분산형 저류지 생태환경복원 설계*

- 신정3지구 생태환경저류지에 적용된 생태적수질정화비오톱(SSB)시스템을 중심으로 -

변 찬 우

상명대학교 일반대학원 융합생태환경공학과

A Design for Ecological and Environmental Restoration of a Dispersal Detention System*

- a Case of Sustainable Structured wetland Biotop (SSB) System Applied to Ecological and Environmental Detention in the Housing District of Sinjeong 3-jigu -

Byeon, Chan-Woo

Professor, Dept. of Integrated Ecological & Environmental Engineering, Graduate School of Sangmyung University.

ABSTRACT

The design process of ecological and environmental detention system located in the housing district of Sinjeong 3-jigu in Seoul are as follows. At stage one, a new dispersal detention was created in the neighborhood park located near the originally planned detention. From this, the amount of storage of this dispersal detention system was enlarged from 28,337m³/d, the initial storage amount, to 33,606m³/d as the post storage amount, responsible to the amount of rainfall which happens every 100 years. In particular, the SSB (Sustainable Structured wetland Biotop) system, which was the New Excellent Technology verified by the Ministry of Environment (No. 258) was applied to enhance ecological functioning and water quality with the detention as a constructed wetland. At stage two, the treatment plans for non-point pollutant source occurred at the initial period of rain, flowing into the detention system were built for purifying the water of the retention pond at the base of the

First author : Byeon, Chan-Woo, Professor, Dept. of Integrated Ecological and Environmental Engineering, Graduate School, Sangmyoung University, Seoul, Korea,
Tel : +82-2-2287-5439, E-mail : bwi@smu.ac.kr

Corresponding author : Byeon, Chan-Woo, Professor, Dept. of Integrated Ecological and Environmental Engineering, Graduate School, Sangmyoung University, Seoul, Korea,
Tel : +82-2-2287-5439, E-mail : bwi@smu.ac.kr

Received : Received : 26 November, 2012. **Revised** : 26 December, 2012. **Accepted** : 14 January, 2013.

detentions, and the water-circulation system was designed at the dispersal detentions on the period of regular rainfalls.

The non-point pollutant source flowing into detention site was calculated as 11,699m³/d flowing down from seven small watersheds, which occurred at the initial period of rain. In particular the SSB systems improved the average efficiency of the water processing performance to BOD 60%, SS 90%, T-N 30%, T-P 60%. At stage three, the ecological network and biological diversity were strongly considered so that it brought the residents with amenity places. In particular, the dispersal detentions were successfully designed to restore the ecological habitat of endangered plant and animal species such as narrow-mouthed.

Key Words : *Ecological and Environmental Water Detention, Dispersal Detention, SSB : Sustainable Structured wetland Biotop, Habitat Restoration, Ecological Water Purification.*

I. 서 론

저류지(貯流池)란 자연재해대책법에 의거 하천유역에 대규모의 개발이 일어나는 경우 개발에 따른 홍수유출량의 증가 및 수해의 위험을 방지하고 홍수조절, 저류기능, 안전성과 친수성 향상을 주목적으로 설치하는 시설이다(Lee and Han, 2003). 「도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침」(Ministry of Construction Transportation in Korea, 2000) 제 3조에서는 주변지형, 지질 및 수리수문학적 조건 등을 종합적으로 고려하여 도시공원으로서의 기능과 방재시설로서의 기능을 모두 발휘할 수 있는 장소에 입지하도록 규정하고 있다.

일본의 경우 저류지 공원 조성을 위해 홍수빈도가 잦은 저지대에 연못을 조성한 사례가 있다(Byeon, 2006a). 하지만 이 경우 정체수역의 수질문제가 유지관리상 가장 어려운 문제라고 분석되었다. 북미 등지에서는 수질정화와 저류기능을 수행하는 연못, 습지, 숲, 초지 등이 포함된 공원을 조성하거나 유역에서 발생하는 토사와 영양물질을 제어하기 위해 저류기능을 겸한 습지를 조성하고 있다(Shutes, 2001; Mitsch, 1993). 국내에서는 수문학적 저류지연구에 집중

되어 있으며(Shin et al., 2008; Lee et al., 2008), 저류시설을 이용한 친수공원기능을 지킴화하거나(Ministry of Construction Transportation in Korea, 2000), 저류지 생태공원을 위한 홍수관리에 한정된 연구(Jeong, 2011)가 일부 시도되어 왔다. 하지만 실제 조성사례는 대부분의 경우, 평상시 운동공간으로 활용하다가 홍수시 저류를 안전하게 할 수 있는 콘크리트 구조물과 같은 비생태적인 시설로 구성되는 것이 대부분이다.

국내에서 생태환경적인 저류지 조성을 위한 본격적인 이론연구로써 저류지의 홍수방어와 수생태계복원, 초기강우 비점오염원 유출제어, 친수공원으로 활용 및 경관향상 기능 등을 제시한 바 있다(Korea Land and Housing Corporation, 2006). 위의 연구를 진행한 Byeon (2006a)는 다양한 기능을 가진 생태환경저류지 설계모형 개발 및 그 설계방향과 구조 및 시설유형을 만들어 제시한 바 있다.

본 논문은 생태환경저류지 조성을 위한 선행연구의 test-bed의 역할을 하는 실무사례라고 볼 수 있다. 특히, 분산형 저류지의 생태환경 복원 사례인 본 연구는 그간 연구된 저류지의 치수 방재 기능 외에도 도시 및 택지개발지역에서 훼손

된 수생태계를 복원, 창출, 향상하는 환경기술로 제공되기도 하였다(Ministry of Environment in Korea, 2010). 저류지 생태환경 복원에 있어서도 설계는 그 성공여부의 출발점이다. 따라서 본 연구의 목적은 분산형 저류지 사례를 통한 저류지의 생태환경 복원 설계방법론을 제공하는 것이다.

II. 대상지 특성 및 생태환경복원방안

1. 대상지 특성

본 연구대상지인 생태환경저류지(12,147m²)는 Figure 1과 같이 서울특별시 양천구 783번지 일원 신정3지구 국민임대주택단지 근린공원내에 위치한다. 신정3지구에 계획된 저류지는 「도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침」(Ministry of Construction Transportation in Korea, 2000) 계획기준(제5조)에 의거, ‘도시공원 저류지’로 지정되어 있는 지역으로, 연중 활용빈도가 낮고 담수상태가 지속되면서 수질오염이 발생하여 도시미관을 저해할 우려가 있었다. 계획초기 저류지는 단조로운 box형의 구조물로 설계되어 있었다. 기존의 저류지를 생태환경복원하기 위해서 상류의 공원 지역에 또 다른 저류지를 조성하여 분산형 저류지로 발전시켰다. 상하류 저류지를 이어주는 중간 녹지지역에는 생태수로를 조성하였다. 이를 통해 택지개발지역 내 생태환경저류

지공원으로 계획되었다 (SH Corporation, 2007).

특히 신정 택지개발공사가 진행중이던 2009년 7월에는 택지개발 지역 내 환경부 멸종위기 야생동물 II급인 맹꽂이서식이 확인되어 택지개발 공사가 중지되었고, 이에 본 저류지에 그 대체서식지를 조성하였다.

2. 연구재료 및 방법

지금까지 조성된 대부분의 저류지는 방재기능을 주로하여 조성된 것이 대부분이다. 때때로 홍수이후 유지관리가 용이한 저류지공원이 조성된 경우도 있었다. 하지만, 생태연못 등을 조성하여 앞의 단조로운 방재 및 친수공간 기능에 생태적 기능을 도모하고자 한 시도도 일부 있었다. 하지만, 이들 대부분은 홍수기 이후 관리 문제라든가 수질환경의 악화 문제, 그리고 주변지역과의 생태적 단절 등이 문제시되었다. 본 분산형 저류지에 적용된 생태적수질정화비오톱시스템 (SSB : Sustainable Structured wetland Biotop)은 그 생태복원기능과 생태적 수질정화 처리효율 등이 이미 다양한 국책사업에서 검증된 바 있는 국가 공인된 환경신기술(제258호)이다. 또한 본 신기술 시스템 내부에는 어류통로, 생태적 수질정화미디어 등 다양한 세부 특허들로 구성되어 있다. 이는 수생식물에 의한 다단계셀 구조의 수질정화 기능뿐만 아니라, 생물서식처 및 생태공원화 할 수 있는 시스템으로 선정되었다(Byeon, 2012). 생태적수질정화비오톱시스템은 초기 강우시 유역에서 발생하는 점·비점오염원 처리를 위한 다단계셀 습지 시스템으로서 홍수조절을 통한 재해방지 기능을 수행하며, 평면구조, 처리유량, 목표처리농도, 용량 및 유속, 수리학적 체류시간, 배치 및 형태, 배수 및 수위, 식재밀도, 토양 등을 고려하여 설계되고 복원된다(Byeon, 2006b; 2010a). 또한 하천유역과 택지 및 산림에서 발생하는 비점오염원의 생태적 수질정화 뿐만 아니라, 다양한 생물서식처를 제공하고, 멸종위기종 복원, 하수처리

Figure 1. Location of site in Seoul, Korea.

방류수처리, 생태공원 기능 등을 수행한다(Byeon, 2006b; 2010b).

대부분의 저류지는 홍수시에만 일시 저류하는 개념이었으나, 본 저류지에서는 그 하상부에 인공습지를 도입하여 상시저류하는 개념으로 전환하였다. 즉, 분산형 저류지 각각과 이를 잇는 수로에 이미 국내 다양한 생태환경 복원사례에서 그 기능과 효율이 성공적으로 모니터링된 인공습지인 생태적수질정화비오톱 시스템을 도입하였다(Byeon, 2006a). 이를 통해 강우시에는 초기강우에 포함되어 있는 저류지 상류 유역의 비점오염원을 수질정화하도록 하고 평상시(비강우시)에는 상 하류 저류지의 물순환시스템 특허기술을 시스템적으로 본 저류지에 도입하고 설계하였다. 이러한 생태환경 물순환 시스템에서 다양한 생물 서식처를 계획·설계하였다.

신정택지개발지역의 생태환경저류지 계획·설계기간은 2006년 6월부터 2008년 12월까지이다. 생태환경모니터링은 본 설계과정뿐만 아니라 시공과정에서도 수행하였다. 신정생태환경저류지의 수질 측정항목은 주로 BOD5, SS, T-N, T-P 등을 수질오염공정시험법에 따라 환경부 공인기관에서 분석하였으며, pH, 수온 등은 현장에서 수질측정기로 측정하였다. 참고로, 시공기간 중(2009년~2011년) 발견되어 현장 설계변경을 통해 복원된 멸종위기종인 맹꽁이와 양서류

충류 등의 모니터링은 복원시공과정에서부터 시행하였다.

III. 생태환경복원과정 및 결과

기존 저류지의 생태환경현황과 문제점들을 극복하고 국내 풍토에 맞는 융합적인 기능을 지닐 수 있도록 조성된 신정 생태환경 저류지의 계획·설계안 도출과정은 Figure 2와 같고, 다음과 같이 총 3단계로 제시할 수 있다.

1. 계획·설계 1단계 : 생태환경 저류지 조성을 위한 수문학적 검토와 분산형 저류지 조성방안 마련

설계 제 1단계에서는, 분산형저류지 조성전, 즉 저류지에 생태환경 계획하기 전 택지내에서 일반저류지로 계획되었던 내용을 우선 살펴보자. 본 계획 이전인 당시 저류지 역시 일반적인 저류지 설계방식에 따라 재해영향평가를 토대로 저류지의 수리·수문학적 용량 및 면적을 검토하여 계획하였다. 즉, Figure 3의 a와 같은 재해방재용 기능을 지닌 저류지가 Figure 4의 a와 같이 신정3지구 국민임대주택단지에서 홍수량을 고려하여 근린공원내에 단일시설로 설계되어 있었다. 저류지의 초기 형태는 off-site, on-line 유형의 일반적 기능으로써 단순히 재해

Figure 2. Design process of Ecological and Environmental Restoration of the Dispersal Detention System (Byeon, 2008).

Figure 3. Developing design process from a storage detention (Byeon, 2006) to a dispersal detention system (Byeon, 2010b).

Figure 4. Planning maps of dispersal detention in the Housing district of Shinjeong 3-jigu.

를 주목적으로 하는 시설이었다. 재해영향평가 상, 당시의 저류량은 $28,337\text{m}^3/\text{d}$ 이 담수될 수 있도록 계획되어 있었다. 이를 본 생태환경저류지 계획에서는 Figure 3의 b와 같이 생태공학 특성을 반영하여 추이대를 완만하게하고 상시저류(retention)형 습지와 연못 구조를 조성하고자 설계를 시도하였다. 하지만 이 경우, 저류지의 저류량이 축소되는 문제가 따른다. 또한 습지와 연못내의 정체된 수질이 악화될 우려가 있다. 따라서 초기 저류지 구조인 Figure 3의 a를 Figure 3의 b와 같이 유기적인 저류지

구조 연구 (Byeon, 2006a)를 바탕으로 하여, Figure 3의 c와 같은 분산형 저류지 구조로 발전시켰다. 이는 결국 Figure 4의 b처럼 주변 녹지 및公園으로 확장시키는 또 다른 저류지를 조성함으로써 저류기능을 분산시켰다. 따라서, 기존 대상지내의 수체계를 고려하고 100년 빈도 홍수시 초기 우수에대한 비점오염원 유출량까지 산정하여(계획설계 2단계에서 상세히 다룰 것임) 저류지의 면적 및 용량을 선정하였다. 본 저류지 기본계획 수립시 검토한 우수유출량은 총 $37.93\text{m}^3/\text{sec}(3,274,560\text{m}^3/\text{d})$ 이고, 재해영

향평가에서 분산형 저류지로 조성하여 검토한 생태환경저류지의 총 저류용량은 $33,606\text{m}^3/\text{d}$ 이다. 이는 분산형 저류지의 상시저류 생태복원 시설로 인해 약간의 용량이 축소됨을 감안하였고, 상부 저류지 신설과 하부 저류지였 저류조의 저류량 증가분을 더할 경우 분산형 저류지의 전체 저류규모는 초기의 재해평가 용량에 비해서도 약 $5,000\text{m}^3/\text{d}$ 이 증가되었다. 결과적으로 재해영향평가상의 100년 빈도 강우량 ($33,606\text{m}^3/\text{d}$)을 저류할 수 있도록 하여 저류지 1(침강저류지), 저류지2(침전저류지), 저류탱크의 용량을 포함하여 $33,606\text{m}^3/\text{d}$ 이 저류될 수 있도록 조성하였다. 특히, 기존 저류지들의 일시저류(de-tention) 방식과 달리 상시저류(re-tention) 시스템을 도입하여 각 저류지에 인공습지(constructed wetland)를 조성였다. 특히, 환경부에서 검증된 신기술(제 258호)인 생태적수질정화비오톱(SSB)을 생태환경적으로 적용하여 수질정화효율은 물론 생물다양성(biological diversity) 기능을 증진시켰다. 이를 통해 저류량을 증대시키는 것과 동시에 정제된 수질을 정화하고 주변 육상생태계와 연계된 수생태계의 복원을 도모하며 생태공원프로그램을 제시할 수 있게 계획하였다. 이러한 설계의 세부과정은 생태·환경공학적 기준에 따라 다음의 2, 3단계에서 보다 구체적으로 진행하였다.

2. 계획·설계 2단계 : 검증된 생태적 수질정화 방안을 통한 저류지내 초기강우의 비점오염원 및 정제된 수질정화

설계 2단계에서는, 1단계에서 마련된 분산형 저류지의 상시저류 인공습지기능을 통해 초기강우시 유역에서 내려오는 비점오염원과 평상시 하상에 도입된 상시저류 인공습지의 수질을 생태적으로 정화하기 위한 방안을 중점적으로 설계하였다. 이를 위해 저류지로 유입되는 강우의 초기 비점오염원 처리방안을 수립하고, 평수기에는 분산형 저류지에 수순환 체계를 도입하였다. 분산형 저류지의 상시저류 구간에는 이미 많은 수생태계와 수환경 복원을 위해 성공적으로 모니터링되어 그 성능과 효율이 검증된 환경 신기술(제 258호)인 생태적수질정화비오톱(SSB : Sustainable Structured wetland Biotop)을 적용하였다.

대상지로 유입되는 유역내 초기 비점오염원 처리방안을 다음과 같이 도출하였다. Figure 5에서 유역차원의 초기강우 유입으로 인한 비점오염원 처리를 위해 신장지구 유역현황 및 생태환경저류지계획을 먼저 살펴보았다. Figure 5의 a는 신장 3지구 택지개발이전의 우수흐름 및 지형, 지질, 경사, 토양, 야생동식물 등 생태적 요소와 수질 환경을 분석하고 저류지 입지현황을 살펴보았다. Figure 5의 b의 경우 재해영향평가의 재검토를 통해 조성한 분산형 생태환경

a. Interpretation of ecological network of the initial district condition

b. Plan of the new dispersal detention system in the district watershed

Figure 5. Ecological and environmental water detention plan in the consideration of a watershed.

저류지 계획안을 주변하천 및 공원과 구릉지를 연계한 생태네트워크 연결과 7개의 소권역을 연계하고 유역적 차원의 수체계를 분석하였다. 특히, 단지내 저류지에 유입되는 주변하천과의 연계성을 생태 환경적 측면에서 분석하였다. 본 대상지는 택지개발지역에 있는 저류지로서 치수뿐만 아니라 생태적 가치가 높은 수체계이나, 택지로 개발된 이후의 경우 인간의 영향을 많이 받는 택지개발지역 및 근린공원 부지로 연계될 지역이다. 이런 대상지의 생태공학적(수리, 수문, 토양, 식생, 미기후, 어류, 동물상 등) 특성 및 환경공학적(평면구조, 처리유량, 목표처리농도, 용량 및 유속, 수리학적 체류시간, 수리학적 부하율, 배치 및 형태, 길이/넓이비(AR), 배수 및 수위, 식재밀도, 토양 등) 특성을 고려하여 수생태환경의 다양한 검증사례가 있는 SSB시스템을 적용하였다.

저류지로 유입되는 초기 강우 30mm/d에 해당하는 비점오염원은 SCS법으로 초기 강우량을 산정하였다. 그 결과 저류지 상류와 연결된 7개의 소유역에서 내려오는 강우초기 발생 비점오염원 11,699m³/d이 산정되었다. 전체 유역에서 발생하는 비점오염원 11,699m³/d을 처리할 수 있는 SSB 시스템을 기반으로 한 복합적 기능의 분산형 저류지를 계획하였다. 특히 본 사업과 가장 유사한 생태적수질정화비오톱(SSB) 모델

적용사례를 고려하여 택지내의 수질환경을 생태환경저류지의 생물학적산소요구량(BOD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P)을 중심으로 유입수질, 유출수질, 처리량 및 예상처리효율을 정량적으로 산정하였다. 택지 개발후, 도시의 오염하천 유입수에 SSB시스템을 적용하여 처리된 결과를 본 대상지에 적용했을 경우, 그 목표처리효율은 BOD 60%, SS 90%, T-N 30%, T-P 60%로 산정되었다. 다만, 택지에서 우려되는 것은 고농도의 하수처리수가 유입된 경우이다. 주민들이 상시 이용할 수 있는 생태공원역할을 해야하는 생태환경저류지가 될 경우, 고농도의 수질이 가장 문제가 될 수 있다. 따라서 하수종말처리장에서 적용된 SSB시스템의 수처리산정 방식을 적용하여 처리한 경우, 유입, 유출 수질 및 그 처리효율과 유입 오염원량이 산정되었다. 이 경우, 평균처리효율을 BOD 73.6%, SS 41.0%, T-N 46.2%, T-P 44.4%로 산정되었다. 즉, 본 처리효율은 생태환경저류지로 BOD 10.0mg/ℓ, SS 10.0mg/ℓ, T-N 20.0mg/ℓ, T-P 2.0mg/ℓ의 오염수가 유입될 경우 BOD 2.6mg/ℓ, SS 5.9mg/ℓ, T-N 10.8mg/ℓ, T-P 1.121mg/ℓ로 유출될 수 있는 처리효율이다. 기본적으로 저류지내 생태적 수질정화비오톱 물순환시스템의 배치 방안은 다음 Figure 6과 같이 배치할 수 있다 (Ministry of Environment of Korea, 2010). 이를

Figure 6. Hydrological system of SSB (Sustainable Structure wetland Biotop).

Figure 7. Water circulation system of SSB (Sustainable Structure wetland Biotop)

Figure 8. Longitudinal and cross section of the ecological water detention system.

본 대상지에 맞게 시스템적으로 도입하여 유기적 형태의 분산형저류지로 Figure 7과 같이 설계하였다. 생태적수질정화비오톱 시스템을 기반으로 한 저류지 수순환 시스템은 저류지1구간(침강저류지) → 다단계셀 생태습지 → 저류지2구간(침전저류지)로 자연유하되도록 Figure 8과 같이 설계하였다. 특히 Figure 7에서와 같이 비강우시에는 저류지까지 자연유하된 우수 등을 저류조에 모았다가 그중 약간의 물을 상류로 압송하여 물을 순환시킴으로써 우수를 저장하고, 재활용하여 습지 시스템이 항상 청정유지용수를 확보할 수 있도록 설계하였다.

3. 계획·설계 3단계 : 생태적 네트워크 및 멸종위기종 대체서식지 조성 and 생태환경학습기능 부여

설계 3단계에서는 우선, 생태환경 저류지 복원을 위한 심화단계로, 생태적 네트워크(ecological network)를 계획하여 생물다양성을 증대시키고자 하였다. 특히, 설계 1, 2단계에서 제시한 바대로 수문체계의 건전성을 바탕으로 SSB 시스템의 생태적 핵심 지역(ecological core)과 연계된 주변 육상생태계와 연계하였다. Figure 9의 좌측과 같이, 택지개발로 기존의 야생동식물 서식처가 훼손하거나 파편화하여 생태계의 훼손이 가속화되고 있는 택지개발지역내에 생태 실개천이나 습지를 조성함으로써 서식처 복원이나 파편화된 생태계를 연결시켜 생태 네트워크를 구축하였다. 신정 생태환경저류지의 수생태계 복원을 위해 Figure 9의 우측과 같이 생태적 핵심(core)지역, 완충(buffering)지역, 전이(transitional)지역을 구분하여 수생태계의 복원을 달성하고 택지에서의 녹지체계, 수체계, 인간의 이용행태 등을 고려하여 설계하였다. 특히 신정3지구내 생태계의 다양성을 창출할 수 있는 자연형 수로를 조성하여 경관성을 높이고, 생태적 다양성(ecological diversity)을 증진시켰다. 자연형에 적합한 수생식물을 도입하여 자연정화능력을 향상시켰다. 또한 대상지 주변 토지이용을 연

Figure 9. Ecological plan networking and ecological core which is dispersal detention ponds and wetlands.

계하여 저류지와 연계할 수 있는 환경학습 동선 및 활동 프로그램을 설계하였다. 무엇보다 택지개발지역 내의 생태환경저류지의 생태적 기반계획을 수립하기 위해서 생태계 자원분석과 각 분야별 전문가의 모니터링관련문헌 및 현지조사 루트를 마련하여 목표중, 핵심 복원종 등의 선정 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

특히, 공사 중 멸종위기종인 맹꽂이 발견으로 2009년 7월 신정 택지공사 개발 지역 공사중 멸종위기야생동물Ⅱ급인 맹꽂이(*Kaloula borealis*)의 서식 확인으로 주변의 택지 개발에 관한 공사가 중지된 바가 있다. 이에 본 SSB 시스템 설계된 생태환경 저류지 내에 대체서식지 복원을 시도하였다. 양서파충류 전문가의 모니터링과정을 통해 2009년부터 2011년까지 3차년도에 걸쳐 신정3지구 생태환경 저류지 내에서 맹꽂이의 대체서식지복원 사업을 시행하였다. 그 결과 2011년 생태복원직후 생태모니터링(양서파충류)에 의하면, 총 5과 9종이 확인되었으며 이 중에서 양서류는 금개구리, 참개구리, 한국산개구리 등 3과 6종이 발견되었으며, 파충류 2과 3종이 확인되었다. 멸종위기종인 맹꽂이(성체1개체, 올챙이10+α)는 물론, 참개구리(성체28개체, 올챙이1,000개체이상), 청개구리(성체31개체, 올챙이1,500개체이상), 한국산개구리(새끼30개체이상) 등 다양한 양서류의 서식을 확인하였다. 이로써 저류지 생태환경 설계의 융합적인 접근을 통해 수생태 환경이 복원될수 있음을 모니터링하였다. 이상과 같은 설계과정에서 일반화 할 수 있는 부분들은 타 저류지 설계에도 응용될 수 있을 것이다. 하지만, 대상지 마다 다른 생태환경적 특성과 장소적 특성은 반드시 감안해서 설계에 임해야 할 것이다.

V. 결 론

신정 3지구 택지 내에 조성한 저류지의 생태환경복원을 위한 계획·설계과정을 살펴보았다.

본 연구를 통해 볼때, 저류지에서의 생태환경복원, 즉 생태환경 저류지 조성을 위한 설계 방안은 다음과 같다.

첫 번째, 본문의 설계 제1단계에서처럼 재해영향평가를 토대로 수문학적 검토를 통해 방재기능을 충족시키는 동시에 생태환경복원 계획을 생태공학적(생태학+방재공학)으로 구상해야 한다. 특히, 본 연구사례에서처럼 상부의 구릉지와 연결된 공원 등지에 또다른 저류지를 두는 식으로, 분산형 저류지와 같은 수리 수문적 특성을 갖는 것이 바람직하다. 또한 기존 저류지들의 일시저류(de-tention) 방식과 달리, 저류지 하상 일부분에 상시저류(re-tention) 방식의 습지를 도입함으로써 각 저류지에는 생물이 다양하게 서식할 수 있고 생태적 가치가 가장 높은 인공습지를 조성한다. 하지만, 인공습지의 복원은 저류지와 같은 극한 환경을 반드시 인식해야 실패를 막을 수 있다. 특히 홍수기의 강한 소류력에 의한 시설훼손이나 정체수역이 형성될 경우 그 관리의 어려움과 수질 문제를 반드시 해결해야 한다.

두 번째, 설계 제 2단계에서처럼, 저류지내 평수기에는 상시저류습지와 연못이 생태공학적으로 조성되더라도 정체된 수질을 정화하는 방안 마련과 저류지로 유입되는 강우의 초기 비점오염원 처리방안까지도 생태·환경공학적으로 수립한다. 이를 위해 분산형 저류지 상부과 하부, 그리고 그 사이 연못 습지구간에 수순환 체계를 도입한다. 저류지의 까다로운 환경문제를 해결하기위해 정화효율과 기능이 검증된 생태적 수질정화 습지 시스템을 저류지 생태환경적 특성에 맞게 설계하는 것이 바람직하다. 특히, 생태환경복원을 위해 본 저류지에 적용된 생태적수질정화비오톱(SSB) 시스템의 처리효과를 모니터링한 결과, 본 생태환경저류지내 다수의 오염원 유입이 있었음에도 시스템내 매우 맑은 수질(수질 I 급수)을 유지하였다.

세 번째, 본문의 설계3단계에서 처럼 생태적

핵심(ecological core)시설인 습지가 조성된 두 개의 상·하 저류지 둘을 잇는 생태적 네트워크(ecological network)를 구축하여 생물다양성을 증대시키고 주민들에게 생태환경교육시설을 제공한다. 생태적수질정화비오톱(SSB)시스템 도입 후 생태복원 효과를 모니터링한 결과, 생물다양성을 상징하는 대표적인 종이 되는 양서 파충류의 서식기반이 성공적으로 마련되었다. 특히, 멸종위기종인 맹꽁이와 참개구리, 청개구리, 한국산개구리 등 다양한 양서류의 서식과 이와 관련된 안정적이고 다양한 생물 서식 개체수가 모니터링되었다.

네 번째로, 생태환경 저류지 조성을 위해서는 어느 한 전공분야 - 토목방재, 수자원, 조경, 생물, 생태학, 환경공학, 디자인 등 - 의 접근으로만 성공할 수 없기 때문에 융합생태환경공학설계의 과정과 그 모니터링과정이 필요하다. 그 결과, 위 3단계 설계과정과 복원시공 및 유지관리과정을 통해 최근 모니터링을 수행 한 결과, 본 생태환경저류지는 기존 치수중심의 방재기능뿐만 아니라 생태복원 + 생태적 수질정화 + 경관향상 기능이 각각 성공적으로 도출되었다.

다섯 번째, 저류지가 위치한 대상지마다 다른 생태환경 공학적 특성을 고려해야 한다. 본 논문에서는 그간 생태공학과 환경공학의 융합적 이론을 바탕으로 국내 여건과 신정3지구 대상지 특성에 맞게 복원한 생태환경저류지의 조성을 위한 설계과정을 제시하였다. 이러한 연구결과는 추후 국내 특성에 맞는 생태환경저류지의 조성을 위한 기초적 정보를 제공할 수 있다. 하지만 대부분의 저류지가 위치한 대상지를 이와 동일한 설계 방법을 적용한다면 성공할 수 없을 것이다. 향후, 저류지마다의 생태환경적 특성을 유형별로 구분하여 일반 기술자가 적용할 수 있는 지침마련과 생태환경 복원 방안을 제도적으로 마련해야 할 것이다.

여섯번째, 국내 최초로 성공적으로 저류지에 생태환경복원 설계된 사례이므로 그 시공 이후

유지관리 모니터링을 생태환경 시스템 개발 및 설계자가 맡아서 수행되어야 할 것이다. 이는 향후 저류지 생태계와 환경이 완전히 안정화 될 수 있는 일정 기간 동안, 대상지 특성에 맞는 유지관리 지침을 마련해야 할 것이다.

인 용 문 헌

- Byeon, C. W. 2006a. A Study on the Development of Design Model of Ecological Park as Stormwater Storage Facilities. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology 9(3) : 1-16. (in Korean with English summary)
- Byeon, C. W. 2006b. A Study on Constructed Wetland Ecological Park Design with Multiple-cell FWS Layout : focus on Structural Design of Sustainable Structured wetland Biotop (SSB) Park. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology 9(5) : 1-9. (in Korean with English summary)
- Byeon, C. W. 2010a. Water Purification and Ecological Restoration Effects of the Keumeo Stream Sustainable Structured wetland Biotop (SSB) System Established on the Floodplain of Kyungan Stream. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology 13(3) : 1-13. (in Korean with English summary)
- Byeon, C. W. 2010b. Ecological River Restoration, Gyeonggi-do : Namudosi.
- Byeon, C. W. 2012. Ecological Restoration of the Rivers and Wetlands with Sustainable Structured Wetland Biotop (SSB) System, KSCE Journal of Civil Engineering 16(2) : 255-263. (in Korean with English summary)
- Jeong, M. H. 2011. (A) Study on Analysis of the

- Flood Management in Urban Watershed for using Ecological Reservoir. Unpublished Master dissertation. Pusan National University. Pusan. Korea.
- Korea Land and Housing Corporation. 2006. Research Report on Ecological Detention Park Design.
- Lee, J. J. · Kwak, C. J. and Lee, S. W. 2008. A Comparison and Analysis of Planning Models for the Design of Detention Pond in Urban Area. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 8(3):105-115. (in Korean with English summary)
- Lee, S. T. and Han, H. G. 2003. A study on effective disaster reduction methodology according to the detention types (on-line/ off-line) of development plan.
- Ministry of Construction Transportation of Korea. 2000. Standards for establishment and management of detention facility in urban park.
- Ministry of Environment of Korea. 2010. A Development of Ecological Restoration, Creation and Enhancement Technology in Urban Housing Site.
- Mitsch, W. J. 1993. Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. In Olson R. K. (ed), *Created and Natural Wetlands for controlling nonpoint source pollution*. C. K. SMOLEY.
- SH Corporation. 2007. Ecological and Environmental Design of Detention in the Housing District of Sinjeong 3-jigu. Design report to SH Corporation.
- Shin, D.H., Byun, J.W. and Lee, E.T. 2008. A study on flood control effect of the reservoir location in urban watershed using XP-SWMM. *Proceedings 2008, Conference of Korean Water Resources Association*.
- Shutes, R. 2001. Artificial wetlands and water quality improvement, *Environment International* 26 : 445-446.