韓國環境復元綠化技術學會誌 9(3) : 1～16(2006)
J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 9(3) : 1～16(2006)

저류지 생태공원 설계모형 개발에 관한 연구

변 우 일

LEED 환경연구원 원장/상명대학교 대학원(환경자원전공) 겸임교수

A Study on the Development of Design Model of Ecological Park as Stormwater Storage Facilities

Byeon, Wooil

President, Institute of Landscape Ecology and Environmental Design/Adjunct Professor, Sangmyung University.

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop design model of ecological park as stormwater storage facilities. The results are as follows :

First, the design model of ecological park as stormwater storage facilities consider ecological and landscape characteristics such as high efficiency of land use, function as disaster prevention, ecological water purification, formation of habitat for flora and fauna. Second, this study demonstrates two types of plane structure and eight types of designed section. They can be combined and designed depending on conditions of each site. The facilities of stormwater storage conduct disaster prevention system and ecological park. Retention pond in stormwater storage facilities for ecological park also should be made for ecological restoration in the site. Third, the ecological park provide the basis for ecological network from in-site to out-site. Therefore its conservation and restoration plan consider the ecosystems of the site. Fourth, the most important factor for maintenance and management for retention pond is keeping water quality. Sustainable Structured wetland Biotop system is suggested for ecological water purification system in the retention pond which is one of the constructed wetland system using multi-celled aquatic plant and pond. This system can also provide habitat for animals and plants, water friendly park for men, and beautiful landscape.

Key Words : *Stormwater storage, Retention pond, Ecological restoration, Ecological water purification.*

Corresponding author : Byeon, Wooil, President, Institute of Landscape Ecology and Environmental Design/Adjunct Professor, Sangmyung University,
Tel : +82-31-704-4756, E-mail : bwi@leed.co.kr

Received : 2 March, 2006. **Accepted** : 12 May, 2006.

I. 서 론

최근 여름철의 집중강우와 개발로 인한 불투수면적의 증가로 인해 홍수의 문제가 증대되고 있다. 이에 대한 해결책으로 재해영향평가를 실시하여 개발지구내 저류시설이 만들어져 왔으며 이러한 저류시설을 공원화하고자 하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 배경에는 영구 저류지를 공원화함으로써 공원의 가처분면적을 인정받아 토지의 효율적 활용 및 경제적 이익을 추구하려는 의도가 있다.

일반적 의미에서 저류지란, 하천 유역에 대규모 개발이 일어나는 경우 개발에 따른 홍수 유출량의 증가 및 수해의 위험성을 방지하고 홍수조절, 저류기능 및 하천의 친수 안전도 향상을 주목적으로 자연재해 대책법에 의거하여 설치하는 시설로 이해되고 있다(이순탁・한형근, 2003). 우리나라에서는 2000년「도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침」이 만들어져 법제화 되었으며, 2005년「지속가능한 신도시계획기준」이 마련되어 저류지가 공원으로 활용될 수 있는 지침이 만들어졌다. 그러나, 우리나라에서 저류지 관련 연구는 극히 미미하다(우창호, 2005). 저류지의 공원화는 환경적, 구조적, 물리적인 면에서 매우 복합적으로 고려되어야 하므로 계획・설계 방안과 지침의 구체화가 필요하다. 이러한 측면에서 최근 이루어진 저류지 공원화 계획에 관한 연구(한국토지공사, 2006)는 2000년대 초반부터 국내여건에 맞게 자연수면형 인공습지 생태공원 설계에 관한 설계, 시공 및 모니터링 사례와 그 구조적 연구(변우일, 2005a) 등을 토대로 하여 이루어진 결과이다.

국외에서는 이미 수질정화와 저류기능을 수행하는 연못, 습지, 숲, 초지 등이 포함된 공원을 조성하거나(Shutes,2001), 인근유역에서 발생하는 토사와 영양물질을 제어하기 위해 저류기능을 겸한 습지를 조성하는 등의 경향을 보이고 있다(Mitsch,1993). 하수처리장 배출수 뿐만 아니라 강우시 비점오염원 처리에 초점을 맞춘 연못(저류지)-습지시스템이 활발하게 연구되고 있고(EPA, 1999), 하수처리 및 초기강우 유출수처리 인공습지유형이 1)shallow marsh, 2)extended detention wetland, 3)ponf-wetland system, 4)pocket wetland 등으로 구분하여 제시된 바 있다(MWCOG, 1992). 국내에서도 자유수면형 인공습지 생태공원설계에 관한 구조적 연구(변우일, 2005a)에서 저류개념을 포괄할 수 있는 2)extended detention wetland 개념을 응용, 제시한 바 있다. 방재기능의 저류지 개념으로서 개발사업에 따라 증가하는 유출량을 개발이전의 상태로 유지시키기 위해 유출량저류시설과 지체시설로서의 지하침투유도시설로 구분하고 있다(Debo & Reese, 1993). 더욱이 초기강우에 대한 농경지의 비점오염원이나 도시의 오폐수에 관한 오염원은 습지에서 처리될 수 있음을 밝힌 바 있다(Kadlec, R.H. and Knight, R.L. 1996).

본 연구에서는 우선 저류지 생태공원의 기본이 되는 방재를 위한 기능을 토대로 저류지의 유형구분을 하였고 위와 같이 선진사례를 통해 우리 실정에 맞게 저류지 생태공원 조성의 기본 방향을 제시할 것이다. 더 나아가 저류지 생태공원 조성을 위한 구조 및 시설을 정립하고 생태복원과 수환경 유지관리방안을 제시함으로써 저류지 생태공원 계획설계를 위한 기초 모형을 정립하고자 한다.

II. 연구 방법

저류지 생태공원의 설계모형 개발을 위해 본 연구는 국내외 문헌의 분류내용과 저류지 조성사례를 직접 답사한 결과를 바탕으로 저류지 생태공원의 목적유형, 입지유형, 저류시간, 구조, 조성방안에 따라 그 유형을 세분화하였다. 국내외 저류지공원의 조성사례 검토와 저류지공원의 법제적 검토, 시행상 문제점을 분석하였고 이를 바탕으로 저류지 생태공원의 설계방향을 도출하였다.

앞서 도출한 설계방향에 따라 저류지 생태공

그림 1. On-line형 저류지 개념도.

그림 2. Off-line형 저류지 개념도.

원의 방재기능 설계를 위한 구조 및 도입시설, 평단면 유형을 제시하였고, 저류지 생태공원의 생태적 보전・복원 계획 및 수환경 유지관리를 위해 생태적 기반조성 방안, 식재설계 방안, 생태환경 보전・복원 계획 및 수환경 유지관리 방안을 제시하였다.

III. 저류지 조성사례와 저류지 생태공원 조성을 위한 설계방향 도출

1. 저류지의 유형 분류

일반적으로 저류지는 입지유형에 따라 저류기능이 해당지역내에서 수행되는 지역내 저류(on-Site)와 우수가 흘러 해당지역외의 중하류부에서 처리되는 지역외 저류(off-Site)로 구분한다. 지역내 저류지는 도시 유역 내에 내린 강우가 우수관거, 유수지 및 하천으로 유입되기 전에 물을 일시적으로 저류시켜 비가 내린 그 지역에서 우수를 저류하는 방식으로 주차장, 교정, 공원 등에서 많이 사용되고 있다. 지역외 저류지는 유역의 말단부에 설치되어 우수유출량을 일괄적으로 처리하기 때문에 저류 가능량이 높고 배수계획상의 안전도가 높다. 지역외 저류지는 하천본류에 시설을 설치하는 형태로서 상시저류가 가능한 하도내 저류(on-line)와 본류에서 허용방류량을 초과하는 홍수량을 횡월류제를 통하여 월류시키는 하도외 저류(off-line)로 구분된다(그림 1, 그림 2).

저류지의 유형을 구분하기 위해 우수유출억제와 재해저감시설에 관한 국내의 여러 문헌을 검토한 결과, 서울시정개발연구원(1995)과 국립방재연구소(1999, 2002)에서 우수저류시설을 크게 지역외 저류, 지역내 저류로 동일하게 구분하였으나, 국립방재연구소(2002)의 경우 보다 세분화된 항목을 제시하고 있다(표 1).

이와 같은 선행연구의 분류체계를 토대로 저류지 생태공원의 목적유형과 입지유형, 저류시간, 구조, 조성방안에 따라 대구분하였고, 중구분, 소구분 등으로 세분화하였다(표 2). 저류지의 저류시간에 따라 평상시에는 건조 상태를 유지하다가 강우로 인해 표면수 유출이 있을 때에만 일시적으로

표 1. 국립방재연구소의 저류지 유형분류.

시 설	입지유형	구 분	내 용
저류시설	off-site (지역외 저류)	유수지	다목적유수지
		방재조절지	방재조절지, 우수저류시설, 하수도오수조정지, 대규모택지개발조정지
	on-site (지역내 저류)	유역저류시설	공공・공익시설에서의 저류(공원, 학교, 광장저류 등)
		단독주택저류지	단독주택의 정원에서의 저류(화단, 저류조 등)

표 2. 저류지 공원의 유형분류.

대 구 분	중 구 분	소 구 분
저류지 공원의 목적유형별 구분	홍수방어 이용 공간으로 활용 초기강우 비점오염원 유출억제 수자원 확보 환경보전 환경정비 및 경관향상	단일목적형 복합형
입지별 구분	지역외 저류 (off-site 저류)	on-line 형 off-line 형
	지역내 저류 (on-site 저류)	
저류시간별 구분	일시저류시설 상시저류시설	
구조적 구분	평면구조	단일목적형 변화형 유기적 형태
	단면구조	단단면 다단면
저류지 공원의 조성방안에 따른 구분	댐 식 굴입식 지하식	

저류하는 일시저류형(detention)과 평상시에도 일정량의 물을 저류하는 상시저류형(retention)으로 구분된다. 생태공원 조성을 위해서는 상시저류형으로 조성하여 생태적 핵심(ecological core)이 될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 구조적인 부분에서는 변화형이나 유기적인 형태로 계획하는 것이 바람직하며, 토지이용의 효율을 위해 다단면의 단면구조가 적합하다.

2. 저류지 공원 조성의 법제적 검토와 시행상 문제점 도출

저류지 공원의 법제화 과정은 1999년 저류지가 공원시설의 종류에 추가되고 저류지를 포함한 공원시설면적의 합계비율 한도를 60%까지 예외 인정하는 것부터 시작하였다. 2000년 「도시공원내 저류시설 설치 및 운영지침」이 작성되었고, 2005년 「지속가능한 신도시 계획기준」이 마련되면서 저류지공원과 관련된 사항이 만들어졌다. 「도시공원내 저류시설 설치 및 운영지침」 제 5조에 따르면, 저류시설은 도시계획법 제24조 및 도시계획시설기준에관한규칙 제3조의 규정에 의하여 도시계획시설 중 저류시설로 중복 결정되어야 하며, 이 경우 저류시설은 도시공원법 제4조에 의한 도시공원에 관한 조성계획에 반영하여야 하는 것으로 명시되어 있다. 하나의 도시공원 안에 설치하는 저류시설부지의 면적비율은 해당 도시공원 전체면적의 50% 이하로 하되, 공원관리청이 수변공간 조성 및 공원시설과의 겸용 등 불가피하다고 인정하는 경우와 기존의 저수지를 저류시설로 이용하는 경우는 예외로 하였다. 따라서 대부분의 개발 주체는 저류지를 재해평가는 물론, 명목상으로는 도시공원의 가처분 면적으로 포함하고 있다.

저류지공원의 녹지면적(공원시설 중 조경시설과 상시저류면적 포함)은 상시저류시설의 경우 60%, 일시저류시설의 경우 40% 이상으로 하며, 저류시설부지는 잔디밭・자연학습장・운동시설 및 광장 등의 기능을 가진 다목적 공간으로 조성하고 침수로 인한 피해가 적고 유지관리가 용이한 시설을 설치할 것을 명시하고 있다. 또한 상시

저류시설(제 16조)에 대하여 자연생태계복원에 의한 자연학습장 및 주변환경과 조화되는 수변공간으로 다양한 환경을 조성하고, 저류기능 유지와 함께 동식물 군집이 풍부하게 유지되도록 하며, 자연형 호안 조성(제 17조)과 수생식물에 의한 수질정화(제 18조)를 원칙으로 하도록 하고 있다. 식생기준(제 19조)에 대해서도 수생식물, 습지식물, 건생식물군으로 초본류, 관목류, 교목류를 적절히 혼합하여 동물의 서식환경으로 제공하도록 명시하고 있다.

그러나 대부분 조성되는 저류지는 공원으로 활용되기는 커녕 혐오시설로 방치되고 있다. 현재 저류지는 재해방지용 시설로서도 공원으로서도 제 기능을 하지 못한 채 관심의 사각지대에 놓여있다. 결국, 생태환경이나 주거환경을 위한다는 명분아래 시행되고 있는 저류지 공원의 가처분 면적 허용이 실제적으로는 경제적 논리에 의해 변질되어 지역주민의 삶의 질을 저하시키고 있다. 그러나 저류지 공원과 관련된 연구, 설계방법론과 조성사례는 매우 미흡하다.

3. 국내외 사례분석을 통한 저류지의 생태공원화 방안

본 절에서는 저류지 공원의 국내외 사례를 조사 분석하고 설계방향을 위한 이슈를 도출하였다. 저류지는 치수목적의 일반적인 저류기능을 갖춘 방재용 시설을 의미하고, 저류지공원은 치수목적의 저류기능과 방재기능을 고려한 공원시설을 포함한 것이며, 저류지생태공원은 치수목적의 저류기능시설과 공원시설은 물론, 상시저류지(retention)를 도입하여 생태습지 등을 조성하여 생태복원이나 환경복원 개념을 도입한 시설로 및 생태적 시스템 및 구분하였다(표 3).

현재 국내 저류지 조성사례의 경우, 한국토지공사의 택지개발지구내에 저류지가 조성된 사례 43개소를 조사해 본 결과 1,000m^2 이하의 소규모부터 30,000m^2 이상까지 다양하였으며, 5,000m^2~10,000㎡의 저류지 규모가 43개소 중 37%로 가장 많은 비율을 차지하였다(그림 3). 택지개발지내 저류지공원의 조성규모는 입지나 근린공원의 면적 등을 감안하고 방재기능 수행을 위해 최소한의 규모는 확보되어야 할 것으로 보인다. 공원으로서 가처분 면적에 포함된 것 중에는 공원기능보다는 오히려 혐오시설로 여겨지는 경향도 있다. 택지개발의 공익적 측면과 수환경의 환경친화적 이슈를 감안할 때, 저류지를 도시내 인간과 자연을 위해 적극적 생태공원으로 조성할 수 있는 방안제시가 필요할 것으로 보인다.

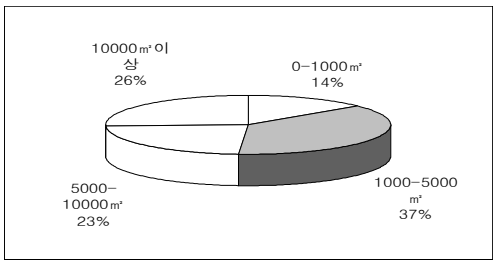


그림 3. 한국토지공사의 택지개발지구내 조성된 저류지 면적 분석결과.

국외사례의 문제점 분석 및 조성방향을 도출한 결과, 일본사례는 방재기능을 수행하면서도 토지이용을 중시하여 공원화 시설에 보다 적극적인 경향이 있다. 북미사례의 경우, 야생동물서식처복원, 지하수충전 및 우수저장을 주목적으로 하고 있다.

저류방식의 경우, 이미 조성된 국내외 저류지 및 저류지공원 사례에는 일시저류형태가 대부분을 차지하고 있으나, 주로 선진국에서 최근 조성되는 저류지 생태공원 사례에서는 상시저류형태가 도입되는 경향이 있다. 우리나라처럼 토지이용효율을 강조하는 일본의 사례에서 살펴보면, 저류방식이 상시저류형태로 조성될 경우 생태적 다양성, 경관 향상, 토지이용 효율성 증가 등이 가능할 것으로 보였다. 그러나 평상시 유지용수의 수질 악화 문제나 초기강우시 유역의 비점오염원 관리 문제와 생물 서식처를 위한 주변토지 이용과의 네트워크 문제 등이 개선되어야 할 점으로 분석되었다.

표 3. 사례종합분석.

사 례 명			우수저류형태	조성 목적 및 문제점
저류지	국외	미국, 플로리다 올랜도***	일시저류연못 잔디도랑	· 1,100~1,500 mm/yr의 강우량을 담당하기 위한 규모로 설계 · 바닥표면을 얕게 굴착했고 자연적인 저지대 식생이나 잔디 식재
		미국, 하와이 마우이주***	침투연못	· 유출수 저류기능과 수자원확보를 위한 지하수 재충전 웅덩이 설치
		독일, 헬레스도르프주거단지****	우수저류연못	· 저류지 조성으로 하천 부하 낮추고, 우수정화능력 높임 · 우수저장조, 연못, 침투시설 등 복합적인 우수관리체계
저류지공원	국외	일본, 오오바카와조절지*	일시저류연못	· 담수빈도가 적은 지역에 스포츠 시설 조성
		일본, 키리가오카유수지*	일시저류연못	· 운동공간으로 활용, 영리사업 추진
		일본, 주거단지내저류지*	일시저류연못	· 저류지 공간을 주차장, 유희공간으로 활용
		미국, 시애틀 Meadowbrook Pond***	일시저류연못	· 지류복원사업 및 야생동물의 서식처 복원의 일환으로 우수침투연못을 건설
		미국, Medford, New Jersy***	침투연못 잔디도랑	· 수문학적 토양분류체계를 조합해서 유출량 증감 계산함 · 유출수를 모두 침투시키기 위한 바닥면적을 4가지 토양침투율 범주에 따라 구할 수 있도록 함
	국내	군포 산본신도시조절지***	상시저류연못 일시저류녹지	· 평상시, 강우시 분리 활용 모형 도입 · 주변지역과의 생태적 연계성 없고, 방재위한 시스템적 접근 없음 · 상시저류 연못의 수질악화문제 발생
		군산 수송2지구 저류공원*****	일시저류녹지	· 단지내 생태계 연계 부족하고, 인위적 공간으로 활용 · 일정구간 상시저류공간 필요
		대전 노은1지구 저류지**	상시저류연못	· 방재기능을 위한 사례로서, 주변지역과의 생태적연계성 고려 안함 · 정체성 연못조성으로 수질악화, 악취발생 문제 대두
저류지생태공원	국외	일본, 오사카 네야가와 저류지 공원******	상시저류연못	· 홍수빈도 고려한 다단계 구조 · 녹지, 연못 조성으로 체육, 휴양 및 놀이공간으로 활용
		일본, 오사카 소가가와 치수녹지******	일시저류연못	· 주차장 및 체육공간으로 활용
		일본, 카미소야기 우수조정지*	상시저류연못	· 전망대, 실개천 조성하여 자연경관 고려함
		미국, 콜로라도 키스톤리조트***	인공습지	· 야생동물 서식처 복원 및 시각적 즐거움 제공 · 우수처리기능의 인공습지와 교육적 기능의 자연습지로 구성

*국립방재연구소(1999), **성도용 외(2002), ***남상채(2002), ****이태구(2000), *****한국토지공사(2005), ******연구자 현장 답사

일반적인 개념으로 생태공원이란 도시 내에서 생물이나 자연과 접할 수 있는 공원을 말하고, 자연이 보다 풍부하고, 공원이용객들이 생물이나 자연과 접촉하는 것을 목적으로 찾는 공원을 말한다(龜山 章, 1998). 저류지 생태공원에서 도입하고자 하는 공원의 개념은 생물다양성의 보존이나 생물과 접할 수 있는 장소로서 도시민에게 생물 또는 자연을 보다 풍부하게 접하도록 한(high contact) 공원이라고 볼 수 있다(변우일, 2001).

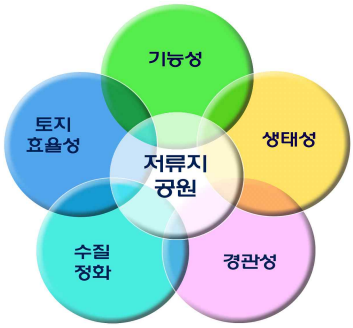


그림 4. 저류지 생태공원설계를 위한 이슈.

이와 같이 선진사례를 통해 저류지 생태공원을 조성하기 위해 도출될 수 있는 설계이슈는 다음과 같다. 우선 저류지공원의 유형과 홍수빈도에 따라 적정구조와 기능을 갖춘 도입시설 및 안전방재시설(기능성)과 친수공원시설 등(토지효율성)이 설계되어야 하며, 이를 바탕으로 생태적 수질정화방안(수질정화)과 생물 서식처를 위한 생태설계(생태성)와 경관설계(경관성)가 되어야 한다(그림 4).

IV. 저류지 생태공원 설계를 위한 구조 및 시설유형 전개

1. 저류지 적정규모 산정 및 안전방재시설

저류지의 규모산정을 위한 저류지의 용량은 개발전 유량곡선과 개발후 유량곡선을 도출하고, 그 차이만큼을 저류할 수 있는 정도이다. 저류지를 공원, 운동장 등의 다목적으로 이용하는 경우는 이용측면에서 침수빈도가 문제가 되므로 저류부 형상결정시 다단식으로 하는 것이 경제적이다. on-line 유형의 경우, 그림 5와 같이 홍수시 증가된 총유출량을 제어하는 형태로써 허용방류량 곡선과 개발전 첨두유량 곡선과의 차이만큼 저류지 용량으로 확보하는 유형이며, 저류수심보다 저류지 부지면적이 어느 정도 확보되어야 한다. off-line의 경우, 그림 6과 같이 배수로의 일정수위까지는 저류지에 저류시키지 않고 일정수위 이상에서만 저류시키는 방법으로써 허용방류량 곡선과 개발전 첨두유량 곡선과의 차이만큼 저류지 용량을 확보하는 유형이다. 유역면적은 크나 개발면적이 적고, 첨두유량 증가비율이 30% 이하로 작은 경우 채택하는 것이 경제적이다.

저류지를 공원화 하기 위해 가장 중요한 시설은 안전방재시스템이다. 이를 위해 중앙감시실을 마련하여 녹지내의 모니터 및 원격 측정데이타 통신장치에 의해 각 수문 및 각 지역의 경보설비를 원격 조작할 수 있도록 한다. 또한 주변 환경을 고려하여 탈취설비와 수위계, 수문계도계, 유량계 등의 계측장비를 설치하여 저류지의 경보시스템과 연계한다. 공원시설 내에는 위험장소에 안내판을 설치하도록 하며, 이용객의 안전을 위

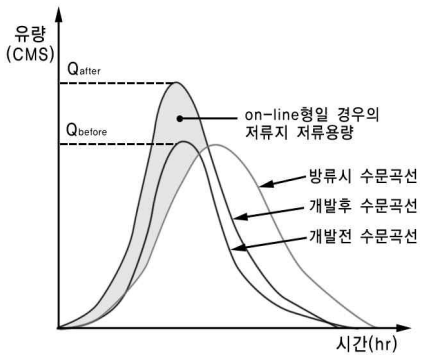


그림 5. on-line형 수문곡선[1)]

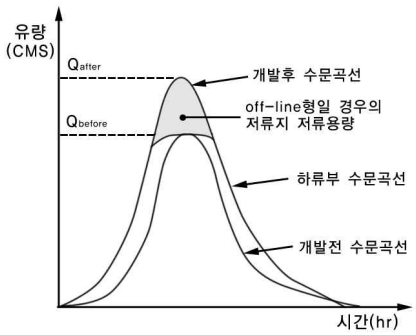


그림 6. off-line형 수문곡선[2)]

1), 2) 한국토지공사 단지설계처. 1999. 단지개발에 따른 저류지 설계방안. p.9의 그림을 본 연구자가 재가공한 것임.

그림 7. 감시탑 사례.

그림 8. 관찰데크의 펜스사례.

그림 9. 제방위의 관리사무소.

그림 10. 쇄굴방지턱 조성 사례.

해 난간이나 울타리를 조성하고, 관찰데크는 안전을 위해 스테인레스 스틸 난간을 설계한다. 야간의 안전을 위해 조명시설을 설계하고, 저류수심이 깊은 겸용부지에는 피난용으로 경사 1 : 2 이하의 계단을 설치하며, 저류지 공원의 퇴사, 안전, 수리시설 등의 관리를 위해 관리용 도로를 마련한다. 관리사무소, 화장실 등은 침수되지 않는 제방 쪽에 조성하는 것이 바람직하며, 이용객의 통제를 위해 제방에 출입문을 설계하는 것이 바람직하다. 전기관련 부품은 침수위 상부에 위치시키고, 쇄굴방지턱 및 완충시설을 설치하여 강우시 하천에서 유수 유입시 토사 등의 쇄굴을 방지하기 위한 콘크리트 단을 설계하여 완충역할을 하도록 한다.

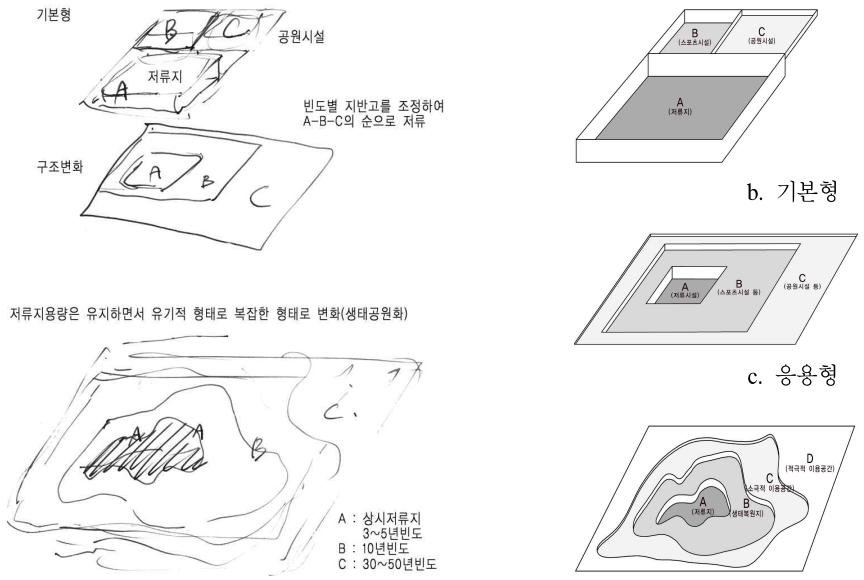
2. 저류지 생태공원 구조의 유형구분과 도입시설 검토

저류지 생태공원 설계를 위한 적정 평면구조의 유형을 본 연구자는 brain storming과정을 통해 크게 세 가지로 유형화하였다(그림 11).

첫째, 기본형은 저류지공원 평면구조 중 대표적인 것으로서 홍수빈도에 따라 A지역-B지역-C지역 순으로 저류순서를 다르게 두는 구조이다(그림 11, a). A 지역은 지형적으로 가장 낮고 침수빈도가 높으므로 저류지, 연못, 호수 등으로 활용하며, B 지역은 침수빈도가 잦지 않으므로 스포츠시설 등이 위치하고, C 지역은 침수빈도가 드물어 적극적 이용시설로 활용한다. A 지역의 예를 들면, 3~5년 빈도로 잦은 침수가 발생하는 저류지공원 부분에는 침수에 비교적 안전한 공간으로 조성되어야 하며, 상시저류지 도입이 가능하다. 상시저류지와 연결된 친수공간으로서 샛강, 실개울, 친수공간 주변 산책로를 조성하고 주변 환경과 네트워크할 수 있는 자연형 습지, 습초지, 저류지, 생태연못 등을 조성한다. B 지역 설계예시의 경우, 10년 빈도로 침수되는 지역으로서 간헐적 침수에 대비할 수 있는 시설을 조성하고 소극적 이용공간으로서 스테인레스 스틸, 방부목재 등의 소재를 사용한 이용시설로 게이트볼장, 놀이터, 공원, 녹지(생태숲), 피크닉장, 자전거도로, 산책로 등을 도입한다. C 지역 설계예시의 경우, 30~50년 침수빈도 지역으로서 가장 침수빈도가 낮으므로 적극적 이용공간으로 활용한다. 그러나 침수위험에 노출되어 있기 때문에 방부소재를 사용하고 이용객을 위한 대피시설, 안내시스템 등을 구비하고, 주차공간, 체육공간, 야외광장, 야외무대, 자전거도로 등을 도입한다. 저류지공원에서 침수시 상대적으로 안전한 구역인 제방은 침수시 위생문제를 일으킬 수 있는 상하수도관 및 화장실, 관리실 등을 조성하는 것이 바람직하며, 배수갑문을 도입한다.

둘째, 응용형 평면구조로 기본형에서 변화되어 좁은 부지에 조성가능하며 토지효율성을 높일 수 있다(그림 11, b). 주로 on-line형에서 사용되며 저류용량을 극대화하기 위해 장방형으로 조성한다. A 지역은 저류시설, B 지역은 휴게 및 스포츠시설, C 지역은 공원시설로 활용한다.

셋째, 생태공원형으로 저류지공원을 생태연못이나 생태공원으로 활용하기 위한 유형으로 저류지 및 생태연못의 형태를 유기적으로 조성한다



a. 평면구조 구상을 위한 brain storming과정

b. 기본형

c. 응용형

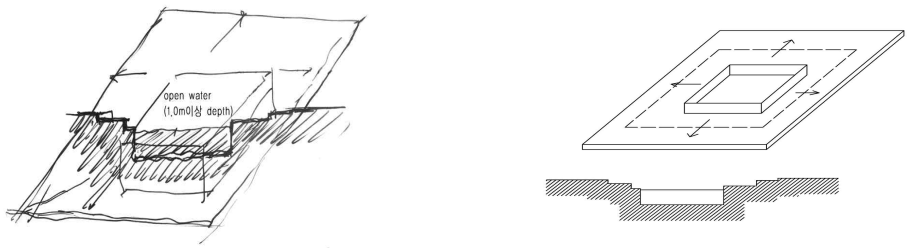
d. 생태공원형

그림 11. 저류지공원 평면구조(변우일, 2005).

(그림 11, c). A 지역은 상시저류지로 활용하고, B 지역은 수변식생대 및 생태복원지를 조성하며, C 지역에는 운동시설이나 휴게시설 등 소극적 이용시설을 배치하며, D 지역은 적극적 이용공간으로 활용한다. 이 유형은 인근 녹지축과도 자연스럽게 연계될 수 있고 주변 수체계에도 유연하게 연계시킬 수 있다.

3. 저류지 생태공원 설계를 위한 평면과 단면구조의 유형구분

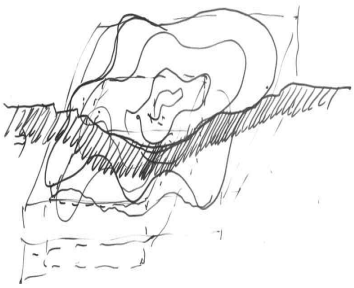
앞서 검토된 저류지 공원시설을 토대로 생태공원구조의 설계모형을 평면적, 단면적 측면으로 구분하여 다음과 같이 발전시켰다. 우선, 평면적 구조의 유형을 발전시키기 위해 본 연구자는 brain storming과정을 통해 면적확장 형태와 생태적 연못을 위한 유기적 형태로 구분하였다(그림 12, 13). 공원시설을 위한 면적확장 형태는 저류지의 필요용량을 일정량 수용하되, 면적을 확대하여 공원화 할 수 있는 형태로 저류지에는 1.0m 이상의 깊이를 가지고 수생식물을 도입한 상시저류지의 open-water 구간 조성이 가능하다. 이 때 저류용량산정, 확장가능면적, 저류지공원 부분별 시설물 도입에 관한 고려가 필요하다. 생태적 연못을 위한 유기적 형태는 저류지공원을 생태적



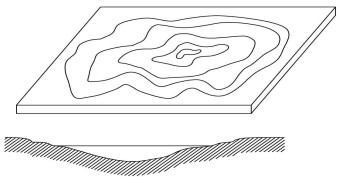
a. 저류지공원 모델 설계의 구조검토를 위한 brain storming 과정

b. 면적확장 형태

그림 12. 생태공원시설을 위한 면적 확장형태(변우일, 2005).



a. 저류지 생태공원 모델 설계의 구조검토를 위한 brain storming 과정



b. 유기적 형태

그림 13 저류지 생태공원설계를 위한 유기적 형태(변우일, 2005).

연못으로 조성하기 위해 단면구조가 완만한 경사를 가진 유기적 형태의 자연형 연못 구조를 띄고 있으며, 1.0m 이상의 깊이를 가지는 open-water 구간을 조성하여 수변호안으로 수생식물의 식재가 가능하게 만들었다.

저류지 생태공원의 단면구조를 설계하기 위해 저류지 생태공원의 부지면적과 주변의 녹지체계 연계, 수체계 연계 상황에 따라 그림 14에서와 같이 brain storming 과정을 거쳐 다양한 형태로 구분하여 보았다. 방재기능을 위주로 한 인공호안형, 다단형, 수직호안-다단호안형과 자연적 형태로 계획하여 상시저류연못을 조성할 수 있는 자연호안형, 저습지형, 중도조성형Ⅰ, 중도조성형Ⅱ 등 다양한 호안으로 구분할 수 있으며 여건에 따라 각 호안의 조합이 가능하다(표 4). 호안부는 친환경소재로 마감하며, 침수시 부유되지 않고 물에 쓸려 내려가지 않도록 돌망태, 자연석, 식생마대 등 고정될 수 있는 재료를 사용하도록 한다. 상시저류지 호안(湖岸)부는 정수식물이 생육하고 양서파충류 등의 이동통로이며, 수서곤충류, 어류 등의 서식장소로 활용되므로 바닥의 형태와 깊이, 경사, 도입 재료 등을 다양하게 조성한다.

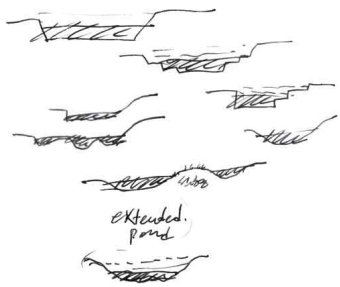


그림 14.저류지 생태공원의 단면구조 설계를 위한 brain storming과정(변우일, 2005).

표 4. 단면구조별 유형.

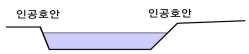
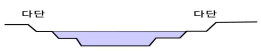
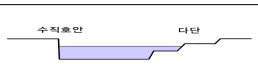
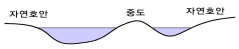
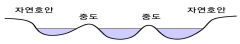
유형명	주요 특징	단면 구조 예시
인공호안형	· 좁은 부지내에서 방재기능을 위한 인공호안조성 형태	
다단형	· 홍수빈도별로 이용면적을 확보할 수 있도록 다단형태로 조성	
수직호안-다단 혼합형	· 좁은 가용부지를 활용하고 이용성을 극대화하는 방법으로 한 쪽면은 수직호안, 다른면은 다단형태로 조성	
수직호안-자연형 혼합형	· 좁은가용부지를 활용하고, 생태적 측면을 극대화 하는 방법으로 수직호안과 자연호안을 복합적으로 사용하는 형태	
자연호안형	· 저류지호안을 자연적 형태로 조성하여 생태복원, 생물서식처 조성 등을 가능하게 하는 형태	

표 4. 계속

유형명	주요 특징	단면 구조 예시
중도조성형 I	· 자연호안형의 변형으로 저류지 가운데 중도를 조성하여 조류서식 및 식생대 조성 등 생태적 기반형성 가능한 형태	
저습지형	· 자연호안형의 변형으로 호안에 수심 0.3~0.6m의 저습지를 조성하는 형태 · 방재기능을 수행해야 하므로 한쪽 호안에 적용하는 것이 바람직	
중도조성형 II	· 자연호안형의 변형으로 저류지 가운데 중도를 두 개이상 조성하여 조류서식 및 식생대조성 등의 효과를 증대시킨 형태	

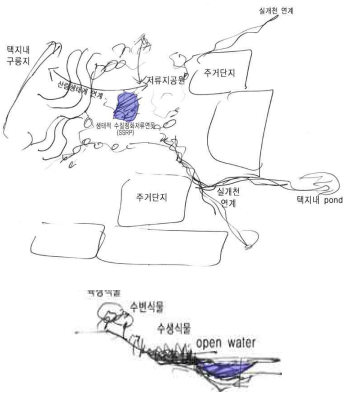
V. 저류지 생태공원 설계를 위한 생태보전 · 복원 계획 및 수환경 유지관리방안

1. 저류지 생태공원의 생태적 기반

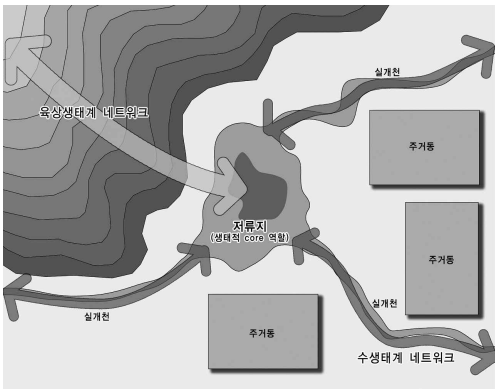
저류지 생태공원의 생태적기반을 확보하기 위해 개발지역내 기존 수자원(호수, 하천, 연못, 습지, 개울 등)과 녹지(산림, 구릉지, 초지 등)는 적극적으로 보전하고 복원하는 것이 바람직하다. 대상지와 그 주변의 녹지체계와 수체계 네트워크를 조성하여 생물서식처, 도시생태거점, 도시환경개선, 경관개선 등의 생태 환경적 기능과 레크리에이션, 관찰, 학습(교육), 체험 등의 이용적 기능이 수행되도록 설계한다. 그림 15에서는 저류지가 단지내 생태네트워크로 연결되는 brain storming 과정을 통해 기존 수림대와 육상생태계로 네트워크되고, 단지내에서는 실개천으로 수생태계가 네트워크될 수 있도록 설계 방안을 제시하였다.

2. 저류지 생태공원의 식재설계 방안

「지속가능한 신도시계획기준」에서는 생태적 환경조성을 위해 생태적 식재계획에 관한 지침을 마련하였고(건설교통부, 2005), 「도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침」 제19조에서는 빗물저류로 인하여 침수되거나 건조한 경우에도 견딜 수 있는 식생으로서 수생식물 · 습지식물 · 건생식물군으로 조성하고 초본류 · 관목류 · 교목류



a. brain storming 과정(변우일, 2005)



b. 단지내 생태네트워크 구상도

그림 15. 생태네트워크로서의 저류지 개념.

표 5. 저류지공원 도입권장 수목.

성상	내습성	호습성	근계성	식재권장 수목	
				우선 수종	보조 수종
교목	강함	강함	심근성	왕버들, 물푸레나무	메타세쿼이어,회화나무,때죽나무
			중근성		전나무,귀룽나무,청단풍
			천근성	버드나무, 능수버들	-
	보통	보통	심근성	느릅나무, 양버즘	느티나무, 신나무, 피나무, 모감주나무, 이팝나무, 감나무
			중근성	팽나무	뽕나무
			천근성	자작나무, 서어나무	오리나무, 붉나무
관목	강함	강함	-	갯버들, 눈갯버들, 키버들	수수꽃다리, 영산홍, 진달래, 자산홍
	보통	보통	-	꼬리조팝	조팝나무, 개나리, 찔레, 앵도, 줄사철, 명자나무
초화류	강함	강함	-	털부처꽃, 금불초, 왕원추리, 물억새	벌개미취, 범부채, 옥잠화, 층꽃
	보통	보통	-	쑥부쟁이, 패랭이, 꽃창포, 부채붓꽃, 노랑꽃창포, 노루오줌, 붓꽃	구절초, 꽃향유, 비비추, 섬기린초, 영춘화, 수호초

주)한국토지공사(2004) 재인용

를 적절히 혼합하여 야생동물의 서식환경을 다양하게 제공하도록 할 것을 규정하고 있다(건설교통부, 2000). 본 연구에서는 이를 바탕으로 생태적 식재계획을 마련하였다. 먼저 식재 후 녹지는 각종 야생동물의 서식지(biotop)로서 가능하므로 생태환경조사를 통해 조류, 곤충류, 파충류, 양서류, 어류의 생태를 먼저 파악하고 서식환경을 고려한 식재설계가 되어야 한다. 생물서식처로서 도시 내 도입 가능한 곤충류와 양서・파충류, 조류의 서식처 조성기법을 도입하여 다양한 생물이 서식할 수 있는 소생물서식처(biotop)를 조성한다(변우일, 2001). 또한 녹지의 종 다양성을 높이고 단위면적당 임목축적량을 높이기 위해서는 다층적 식재구조가 요구된다(서울시정개발연구원, 2004). 특히 도시열섬현상을 완화시키고, 방풍림이나 방재림 등의 기능을 수행하기 위해서는 층고를 달리하여 다층식재를 하는 것이 바람직하다.

저류지의 생태계는 침수와 건조가 교대로 나타나는 환경적 특성이 예상된다(한국토지공사, 2004). 저류지공원의 식재식물은 내습성, 내건성이 강하며 침수후 재생력이 강하고 공원의 기후, 지하수위 변화, 토양조건에 적합한 수종을 선정하는 것이 바람직하다(표 5). 따라서 저류지공원의 식재는 저류지 유입수의 흐름 및 유속과 침수빈도, 체류시간 그리고 저류지의 구성 방식, 식생유형 및 저류지의 환경 특성 등을 고려하여 식재설계하여야 한다.

3. 생태보전・복원계획 및 수환경 유지관리방안

저류지 생태공원 설계를 통해 도시의 단지개발로 인해 축소되고 훼손된 생태계를 보전하고 복원할 수 있다. 따라서 저류지 생태공원을 통한 생태보전・복원계획은 대상지의 환경과 생태조사를 통해 현황을 파악하여 목표종이나 중추종을 선정하고, 이들의 서식처를 특성에 따라 조성하도록 한다(변우일, 2001). 특히 상시저류연못은 생태복원에 중추적인 역할로서 다양한 생물서식

처와 함께 수환경을 유지할 수 있도록 설계한다.

저류지 생태공원을 조성한 사례에서 상시 저류지 유지관리의 가장 큰 문제는 수질이다. 「도시공원내 저류시설 설치운영지침」 제 18조에서 '수질관리는 수생식물에 의한 수질정화를 원칙으로 하고, 지역특성에 따라 적합한 수질정화방법을 도입'하도록 규정하고 있다(건설교통부, 2000). 그러나 국내 사례 중 상시저류연못이 조성된 저류지공원에 수질악화문제가 발생하고 있으며, 이에 대한 상시저류연못의 수질관리방안이 필수적으로 마련되어야 한다. 북미에서는 우수처리를 위해 인공습지 저류지를 조성하였고, 우수한 수질정화효과를 보이고 있다(Hammer,1990). 저류지 생태공원의 수질관리방안으로 생태적 수질정화뿐만 아니라 생물서식처, 친수공간, 환경교육공간, 경관향상 기능을 국내여건에 맞게 복합적으로 수행할 수 있는 생태적 수질정화비오톱(SSB : Sustainable Structured wetland Biotop)시스템을 도입하는 것이 바람직하다고 판단되어 그림 16에서 예시하였다. SSB공법은 환경부 최초의 점・비점오염원 수질정화 시범사업에서 도입된 이래로 그 처리효율 등[3]이 여러 곳에서 검증된 바 있는 국가 공인된 신기술로서, 수생식물에 의한 다단계셀 구조의 수질정화 기능 뿐만 아니라, 생물서식처 및 생태공원화 할 수 있는 시스템이다(변우일, 2005a). 이 시스템에서 제시하는 바와 같이 저류지 생태공원의 수질관리는 평상시(비강우시)에는 상시저류수의 수질정화가 되도록 하고 강우시에는 그림 16과 같이 초기강우에 포함되어 있는 인근 유역의 비점오염원을 수질정화하는 것이 바람직하다. 저류지 내부의 생태적 수질정화비오톱 시스템 계획시 유입수량과 유출수량, 체류수량을 고려하여 단계별로 수량을 계획하며 유입수의 수질을 측정하여 처리효율을 산정하도록 한다. 저류지내 생태적 수질정화비오톱 시스템의 배치방안은 다음과 같이 예시할 수 있다(그림 17).

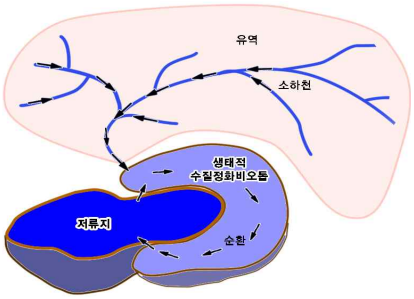


그림 16. 생태적수질정화비오톱 비점오염원 처리모형(변우일, 2005).

대규모 저류지의 경우 on-line형이 대부분이므로 상시저류가 가능한 on-line형 저류지공원의 생태적 수질정화비오톱을 수변에 조성하여 수질을 정화시키도록 한다. 유입수량, 유입수의 수질, 체류시간, 목표수질, 유황 등을 고려하고 강우빈도와 강우량에 따른 유입수량이 변화를 고려해야 한다. off-line형 저류지공원의 생태적 수질정화비오톱 시스템은 개발유역의 하수처리수, 우수 등을 상시저류지의 유지용수로 활용한다. 이 경우, 비점오염원의 유입이 많아지므로 생태적 수질정화비오톱으로 유역내 하수처리수의 2차 처리 및 우수를 정화시킨다. 저류지 면적이 소규모일 경우, 생태적 수질정화비오톱은 규모에 맞는 소단형, 선형 등으로 계획하고 소생물서식처(biotop), 친수공간, 생태적 수질정화 및 경관향상 등의 기능을 수행하도록 한다(변우일, 2005b).

또한 생태적 수질정화비오톱 조성을 통해 단지내 생태 네트워크의 거점(ecological core)으로서 역할과 어류, 양서・파충류, 조류서식처 조성 등을 조성하여 적극적인 생태복원지와 환경교육의 장으로 활용이 가능하다(그림 18, 19).

3) 2001년 생태적 수질정화비오톱 시스템으로 설계, 적용된 주암호 인공습지 Bio-Park의 경우, 설계시 목표처리효율은 BOD 50%, T-N 50%, T-P 40%였으나, 조성된 2003년 2월부터 6월까지의 처리효율 모니터링결과(환경관리공단), BOD 55.9%, T-N 59.9%, T-P 76.4%, SS 68.1%의 성과를 나타내었다. 또한 생태복원과 생태공원으로서 모범사례지로 꼽혀 인공습지견학 및 자연학습, 휴식공간으로 이용되고 있다.

그림 17. 저류지공원내 생태적 수질정화비오톱 배치예시도.

그림 18. 합강리 생태공원에 조성한 생태적 수질정화비오톱 예시(LEED환경연구원, 2005).

그림 19. 오천리 백로복원지 주변 생태적 수질정화비오톱 예시(LEED환경연구원, 2005).

VI. 결 론

본 연구는 저류지 생태공원 설계모형 개발의 일환으로서 기존의 재해방지 기능의 저류지를 생태공원으로 계획, 설계하는 방안을 제시하고자 설계방향과 구조 및 시설 유형을 구분하였고, 저류지 생태공원 설계를 통한 생태보전·복원과 상시저류지의 수환경유지관리 방안을 제시하였다.

국내외 사례를 통해 복합적 토지이용을 위한 효율성, 방재를 위한 기능성, 초기강우 비점오염원의 생태적 수질정화, 생물서식처 조성을 통한 생태성 확보 및 경관성을 고려한 저류지 생태공원 조성의 방향을 도출하였다. 저류지 생태공원의 적정구조를 위해서는 좁은 면적의 저류지 면적을 확장하는 형태와 유기적 형태 등 2가지 평면유형과 8가지의 다양한 단면구조로 구분하여 저류지공원의 현황에 따라 다양하게 구조를 조합하고 응용하여 설계할 수 있도록 하였다. 저류지 생태공원의 도입시설은 저류지의 홍수빈도에 따라 구분하여 안전방재 시스템과 공원의 역할이 조화를 이루도록 해야 하며, 생태적 거점으로서의 역할을 수행할 수 있도록 상시 저류지를 조성한다. 저류지가 생태공원의 역할을 하기 위해서는 단지내·외 녹지체계와 수체계에 대한 생태네트워크의 거점으로 조성할 수 있도록 해야 하며, 저류지의 생태적 환경에 적합한 식물을 선정하여 다층구조로 식재설계 하는 것이 바람직하다. 상시 저류지는 소생물서식처로서 목표종 또는 중추종을 선정하는 등 체계적인 생태보전·복원 계획이 필요하다. 하지만, 저류지 생태공원을 조성한 선진국 사례에서 상시 저류지 유지관리의 가장 큰 문제는 수질이다. 아를 위해 본 연구에서는 생물서식처, 친수공간, 환경교육공간, 경관향상 기능을 제공하면서도 생태적으로 수생식물을 이용하여 다단계로 수질정화하는 생태적 수질정화비오톱 시스템 도입을 제시 하였다.

최근 저류지 관련설계 실무분야에서는 친환경 설계에 관한 시대적 요구가 많으나 우리나라에서 모델이 될 만한 저류지 생태공원 조성사례는 전무하다. 따라서 본 연구가 저류지를 생태공원으

로 설계하려는 시도를 지닌 설계자들에게 기초적인 틀을 제공하였으면 하는 바램이다. 본 연구는 추후 실제 사례를 수행하면서 각기 다른 대상지의 현황 및 여건에 따른 저류지 생태공원 조성방안에 대한 세부적인 설계모형이 몇 가지 유형으로 연구개발 되어야 할 것이며 저류지 생태공원의 특성에 맞는 시설 및 공법개발이 이루어져야 할 것이다. 더 나아가 설계시에 생태환경적 기초조사와 생태환경복원시공이 될 수 있는 여건이 마련되어야 하며, 모니터링 후 유지관리에 관한 합리적인 방안이 마련되어야 할 것이다.

감사의 글

저류지 공원화 계획에 관한 초기연구를 위해 한국토지공사 시설사업처 조의섭팀장, 조창종과장, 신명옥과장, 김선영씨, 연구개발처 한형근 책임연구원 등으로부터 연구자료협조와 도움을 받았음을 감사드립니다. 최근 관련 연구를 위해 토목, 조경, 환경 팀 등의 task force 팀을 조성하여 저류지 생태공원 조성을 위한 설계에 도움을 주고 있는 SH공사 유인표팀장, 김건씨 등께도 감사를 드리며, 관련 연구에 함께 동참한 LEED 환경연구원의 이동영, 이동현 씨에게도 감사드립니다.

인 용 문 헌

건설교통부. 2000. 도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침.

건설교통부. 2005. 지속가능한 신도시계획기준.

국립방재연구소. 2002. 수해지역 저류지 확보 및 활용방안 연구. pp.57-58.

국립방재연구소. 1995. 우수유출저감시설 설계치침연구 II. pp.113-115.

남상채. 2002. 고밀도 주거단지내 우수저류녹지 도입타당성 연구. 서울대학교 석사학위논문. pp.11-24.

변우일. 2001. 생태공원 어떻게 조성해야 하는가, 환경부 자연생태교육강좌 14회.

변우일. 2005a. 자유수면형 인공습지 생태공원설계에 관한 구조적 연구-생태적 수질정화비오톱(SSB)공법 적용을 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회 춘계학술발표회. pp.63-70.

변우일. 2005b. 자연형하천 복원설계-굴포천방수로 2단계 건설사업 제3공구 생태방수로 설계사례를 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회 추계학술발표회. pp.45-60.

서울시정개발연구원. 1995. 우수유출률 저감대책. pp.57-58.

서울시정개발연구원. 2004. 서울시 비오톱 유형특성과 생물다양성 증진 방안.

성도용 외. 2002. 개발사업에 따른 재해영향평가의 개선방안, 토지개발기술지. 제1호.

우창호. 2005. 다목적 저류지의 수질개선을 위한 설계과정 및 설정에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회 26(1) pp.97-109.

이순탁 · 한형근. 2003. 개발사업에 따른 재해의 효율적 저감방안 연구-저류지 유형별(on-line/off-line) 채택 방안.

이태구. 2000. 주거단지의 친환경적 우수처리 실태에 관한 연구. 한국주거학회지 11(2) : 117-127.

한국수자원공사. 2005. 안동임하 다목적 댐 주변 및 저수지 생태보전 복원 기본계획. pp.164-182.

한국토지공사. 1999. 단지개발에 따른 저류지 설계방안.

한국토지공사. 2001. 재해저감시설의 설계.

한국토지공사. 2003. 개발사업에 따른 재해의 효율적 저감방안 연구.

한국토지공사. 2004. 저류지 조경계획 및 설계-저류지 공원화 사업시 침수문제를 중심으로.

한국토지공사. 2005. 군산수송2지구 택지개발사업 조경실시설계.

한국토지공사. 2006. 저류지공원 조성계획에 관

한 연구.

한형근. 2001. 단지개발에 따른 재해영향평가의 합리적인 이행방안.

Debo, T. N. and A. J. Reese. 1993. Municipal Storm Water Management. Lewis Publishers.

Hammer, D. A. 1990. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. pp.21.

Kadlec, R. H. and R. L. Knight. 1996. Treatment wetlands. CRC Press/Lewis publishers, Florida, USA.

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.

Metropolitan Washington Council of Governments (MWCOG). 1992. Design of Storm Water Wetland Systems. Washing, DC.

Persson, J. 1999. The hydraulic performance of ponds of various layouts, paper submitted to Int. Jnl. of Urban Water, UK.

Shutes, R. 2001. Artificial wetlands and water quality improvement, Environment International 26 : 445-446.

US EPA. 1999. Storm water technology fact sheet : storm water wetlands. EPA 832-F-99-025.

龜山 章. 1998. エコパーク：生き物のいる公園づくり. ソフトサイエンス社.