 발전용수, 생활용수, 농업용수로의 기능을 하던 공간이었다. 그러나 1990년대 인구증가 및 도시화로 인해 저수지는 농지와 함께 매립되어 택지개발 용도로 전환되거나 낚시터로 이용되었고, 농업용수 저장공간으로써의 기능은 점차 쇠퇴하였다(GRI, 2007). 낚시터나 방치된 저수지 주변에서 발생하는 자동차 분진, 쓰레기 등의 오염물질은 저수지의 수질오염을 유발하였으며 생태계 파괴와 같은 환경문제를 발생시켰다(GPA, 2013). 그 후, 2000년대에는 방재, 수질정화, 친수, 환경보전, 관광 교육 등 수자원으로써 저수지의 다원적 기능이 부각되면서 저수지의 활용방안에 대한 관심이 증가하게 되었다(GPA, 2013). 특히 도시에서는 생태공원 내에 위치한 저수지를 생태저

류지로 조성함으로써 수질정화 및 수생태계 건강성을 증진하고 지역주민의 삶의 질을 향상시키고자 노력하였다(Byeon, 2006; Kim *et al.*, 2007; Byeon, 2010; Kim *et al.*, 2014). 지금까지 생태저류지와 관련한 연구들로는 생태저류지 설계 계획 및 모형 개발(Byeon, 2006; Ha & Lee, 2006; Chun *et al.*, 2008; Byeon, 2010)과 생태저류지의 우수저장기능 및 효과에 대한 연구(Jun *et al.*, 2006; Chun *et al.*, 2008) 등이 진행된 바 있으며, 수생태계를 훼손하는 비점오염물질과 관련하여 비점오염물질 유지관리 현황 및 기법(MOE, 2004; Choi & Ban, 2007; GRI, 2012; Kim, 2012; MOE, 2014)과 비점오염 제어 효과 및 개선방안(Kwak *et al.*, 2010) 등의 연구가 진행되었다. 하지만 생태저류지 조성 후, 시간이 경과하면서 오염물질 처리 효율이 점차 저하되고, 수질악화, 악취 및 해충 발생 등의 문제가 발생하여 생태환경뿐 아니라 주민의 거주환

경에도 피해를 주는 2차 문제가 발생하고 있어 장기적인 관점에서 대책이 필요하게 되었다(Choi & Ban, 2007; MOE, 2009b; Lee & Han, 2012). 이러한 문제가 반복되는 원인은 생태저류지의 다원적 기능들이 서로 상호작용하고 있음에도 불구하고 각각의 기능에 따라 단선적으로 관리되고 있기 때문이다. 이처럼 단선적 관리로 인해 나타난 문제를 해결하기 위해서는 시스템 사고(System Thinking)와 같이 인과지도 작성을 통해 문제의 근본 원인을 동태적으로 파악하고, 통합적이고 장기적인 시각에서 시스템을 통찰할 수 있도록 하는 방안 마련이 필요하다. 시스템 사고를 이용한 생태 환경 분야의 연구들로는 제주노루의 서식환경 변화가 주민생활 환경에 미치는 영향관계를 파악하거나(Kim & Hong, 2006), 지역개발사업의 환경적, 사회적, 경제적 문제를 파악하여 지속가능성 유지를 위한 발전 방향을 제시하기 위한 연구(Kim, 2010) 등 특정 시스템에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 방법으로 활용되고 있다. 그러나 생태저류지를 중심으로 비점오염물질 유입에 따른 문제 해결을 위해 시스템 사고를 활용한 연구는 부족한 실정이다. 생태저류지의 다원적 기능이 유기적으로 작동할 수 있도록 관리하기 위해서는 시스템 사고적 접근이 필요하다(Choi & Ban, 2007). 본 연구의 목적은 시스템 사고 접근을 통해 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질 환경변화 및 안터생태공원 목표종의 피식-포식관계를 파악하여 생태저류지의 수생태계가 유기적으로 작동할 수 있는 방안을 제시하는 것이다. 연구의 세부목표는 다음과 같다. 첫째, 일반 생태저류지의 비점오염물질 유입에 따른 수질환경 인과지도를 작성하여 수질환경 변화에 영향을 주는 변수들을 파악한다. 둘째, 안터생태공원 목표종의 피식-포식관계를 중심으로 인과지도를 작성하여 안터생태공원의 수생태계 변화에 영향을 주는 변수들을 도출한다. 셋째, 개별인과지도를 통합하여 안터생태공원의 수생태계를

이루는 변수들 간의 관계를 이해하고, 생태저류지의 순기능을 방해하는 변수들을 도출함으로써 이를 관리하기 위한 방안을 제안한다. 이는 생태저류지의 비점오염물질 저감 기능과 수생태계 건강성이 장기적으로 균형을 이루어 지역의 쾌적한 생태환경 제공 및 삶의 질 향상에 기여할 수 있도록 할 것이다.

II. 연구범위 및 방법

1. 공간적 범위

본 연구의 대상지는 경기도 광명시 하안동 427-3번지 일대에 위치한 안터생태공원이다. 대상지의 총 면적은 20,294m²이며, 과거에는 Figure 1 과 같이 북쪽의 도덕산과 남쪽의 구름산에서 흘러 들어오는 지하수 및 우수를 모아두었다가 경작 시에 농업용수 공급원으로 이용하였다(Kang, 2010). 1990년대부터는 안터저수지 인근에 하안주공아파트 단지가 건설되고 안터저수지 남측에는 고물상부지, 동측 제방에는 주차장 등이 들어서게 됨에 따라 농업용수 공급원으로서의 안터저수지 역할은 점차 쇠퇴하게 되었고, 안터저수지는 가물치 댐시터로 이용되었다(Kang, 2010). 댐시터로 공간의 역할이 바뀌면서 저수지 내에 가물치를 고의적으로 풀어놓아 개체수가 급격히 증가하였다. 또한, 지역개발 및 경작 활동 등 주변 토지이용이 변화함에 따라 안터저수지의 수질이 오염되고 수생태계가 훼손되면서 금개구리 서식처가 감소되는 부정적인 환경 변화(MOE, 2011a)가 나타났다. 결국 안터저수지에 서식하는 금개구리 개체수가 감소하기 시작하였고, 수생태계 훼손 문제를 해결하기 위해 광명시는 멸종위기생물 2급인 금개구리(*Rana plancyi chosonica*)를 목표종으로 설정하여 2004년 안터저수지를 경기도 생태보전지구로 지정하였다. 그리고 2009년에는 금개구리 서식처 복원 및 수생태계 건강성 증진을 위해 환경부 신기술 제 258호인 생태적 수질정화 비오톱(SSB:

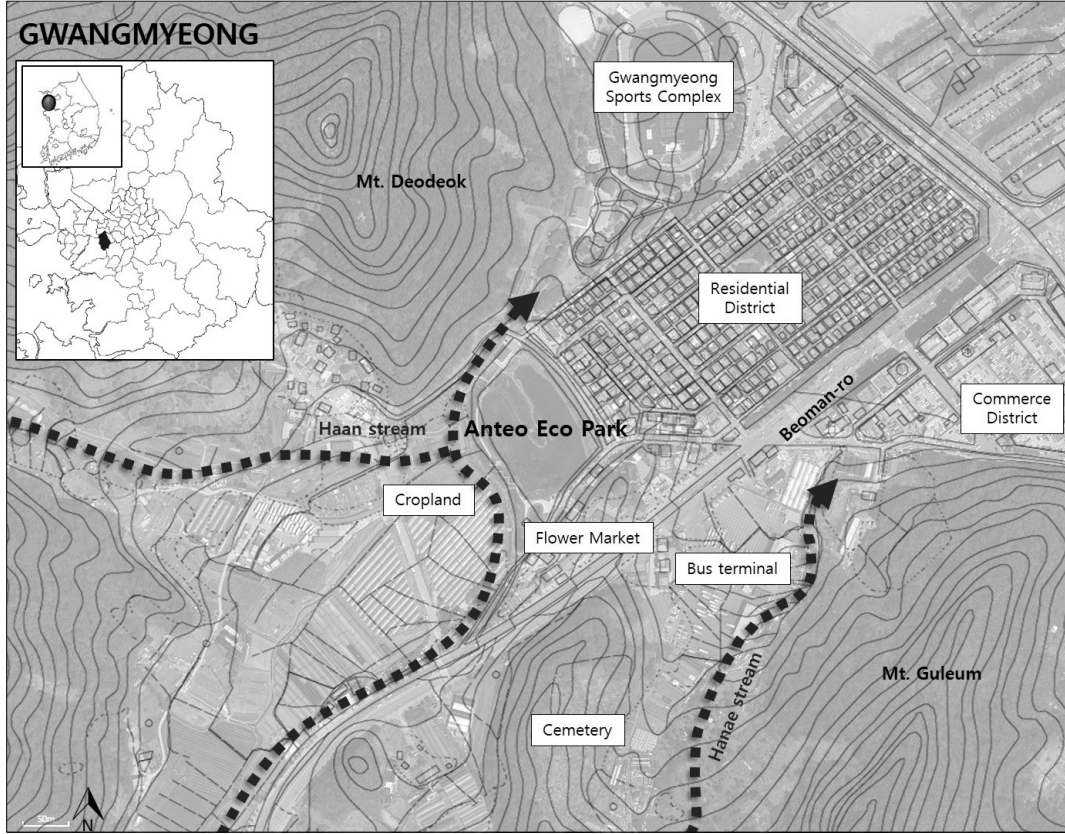


Figure 1. Current state in Anteo eco park.

Sustainable Structured Wetland Biotop)을 도입하여 생태적으로 수질정화가 검증된 저류지와 다단계 셀을 적용한 안터생태공원을 조성하였다 (Gwangmyeong, 2003; Byeon, 2010). 그러나 생태저류지가 조성된 이후에도 안터생태공원 주변에 위치한 쓰레기장과 불법 농경지에서 발생하는 비점오염물질이 지속적으로 유입되고 있는 상황이다(Byeon, 2010). 오염물질의 유입은 생태저류지의 수질정화 기능을 감소시키고 지역주민의 삶의 질에도 부정적으로 영향을 미친다(Choi & Ban, 2007). 한편, 안터생태공원 조성 후 낚시금지 시행으로 인해 가물치 개체수가 급증하면서 가물치는 안터생태공원에 서식하는 금개구리의 개체 밀도보다 높아지게 되었다 (Kim & Ahn, 2006; Byeon, 2010). 먹이사슬의

균형 상태는 수생태계 건강성 파악을 위한 지표로 활용될 만큼 먹이사슬 관계와 수생태계는 밀접한 관련이 있으므로 먹이사슬의 불균형은 수생태계 건강성 저하를 의미하기도 한다(Kim & Ahn, 2006). 이에, 본 연구에서는 안터생태공원을 공간적 범위로 선정하여 주변 토지이용에 따른 비점오염물질을 파악하고, 안터생태공원 목표종의 피식-포식 인과순환관계를 파악하여 안터생태공원의 수생태계 변화를 종합적으로 고찰하고자 하였다.

2. 내용적 범위

생태저류지는 비점오염물질 유입에 의한 수질정화, 수생태계 건강성 증진 및 경관 향상 등 복합적인 기능을 가지고 있으며, 각 정부부처에

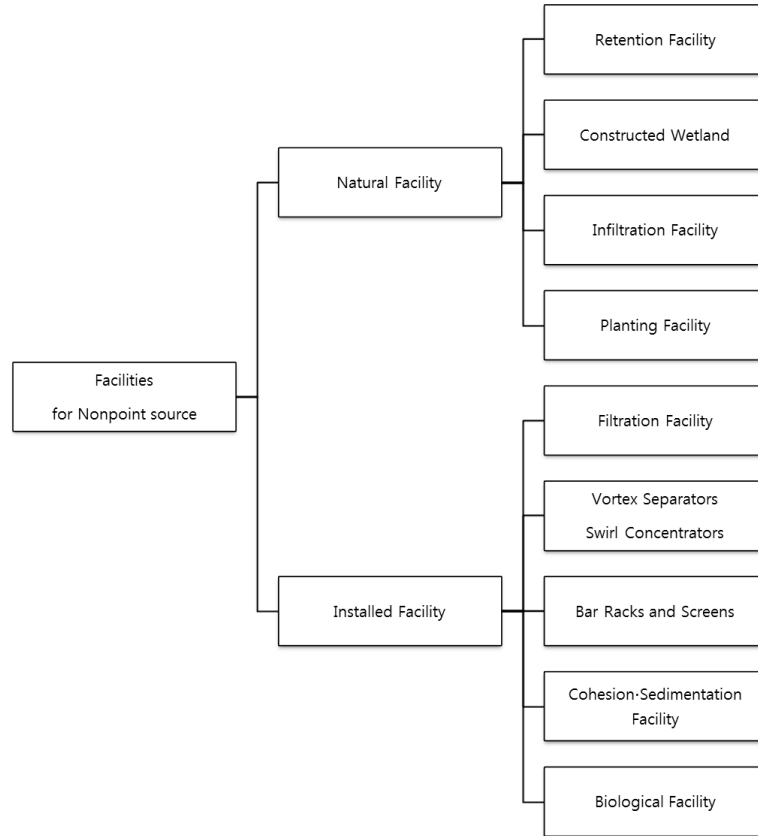


Figure 2. Classification of facilities for non-point source pollution control (“Enforcement Decree Of The Water Quality And Ecosystem Conservation Act” enforcement regulations, 2014.11.24).

서는 생태저류지와 관련한 다양한 연구를 진행하고 있다. Ministry of Environment는 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙』 별표 6에 따라 비점오염 저감시설을 분류하여 관리하고 있다. 비점오염 저감시설은 자연형 시설과 장치형 시설로 구분되며 자연형 시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설로 구분된다(Figure 2). 이 중 자연형 시설은 강우를 저류하여 비점오염물질을 저감하는 저류지, 연못 등의 저류시설, 침전, 여과, 흡착, 식물정화 등 자연 요소를 통해 비점오염물질을 저감하는 인공습지, 토양의 여과, 흡착 기능을 이용하는 침투시설 및 식물 흡착 기능을 이용하는 식생형 시설이 있다.

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2013)에서는 도시녹색공간을 활용한 방재시스템개발의 일환으로 저류공원 조성 가이드북에서 저류지의 유형을 생태형, 운동시설형, 식생피복형, 지하매설형, 복합형으로 구분하였다(MOLIT, 2013). 이 중 생태형 저류시설은 도시 강우 조절 및 비점오염물질 저감 기능뿐만 아니라 수생태계 건강성 증진 및 도시 내 주민 휴식을 위한 생태공간 제공 기능을 가지고 있다(MOLIT, 2013).

본 연구에서는 생태공원 내 조성된 자연형 저류시설을 생태저류지로 정의하여 연구를 진행하였으며, 연구의 내용적 범위에서 비점오염물질은 안티생태공원 하상부분의 토양, 수질, 식생 중심으로 유입되는 물질들로 한정하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질환경변화와 먹이사슬 불균형에 의한 수생태계 변화의 인과순환 관계를 고찰하기 위해 시스템 사고(System Thinking)에 따른 관계분석을 수행하였다. 시스템 사고는 사실에 근거하여 시스템의 전체적인 흐름을 이해하고 시스템 내 변수의 인과관계 속에서 균형루프(Balancing loop)와 강화루프(Reinforcing loop)를 찾아냄으로써 시스템을 효율적으로 발전시킬 수 있는 사고방식이다(Kim *et al.*, 1999). 시스템 사고는 시스템 전체적인 흐름의 본질을 다루기 때문에 시스템 변화에 영향을 주는 근본적인

문제를 파악하고, 그에 따른 장기적인 전략을 제시해 줄 수 있으며, 기존의 지식을 새롭게 조직화하여 문제의 이해를 도울 수 있다는 장점이 있다(Kim *et al.*, 1999). 즉, 모든 시스템은 피드백 루프를 형성하기 때문에 특정 변수가 변화했을 경우 전체 시스템의 인과순환 구조도 변하게 되므로 시스템 사고는 시간의 흐름에 따른 시스템의 동태성을 예측할 수 있게 한다(High *et al.*, 1992; An, 2008; Seo, 2008; Choi, 2010). 본 연구에서는 시스템 사고를 적용하기 위해 Figure 3과 같은 단계로 연구를 수행하였다. 첫째, 비점오염물질 유입이 생태저류지의 수질변화에 미치는 영향에 대해 자료수집 및 문헌고찰을 통

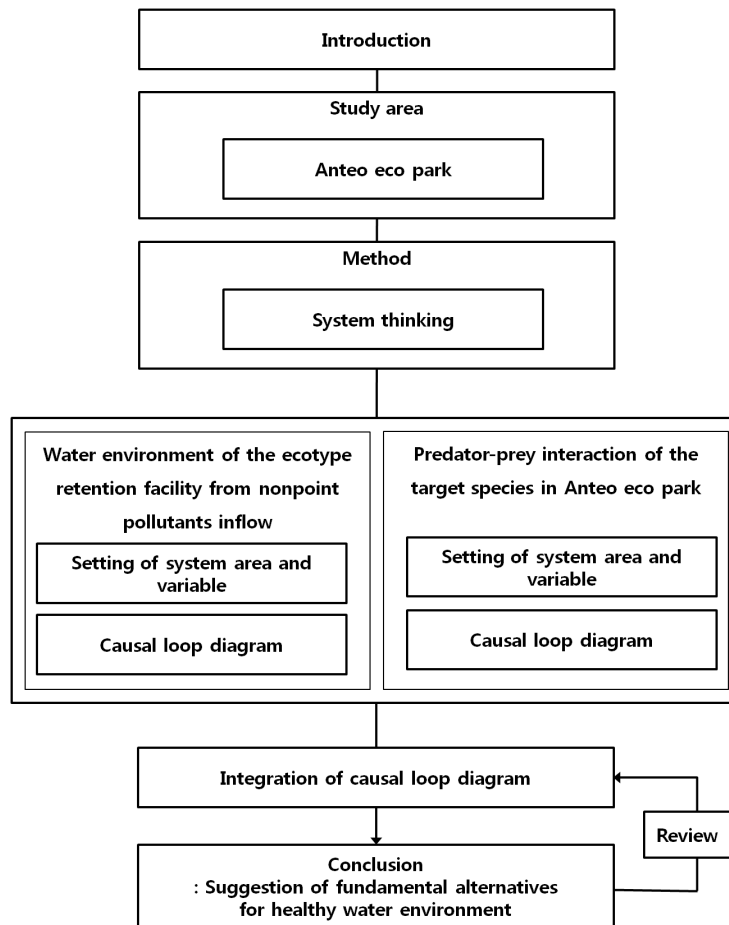


Figure 3. Flow chart.

하여 시스템 영역 및 변수를 설정한 후, 개별인과지도를 작성하였다. 인과지도에서 변수간의 상관관계는 Vensim PLE를 활용하여 양(+)과 음(-)의 부호와 화살표를 이용하여 도식화 하였다. 또한 균형루프와 강화루프를 이루는 구간 중심에 B(균형루프)와 R(강화루프)로 표시하였다. 둘째, 안터생태공원 목표종의 피식-포식관계에 대한 시스템 영역 및 변수를 설정하였으며 수집된 변수를 바탕으로 개별인과지도를 작성하였다. 셋째, 개별인과지도를 바탕으로 통합인과지도를 작성하고 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질환경변화가 수생태계에 미치는 영향을 파악하고 수생태계 균형을 위한 대안을 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질 환경 인과지도

비점오염물질은 비료, 가축분뇨, 대기오염물질, 도로 노면의 퇴적물, 강우 시 하천으로 유입되는 오폐수 등 수질 오염물질의 배출 지점이 불특정 하여 유출경로 파악이 어려운 배출원을 의미한다(Lee & Han, 2012). 안터생태공원 주변 토지이용을 분석한 결과, 안터생태공원으로 유입되는 비점오염물질은 주차장, 자동차 정비소, 고물상부지 등에서 발생하는 협잡물과 중금속, 인근주택단지와 불법경작지에서 발생하는 유기물질로 나타났다(Byeon, 2010; Kang, 2010). 이러한 비점오염물질이 지속적으로 유입되어 생태저류지의 영양물질량이 수용한계를 넘었을 경우에는 용존산소 및 pH에도 영향을 미쳐 수질이 악화되고 탁도가 높아져 녹조류가 형성되는 등 수질환경에 변화가 일어난다(Choi & Ban, 2007). Ministry of Environment(2009b)에 따르면 비점오염물질은 하천오염 물질 중 68%의 부하율을 가지고 있으며, 2020년에는 약 72%까지 부하율이 증가할 것으로 전망하고 있다. 이에

대한 친자연적인 관리방안 중 하나로 대형정수 식물의 도입이 각광받고 있지만(Choi & Ban, 2007; MOLIT, 2013), 대형정수식물의 생리적 특성상 지속적인 관리가 필요하기 때문에 비점오염물질 부하율 증가에 따른 적절한 관리방안 마련에 대한 필요성이 제기되고 있다(Byeon, 2006; Ha & Lee, 2006; Chun *et al.*, 2008; Byeon, 2010; Kwak *et al.*, 2010; Kim, 2012). 따라서 본 연구는 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질환경 변화에 대한 인과순환관계를 파악하고 수질환경을 악화시키는 요인을 도출하여 장기적인 관점에서 관리방안을 제시하고자 한다. 이를 위해, 비점오염물질이 수질환경에 미치는 특성과 안터생태공원으로 유입되는 비점오염물질을 시스템 영역으로 설정하고, 영양염류, 토사, 유기물, 용존산소를 주요 변수로 선정하여 인과지도를 작성하였다.

Figure 4는 비점오염물질에 따른 생태저류지의 수질환경에 대한 인과지도를 작성한 것이다. 안터생태공원에 식재되어 있는 애기부들, 줄, 수련 등의 수생식물은 침식 방지, 토양생물보호, 수질정화에 기여한다(Byeon, 2010; Kang, 2010). 생태저류지의 토양과 수생식물은 비점오염물질 내에 포함되어 있는 인, 질소와 같은 영양염류를 흡착하여 수질을 정화시키는 기능을 가지며, 이는 균형루프 B1과 B2을 통해 확인할 수 있다(Choi & Ban, 2007). 그러나 비점오염물질이 지속적으로 유입 될 경우 용존 영양염류가 증가하면서 부영양화가 진행되고, 이로 인해 녹조류가 증가하면서 생태저류지 내 유기물 함량이 높아져 다시 영양염류가 증가하게 되는 강화루프(R1)가 형성되었다(Choi & Ban, 2007). 강화루프(R1)의 구성요소인 녹조류는 광합성에 의해 생성되기 때문에 온도가 높은 여름철에 주로 발생하므로, 대상지의 규모나 계절적 변화 등에 따라 루프의 순환 속도가 달라질 수 있다.

시간이 지나 녹조류가 폐사할 경우에는 유기물이 증가하여 생태저류지가 수용할 수 있는 정

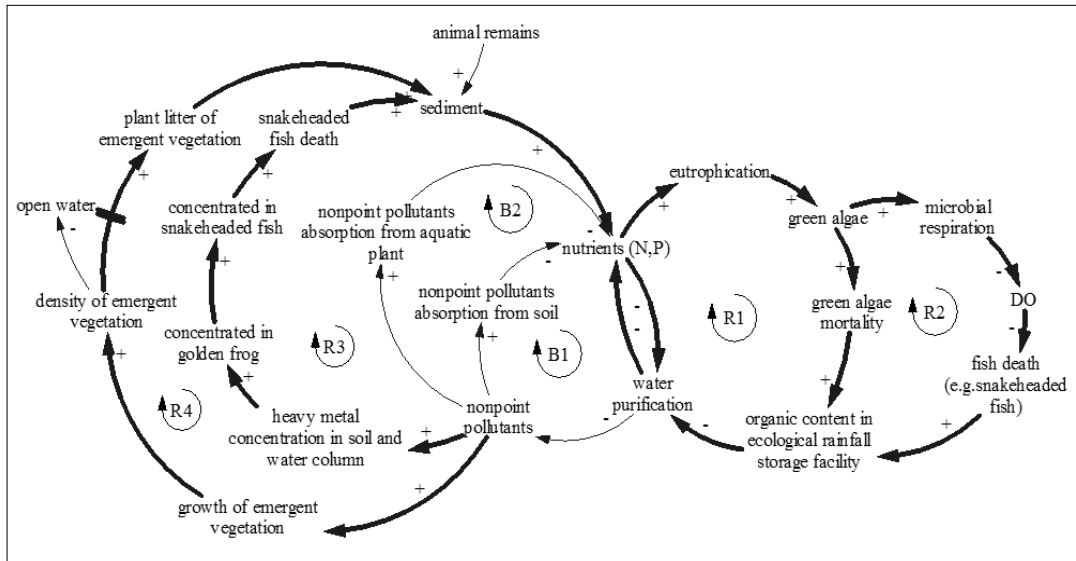


Figure 4. Water environment of the ecological reservoir from nonpoint pollutants inflow (Reinforcing loop: R1-R4, Balancing loops: B1-B2).

화 범위를 초과하게 되며 안터생태공원의 생태저류지는 정화기능을 잃게 된다(Byeon, 2006). 또한 녹조류가 증가하면 미생물의 호흡량이 늘어 용존 산소량이 감소하게 되고, 저류지 내 어류가 폐사하는 문제가 발생한다(Matthews & Berg, 1997; Lee *et al.*, 2013). 폐사한 어류는 분해되면서 저류지의 부영양화를 야기시키는 유기물로 변환되고, 시간이 지남에 따라 점차 정화능력이 감소되는 강화루프(R2)가 형성된다(PMO *et al.*, 2012). 안터생태공원 내 생태저류지에는 유기물 뿐만 아니라 주변 토양 내 유기물, 영양염류 및 중금속이 유입되며, 토양 및 수질 내에 중금속이 농축되면서 수생태계에 서식하는 금개구리도 중금속에 노출된다. 이에 따라 금개구리의 포식자인 가물치도 먹이사슬 관계에 의하여 중금속이 농축되고, 결국 금개구리와 가물치가 치사하여 유기물로 변환됨으로써 퇴적물로 축적되는 강화루프(R3)가 형성되었다. 또한, 서식 밀도가 증가한 애기부들, 갈대 등의 대형정수식물이 겨울철에 고사하면서 유기물로 변환하고, 주변 환경으로부터 유입되는 토사량이 늘어나

면서 퇴적물이 축적되어 영양염류의 증가를 초래하는 강화루프(R4)가 나타났다.

위 결과를 토대로 생태저류지는 비점오염물질을 정화하는 기능을 가지고 있지만, 유기물, 영양염류 및 중금속이 지속적으로 축적되면서 정화능력이 감소한다. 특히 중금속 축적은 토양과 수생식물에 영향을 주기 때문에 수질정화 기능뿐만 아니라 수생태계 건강성에도 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

2. 안터생태공원 목표종의 피식-포식 관계 인과지도

수생태계란 동식물과 미생물 등의 생물군집이 무생물 환경과 상호작용 하는 수체에 있는 생태계를 의미한다(MOE, 2013). 수생태계는 일정한 수역의 동·식물 및 미생물 등 생물군집과 무생물 환경이 상호작용하여 야생생물 서식처 및 인간의 여가활동을 제공하는 역할을 한다(MOE, 2013). 수생태계의 건강성은 생태학적으로 교란되지 않은 상태를 의미하며 생태계의 환경용량을 초과할 경우 영양염류 부하율, 산소소모물질, 독성물질이 발생하면서 야생생물에게

스트레스를 주고 수생태계 건강성이 저하된다(MOE, 2013). 수생태계 건강성을 나타내는 지표로써 스위스의 물 보호법(Federal Act on the Protection of Water)과 호주의 하천법(Water Act)은 생물종다양성의 보전을 위한 최소유량에 대해 강조하고 있으며, 미국은 청정수법(CWA: Clean Water Act)을 통해 수생태환경 유지를 통한 야생동물 보호기준을 마련하고 있다(MOE, 2013). 우리나라는 환경정책기본법에서 자연환경 및 생태계 복원을 위한 수단으로 목표종을 선정하여 수생태계를 관리해오고 있으며(Jo, 2011), 안터생태공원에서는 수생태계의 건강성 증진을 위해 금개구리를 목표종으로 설정하였다.

금개구리는 행동반경이 500m로 서식지 내에서 크게 이동하지 않고 평생을 살아가며, 천적에 대비하기 위한 특별한 회피술이나 방어술이 없기 때문에 포식되기 쉬운 특성을 가지고 있다(MOE, 2011b). 따라서 저수지·습지의 육화, 비점오염물질에 의한 수질오염 등에 의해 서식처가 훼손되거나 일정 수준 이상으로 천적개체수가 증가 할 경우 개체수 감소에 큰 영향을 줄 수 있다(Lee, 2004; MOE, 2009a; MOE, 2009c; Kang, 2010; Ra, 2010). 또한 수생태계의 먹이사슬 관계에서 2차 소비자인 금개구리는 대형 무척추동물, 곤충류, 거미류를 주 먹이원으로 취하며 가물치, 황소개구리와 같은 어류, 조류 및 소형포유류의 포식자가 된다(Ra, 2010). 특히 2004년 생태보전지구로 지정되면서 낚시 행위가 금지됨에 따라 가물치 개체수가 급증하였고, 밀도 증가로 인해 금개구리의 가장 위협적인 포식자로 지목되었다(MOE, 2011b). 이는 안터생태공원의 먹이사슬관계에 불균형을 초래하였으며 수생태계 건강성에도 부정적인 영향을 가져오는 요인이 되고 있다(MOE, 2011b; MOE, 2013). 한편, 개구리의 특성은 주로 물가 주변에서 활동하다 위험을 감지할 때는 물속으로 뛰어 들기 때문에 금개구리의 서식을 위해서는 개방수면이 필요함에도 생태저류지에 식재된 대형

정수식물은 시간이 지남에 따라 밀도가 높아지면서 육화를 진행시켜 개방수면을 감소시킨다(Byeon, 2006; Byeon, 2010; Ra, 2010). 장기적인 관점에서 볼 때, 생태저류지 내 대형정수식물의 밀도증가 및 육화 현상은 수생태계 뿐만 아니라 경관성 또한 감소시켜 지역주민의 삶의 질에도 영향을 주는 것으로 나타났다(Lee et al., 2008; Choi et al., 2013; SREO, 2013). 본 연구에서는 금개구리와 가물치의 피식-포식관계를 시스템 영역으로 설정하고 금개구리 개체수, 금개구리 서식처 면적, 가물치 개체수, 대형정수식물의 밀도, 주민정신건강을 주요변수로 선정하여 주요 변수들간의 인과순환관계를 파악하였다.

Figure 5는 생태저류지의 수생태계 건강성 증진 기능을 파악하기 위해 안터생태공원의 목표종인 금개구리와 금개구리의 포식자 가물치의 피식-포식 관계를 인과지도로 작성한 것이다. 먼저 금개구리의 산란과 치사에 따른 금개구리 개체수에 대한 루프(R5, B3)와 가물치 개체수에 대한 루프(R6, B4)가 형성되었다. 피식-포식 관계에 의해 가물치 개체수가 증가할수록 금개구리 치사량이 증가하면서 금개구리 개체수가 낮아지지만, 이는 곧 가물치의 개체수를 감소시키게 되어 금개구리 개체수를 다시 증가시키는 균형루프(B5)를 형성한다. 피식-포식 관계에 있는 어느 한 종의 개체밀도가 높아지거나 낮아지게 될 경우 균형관계가 깨질 수 있으며, 안터생태공원은 가물치 개체 밀도가 금개구리에 비해 높아 먹이사슬의 불균형을 초래하면서 균형적인 피식-포식관계가 위협받고 있었다(MOE, 2011a).

한편, Figure 5의 인과지도에서 제시된 바와 같이 대형정수식물의 생장이 활발할수록 식생군락의 밀도가 높아지고(R7), 밀도가 높아질수록 수질 정화 능력이 증가된다(B6). 그러나 대형정수식물은 겨울철에 온도가 낮아지고 건조해지면서 사체량이 다량 증가하게 되며, Figure 4의 R4와 같이 퇴적물로 축적되어 수질 정화를 악화시키는 강화루프를 형성하게 된다. 즉, 대

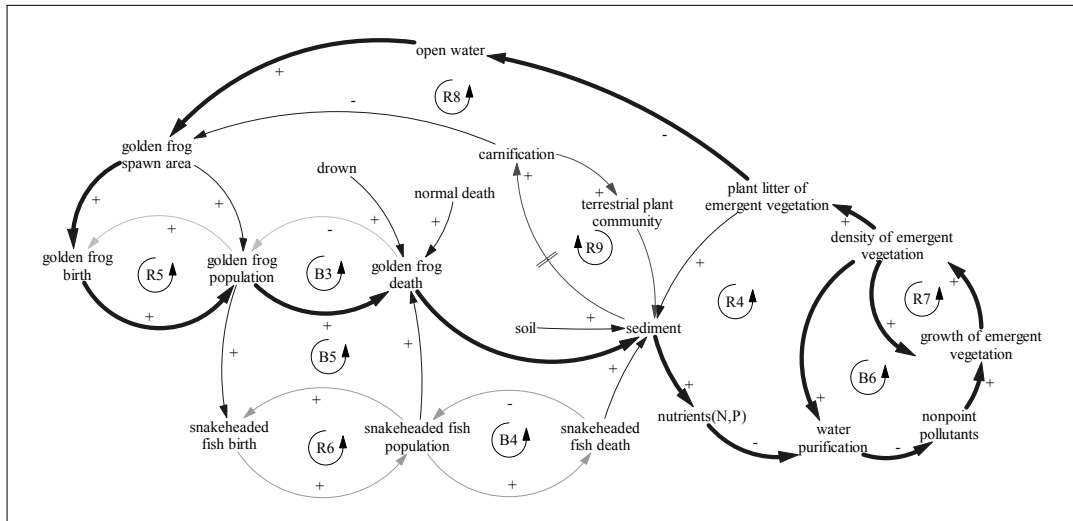


Figure 5. Predator-prey interaction of the target species in Anteo Eco park (Reinforcing loops: R5-R9, Balancing loops: B1-B6).

형정수식물은 대상지 특성이나 계절적인 변화 등에 따라 루프의 순환 속도에 영향을 주는 요인이 된다. 대형정수식물 밀도의 증가는 생태저류지에 육화 진행을 촉진시키고, 개방수면을 감소시키면서 개구리 산란 및 활동 면적에 영향을 주어 금개구리 개체수 감소에 영향을 미치게 되는 강화루프(R8)를 형성한다. 또한, Figure 5에서는 강우 시 주변 농경지에서 유입되는 토사와 어류 사체 혹은 대형정수식물 사체 등이 유기물로 변환되어 퇴적물로 축적되고, 점차적으로 육화가 진행되면서 육상식물의 면적이 증가하는 강화루프(R9)를 형성하였다. 안터생태공원 내 피식(금개구리)-포식(가물치)관계를 파악한 결과, 대형정수식물의 퇴적물이 축적되고 분해되는 과정에서 개방수면 감소로 인해 피식(금개구리)-포식(가물치)관계에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여주었다.

3. 통합 인과지도

비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 수질환경변화와 야생생물 서식처 환경변화에 대한 개별인과지도를 바탕으로 통합인과지도를

작성하였다(Figure 6). 통합인과지도를 통해 생태저류지의 수질정화 및 수생태계 건강성 증진의 기능은 각각 분리되어 단선적으로 작용하는 것이 아니라 상호관계가 있음을 파악하였으며, 이러한 기능들이 유기적으로 순환할 수 있는 관리방안을 도출 하였다. 첫째, 수생태계 건강성을 증진시키기 위해서 포식자인 가물치를 포획하여 균형 루프를 형성하도록 해야한다(B7). 현재 안터생태공원에 서식하는 금개구리는 포식자인 가물치로부터 위협받고 있는 상황이므로 걱정 금개구리 개체수를 유지시키기 위한 조치가 필요하다. 둘째, 대형정수식물이 고사할 시 사체가 유기물로 변환되기 이전에 지상부를 제거해주고, 개방수면을 증가시켜 B8과 같은 균형상태를 유지하도록 해야 한다. 본 연구에서는 겨울철 고사한 식물 사체가 수질 내 영양염류를 증가시켜 생태저류지 내 육화 및 수질오염을 유발시킬 수 있는 위협 요인이 될 수 있음을 확인하였다(R4, R9). 즉, 갈대, 줄과 같은 대형정수식물은 수질을 정화시키는 역할을 하기도 하지만 대상지 특성 및 계절적인 변화에 따라 수질을 오염시키는 요인이 되기도 하는 것이다(B6, R7, R8). 대형정

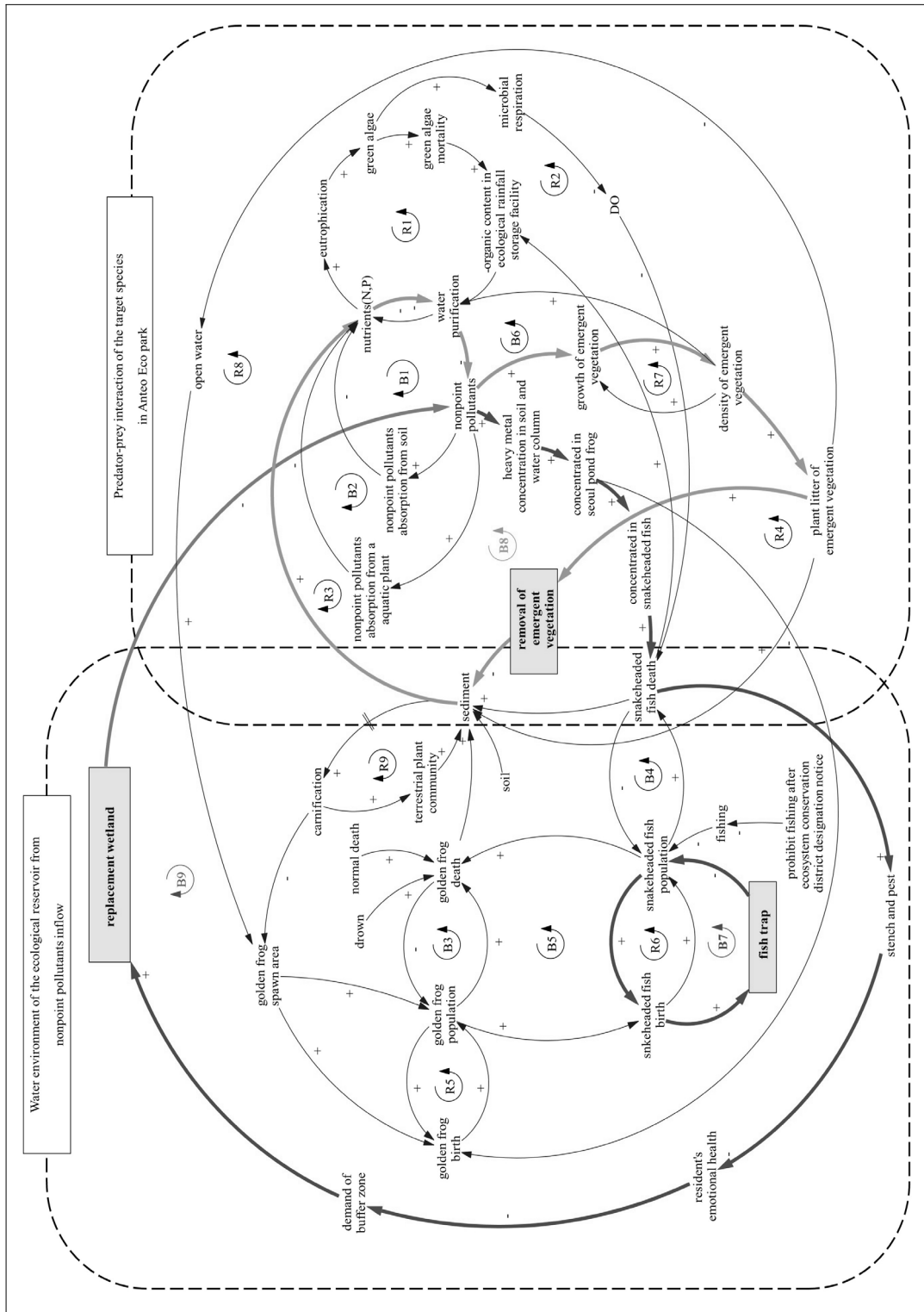


Figure 6. Integrated causal loop diagram (Balancing loops: B7-B9).

수식물은 생태저류지의 구성요소로서 수질정화, 수생태계 건강성 증진, 경관성 향상에 기여하지만, 이를 방치하거나 혹은 적절한 관리를 하지 않을 경우에는 오히려 수생태계 건강성을 저하시키는 요인으로 작용하여 피식-포식 관계 및 인간의 삶에 질에 부정적인 영향을 미치게 될 수 있다. 마지막으로 안터생태공원 생태저류지의 수질정화와 수생태계 건강성의 균형관계를 유지하기 위해서는 완충지역 및 대체습지의 조성이 필요하다. 영양염류 및 유기물을 포함하는 비점오염물질은 생태저류지 내 녹조를 유발시킬 수 있으며(R1, R2), 토양 및 수질 내 유입된 중금속의 경우 야생생물 체내에 농축되어 개체수 감소에 영향을 미치게 된다(R3). 또한 유기물이나 영양염류에 의해 산소가 과다하거나 부족해질 경우 생태저류지 내 서식하는 어류의 호흡을 어렵게 할 수 있다. 이는 수생생물의 생존에 부정적인 영향을 주어 Figure 6의 통합인과지도와 같이 악취 및 해충이 발생할 확률을 높게 만들고(Braunbeck *et al.*, 1998), 주민의 정신건강에도 악영향을 미친다. 완충지역 및 대체습지 조성의 관리방안이 수행될 경우 생태저류지로 유입되는 비점오염물질이 줄어들면서 생물들이 받는 피해도 감소하여 건강한 수생태계가 유지되는 균형루프(B9)가 형성된다.

IV. 결 론

생태저류지는 홍수저감 등의 방재 기능뿐만 아니라 수질정화를 통한 비점오염물질 관리, 수생태계 건강성, 경관 향상의 기능을 가지는 공간이다. 광명시에 위치한 안터생태공원은 생태저류지 도입을 통해 방재 기능 및 수질환경을 개선하고 금개구리 서식처를 복원하여 수생태계 건강성을 증진시키기 위해 노력하였다. 그러나 주변 토지이용을 고려해 볼 때, 안터생태공원은 비점오염원의 지속적인 유입에 따른 금개구리서식처 훼손에 대한 잠재적인 위협성을 가

지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 비점오염물질에 의한 피해 방지 및 지속가능한 수생태계 유지를 위하여 시스템 사고적 관점에서 안터생태공원 내 생태저류지의 비점오염물질에 의한 수질환경변화 및 피식-포식자의 인과순환관계를 파악하여 세 가지 특징을 발견 하였다.

첫째, 안터생태공원에서 관리하고 있는 야생생물인 금개구리의 개체수는 포식자인 가물치로 인해 위협을 받고 있음을 확인하였다. 금개구리를 보호하기 위해서는 가물치 포획을 통한 개체수 관리를 통하여 균형적인 먹이사슬 관계가 유지되도록 해야 할 것이다. 안터생태공원에서는 가물치 개체수 제어를 위해서 안터생태공원 내에서 약 20 곳에 통발을 설치하여 1주일에 한번 가물치 포획을 실시하고 있으며, 포획된 가물치는 한내천에 방사하고 있다. 그러나 가물치 전수조사 및 포획량에 대한 구체적인 가이드라인이 없으며 피식자인 금개구리 개체수에 대한 모니터링만 진행되고 있는 실정이다. 따라서 균형적인 먹이사슬 관계가 유지되기 위해서는 피식자(금개구리)-포식자(가물치) 개체수에 대한 모니터링이 실시되어야 할 것이다.

둘째, 겨울 철 고사한 식물 사체가 퇴적물로 축적되면서 수질오염 및 육화현상이 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 대형정수식물은 생태저류지를 구성하는 중요한 경관생태적 요소로서 동식물의 서식환경 조성 및 수질정화에 기여하기도 하지만 적절한 관리가 이루어지지 않았을 경우에는 생태저류지의 전체 시스템 내에서 수질오염을 야기시키는 요인으로 작용할 수 있다. 안터생태공원에서는 수질오염을 방지하기 위해 대형정수식물이 고사하면 식물의 지상부를 제거하여 오염물질이 되지 않도록 매년 겨울에 1회 정도씩 관리하고 있다. 또한, 갈대 및 부들 등의 식생 군락 면적이 매년 확대됨에 따라 식생 군락이 위치한 저류지 주변부 지점에서 육화가 진행되었다. 갈대나 부들 군락은 땅속의 줄기를 제거해 주어야만 식생 군락의 면적을 조절

할 수 있으므로 안터생태공원에서는 갈대의 번식을 막기 위해 연꽃을 식재하고 있었다. 하지만, 식생군락의 제거 관리에 대한 구체적 가이드라인이 제시되어 있지 않아 적정 수질 및 수생태계의 균형을 유지하기 위해서는 식생군락의 정기적인 관리를 위한 가이드라인을 우선적으로 마련해야 할 것이다.

마지막으로 안터생태공원 내 저류지는 주변 토지이용의 특성상 비점오염물질 유입으로 인해 수생태계가 오염되고 안터생태공원에 서식하는 금개구리 및 가물치 개체수 감소에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 안터생태공원 주변에 비점오염물질의 유입을 방지하고 저감시킬 수 있는 완충지역 및 대체습지 조성이 필요할 것으로 판단된다. 대체습지 조성 시에는 습지면적의 약 15%가 개방수면으로 확보되어야 할 것이다(Kang, 2004). 또한, 현재 안터생태공원의 전체 반경은 약 150m 미만으로 금개구리의 행동반경인 500m 범위에 못 미치기 때문에, 안터생태공원 주변에 완충지역 및 대체습지의 조성은 육화현상으로 인한 금개구리 서식 면적 감소에 대한 대안이 될 수 있을 것이다. 이는 수생태계 건강성을 증진시키고 지역 경관을 향상시키는데 도움이 되며, 지역 주민을 포함한 방문객들이 안전하고 건강하게 이용할 수 있는 생태공간을 유지하는데 기여할 것이다.

본 연구는 시스템 사고를 통해 비점오염물질 유입에 따른 생태저류지의 환경변화에 대한 인과적 특성 파악하였으며, 생태저류지에 나타나는 수생태계의 환경변화와 주민의 삶의 질 변화를 종합적으로 고찰하여 관리방안을 제시하였다는데 의의가 있다. 그러나 수지모형, 오염정화모형, 생태모형은 실험이나 수치자료 등 정량적인 데이터를 바탕으로 작성되는 반면에 시스템 사고를 통한 인과지도는 정성적인 근거 자료와 논리를 통해 작성된다는 한계를 가진다. 특히, 안터생태공원의 생태저류지는 대형정수식물 지상부 제거 관리 및 통발을 활용한 포획할

등을 수행하고 있지만, 대형정수식물 군락 및 가물치 개체수에 대한 정확한 데이터 및 관리 매뉴얼이 별도로 마련되지 않은 상태에서 경험적 지식을 통해 관리되고 있기 때문에 정확한 과학적 데이터를 수집하는데 한계가 있었다. 향후 연구에서는 보다 장기적이고 체계적인 생태저류지 관리를 위하여 본 연구에서 작성한 인과지도를 바탕으로 피식-포식자 개체수 모니터링 데이터를 포함하는 주요 변수 값을 구축하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시함으로써 대형정수식물의 적정 관리 밀도 및 가물치 개체수 포획량을 산출한 가이드라인을 제공해야 할 것이다.

References

- An CH. 2008. A Study about Impact of the Urban Dynamics on Land Use Change Using System Dynamics: A Case of Seongnam City. Ph.D. dissertation, Graduate School of Kyungwon University. (in Korean with English summary)
- Ban GS · Kim JS and Kang SB. 2014. Improvement plan the urban golden frog habitat facing the regional extinction -case by restoration of golden frog habitat in Ansan Suin line- Proceeding of the Korean Institute of Landscape Architecture. Gyeonggido: Korean Institute of Landscape Architecture. pp. 89-90. (in Korean)
- Braunbeck T · Hinton DE and Streit B. 1998. Fish ecotoxicology. Basel Boston: Birkhäuser Verlag.
- Byeon CW. 2010. Water Purification and Ecological Restoration Effects of Sustainable Structured Wetland Biotop (SSB) System Established in the Habitat of the Endangered Species -Examplified by An-teo Reservoir Ecological Park in the Habitat of the Gold-spotted Pond Frog-. Journal of the Korea

- Society of Environmental Restoration Technology. 13(6): 145-159. (in Korean with English summary)
- Byeon WI. 2006. A Study on the Development of Design Model of Ecological Park as Stormwater Storage Facilities. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 9(3): 1-16. (in Korean with English summary)
- Cheong SK · Sung HC · Park DS and Park SR. 2009. Population Viability Analysis of a Gold-spotted Pond Frog (*Rana chosenica*) Population: Implications for Effective Conservation and Re-introduction. Korean Journal of Environmental Biology. 27(1): 73-81. (in Korean with English summary)
- Choi JY and Ban YJ. 2007. Improving Artificial Wetlands for Nonpoint Source Pollution Control. Research Report to Korea Environment Institute. (in Korean)
- Choi WR. 2010. Dynamic Modeling of Green Building Certification Assessment Factors Using System Dynamics. Ph.D. dissertation, Graduate School of Jeonnam University. (in Korean with English summary)
- Choi YE · Lee JA and Chon J. 2013. A Comparative Study on the Preference and Visual Characteristics of Stream Landscape According to Hydromorphological Structures. Journal of Korean Wetlands Society. 15(3): 301-315. (in Korean with English summary)
- Chun SH · Choi JG and Yoo JC. 2008. Ecological Guidelines for Creation of Eco-washland. Journal of Korean Wetland Society. 10(1): 39-47. (in Korean with English summary)
- Gyeonggi Provincial Assembly (GPA). 2013. A Study on Tourism Development Strategy of Lake and Reservoir in Gyeonggi-Do. Research Report to Gyeonggi Provincial Assembly. (in Korean)
- GwangMyeong. 2003. Creation of an Anteopark by Publicprivate Partnership in Gwangmyeong. Research Report to Association of Green Gwangmyeong, GwangMyeongCity. (in Korean)
- Gyeonggi Research Institute (GRI). 2007. Feasibility Study on Picnic Area in Gyeonggi Province. Research Report to Gyeonggi Research Institute. (in Korean)
- Gyeonggi Research Institute (GRI). 2012. A Study on the Treatment of Non-Point Source Pollutants in Gyeonggi-Do. Research Report to Gyeonggi Research Institute. (in Korean)
- Ha SR and Lee JY. 2006. A Case of Analysis of Constructed Wetland using Geographic Information System. Journal of Korean Wetland Society. 8(1): 107-112. (in Korean with English summary)
- High Performance Systems. 1992. STELLA II: An Introduction to Systems Thinking. Hanover New Hampshire: High Performance Systems Inc.
- Jo DJ. 2011. Ecological Restoration Plan and Design Methodology. Seoul: The Publishing Department of Nexus Environmental Design Institute. (in Korean)
- Jun KS · Kim W and Yoon BM. 2006. Uncertainty of Flood Control Effect of Storage Pockets with Lateral Weirs. Proceeding of the Korean Society of Civil Engineers. Seoul: Korea Society of Civil Engineers. pp. 267-270. (in Korean)
- Kang MJ. 2010. A Study on The Design of Converged Ecological Environmental Park through The Case Of Anteo Reservoir. Master's dissertation, Chungang University

- Graduate School of Construction Engineering.
(in Korean)
- Kang SB. 2004. A study on Setting Criteria for Replacement Wetland Design -focus on Hantan River Dam-. Master's dissertation, Graduate School of Seoul National University. (in Korean)
- Kim DH and Hong YK. 2006. A Systemic Approach for Roe Deer in Jesudo. Korean System Dynamics Review. 7(2): 191-213. (in Korean with English summary)
- Kim DH · Moon TH and Kim DH. 1999. System Dynamics. Seoul: DaeYong. (in Korean)
- Kim EY · Lee JA · Kim HG and Chon JH. 2014. The Visitors Characteristics of Urban Ecological Park -The Cases of Gildong Ecological Park, Yeouido Tributary Ecological Park-. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture. 42(1): 65. (in Korean with English summary)
- Kim GS · Lee TG and Hwang HY. 2007. A Study on the Analysis of the Water Quantity of the Rainwater Detention System based on the Planning Simulation in the Wonheungs ecological park. Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. 7(2): 25-30. (in Korean with English summary)
- Kim HB and Ahn KS. 2006. An Assessment on Vegetation and Fish Diversity in Natural Urban Stream. Journal of Wetlands Research. 8(2): 53-64. (in Korean with English summary)
- Kim JG. 2012. A Basic Study on the Aquatic Environment Maintenance after Restoring Constructed Wetland: Exemplified by An-Teo Sustainable Structured Wetland Biotop(SSB). Master's dissertation, Graduate School of Sangmyung University (in Korean with English summary)
- Kim KH. 2010. A Study of Saemangeum Project's Sustainable Development: Focused on local governments of Jeollabukdo. Korean system dynamics review. 11(4): 25-59. (in Korean with English summary)
- Korea Environment Institute (KEI) · K-water. 2007. Improving Artificial Wetlands for Nonpoint Source Pollution Control. Research Report to Korea Environment Institute. (in Korean with English summary)
- Kwak JW · Kim JG · Kim HS and Yoo BK. 2010. Effectiveness Analysis of Constructed Washland: (1) Flood Control and Ecological Effect. Journal of The Korean Society of Civil Engineers B. 30(1B): 13-21. (in Korean with English summary)
- Lee CH and Kim EJ. 1999. Guidelines of the Management of Small-Scale Water Pollution Source. Research Report to Korea Environment Institute. (in Korean)
- Lee EH · Jang HK · Park MY · Yoon J · Kim JG · Bae YJ. 2008. A Preliminary Study on a Restoration of Habitats for *Nannophya pygmaea* Rambur (Odonata: Libellulidae). Korean Journal of Environment and Ecology. 22(1): 35-42. (in Korean with English summary)
- Lee GY and Han SH. 2012. A Study on the Treatment of Non-Point Source Pollutions in Gyeonggi-Do. Research Report to Gyeonggi Research Institute. (in Korean with English summary)
- Lee JS · Park YS and Cho WS. 2013. A Study on Performance Evaluation for the Bio-retention Non-point Source Pollution Treatment System. Clean Technology. 19(3): 295-299. (in Korean with English summary)
- Lee JY · Lee KY · Lee SRM · Choi JS · Lee SJ · Jung SM · Jung MS and Kim BC. 2013.

- Recovery of Fish Community and Water Quality in Streams Where Fish Kills have Occurred. *Korean Journal of Ecology And Environment*. 46(2): 154-165. (in Korean with English summary)
- Lee SC. 2004. Study on In-situ and Ex-situ, and Restoration Strategy Planning for the Protected Wildlife Anura(*Rana plancyi chosonica* Okada) in Korea. Master's dissertation, Graduate School of Incheon National University. (in Korean with English summary)
- Lee SD · Hong SH and Kim TK. 2012. Basin Ecosystem Management Plan for Water Quality in the Agricultural Reservoir *Korean Journal of Environment and Ecology*. 26(2): 233-246. (in Korean with English summary)
- Lee SW. 2013. An Analysis of The Non-Point Pollution Source Management for Water Quality Improvement. Research Report to Audit and Inspection Research Institute. (in Korean)
- Lee TH. 2008. A Study on the Characteristics and Reduction of Nonpoint Source Pollution for Water Quality Improvement of Agricultural Reservoirs. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage*. 15(2): 50-61. (in Korean with English summary)
- Matthews K and Berg N. 1997. Rainbow Trout Responses to Water Temperature and Dissolved Oxygen Stress in Two Southern California Stream Pools. *Journal of Fish Biology*. 50(1): 50-67.
- Ministry of Environment (MOE). 2004. Comprehensive Countermeasure to Reduce the Non-Point Pollution in Mountain Area. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2009a. Developing Standard Rearing and Reintroduction Protocols of Golden Frog, *Rana chosonica*, an IUCN Vulnerable Species. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2009b. Natural Management of Non-point Pollution Source using by LID technique. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2009c. Research of Korean Golden Frog capture and move in National Institute of Ecology site. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2011a. Study on the Preparation of Guideline for Replacement Habitat Creation about Major Species in Environmental Effect Evaluation. Research Report to Ministry of Environment (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2011b. Suitability Assessment Plan for the Habitat of Endangered Species according to Delvelopmentnet Work. Research Report to Ministry of Environment (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2013. Making Legal Practices for Improving conservation and management of Aquatic ecosystem. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Environment (MOE). 2014. The Manual for Installation and Management Operation of Nonpoint Pollutants Treatment Facility. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). 2013. A Guidebook to Disaster Reduction Reservoir Park Research Report to Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (in Korean)
- Office for Government Policy Coordination Prime Minister's Secretariat (PMO) · Ministry of

- Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) · Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE) · Ministry of Environment (MOE) · Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) · National Emergency Management Agency (NEMA) · Rural Development Administration (RDA) · Korea Forest Service (KFS). 2012. Non-point source pollution management comprehensive countermeasures. Research Report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ra NY. 2010. Habitat and Behavioral Characteristics, Captive Breeding and Recovery Strategy of the Endangered Gold-Spotted Pond Frog(*Rana plancyi chosonica*). Ph.D. dissertation, Kangwon University Graduate School. (in Korean with English summary)
- Ryu JN · Oh JI and Lee HR. 2012. A Study on The Classification of Storages in Urban Area. Journal of Korean Society of Water and Wastewater. 26(5): 637-647. (in Korean with English summary)
- Saemangeum Regional Environmental Office (SREO). 2013. Study on the Countermeasures Establishment for Carnification Prevention of Ungok Wetlands Conservation Area in Gochang-gun. Research Report to Saemangeum Regional Environmental Office. (in Korean)
- Seo DG. 2008. The Linkage System of Ecological Housing Planning Element · Control Element · Evaluation Index Based on System Dynamics. Ph.D. dissertation, Graduate School of Chungnam University. (in Korean with English summary)
- Sung HC · Cha SM · Kim SK · Park DS · Park SR and Cheong SW. 2007. Monitoring Extensive Breeding Populations and Daily Call Activity of the Gold-spotted Pond Frog, *Rana Chosonica* in Chungju City and Chungwon Gun. Korean Journal of Environmental Biology. 25(2): 94-99. (in Korean with English summary)
- Sung HC · Ra NY · Cheong SK · Kim SK · Cha SM and Park DS. 2009. Reproductive Dynamics of the Gold-spotted Pond Frog (*Rana plancyi chosonica*) Population Located at Cheongwon, Korea. Korean Journal of Environmental Biology. 27(1): 20-30. (in Korean with English summary)
- Yoon IB · Kim JI and Yang SY. 1998. Study on the Food Habits of *Rana Nigromaculata* Hallowell and *Rana Plancyi Chosonica* Okada (Salientia; Ranidae) In Korea. Korean Journal of Environmental Biology. 16(2): 69-76. (in Korean with English summary)