

계류형 수경시설의 지속가능한 운영·관리를 위한 설치방안[†]

- 전주·완주 혁신도시 실개천 용량과 설비계통을 중심으로 -

오창송

영남대학교 조경학과 겸임교수

Installation Design of Landscape-use Artificial Channel for Sustainable Management

-Focusing on the Water Volume and Equipment System of Streamlet in Jeonju and Wanju Innovation City-

Oh, Chang-Song

Adjunct Professor, Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University

ABSTRACT

Although planning techniques linking parks, green areas, and waterways have become common, there are frequent disruptions in the operation and management of landscape-use artificial channels (LuAC). Therefore, this study examined a design to promote the sustainable management and operation of a LuAC using rainwater for the streamlets of the Jeonju-Wanju Innovative City. In order to accomplish the purpose of this study, scenarios were set up by dividing the design into waterhead and waterway portions. First, the scenario regarding the waterhead was analyzed to calculate the water supply and storage required for the waterway and waterhead. The analysis showed that the waterway requires a water supply of 676.8 tons/months, 3,018 tons to 5,512 tons of storage space, and a water depth of 0.75 m to 1.37 m considering the ecological and landscape aspects. The second scenario is to select an effective system of facilities for the operation and management of the LuAC. To accomplish this, a single-circulation system (SCS), which transports water to a highland location was compared to a multi-circulation system (MCS), which supplied water separately to each water space and operated independently. The results showed that the MCS, which was operated independently by small power units, was more effective owing to the vast difference in water supply operation times.

Key Words: Water Circulation Facility, Detention Pond in Urban Parks, Water Balance Analysis, Waterscape Facility, Water supply

[†] : 본 연구는 한국토지주택공사 전북지역본부 전북혁신도시사업단이 발주한 「전북혁신도시 개발사업 조경공사 2공구 실개천 용수변경 추진방안」 용역을 학술적으로 재검토하여 발전시킨 것임.

Corresponding author: Chang-Song Oh, Adjunct Professor, Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea, Tel.: +82-53-810-2970, E-mail: changsong@daum.net

국문초록

공원녹지와 물길을 연결하는 조경계획기법이 보편화되었지만, 대규모 계류형 수경시설의 운영과 관리상의 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이에 본 연구는 전주·완주 혁신도시를 대상으로 빗물을 이용한 계류형 수경시설의 지속가능한 관리와 운영을 모색할 수 있는 설치방안을 검토하였다. 이 연구의 목적을 수행하기 위해 수원지와 수로 부분으로 나누어 각각의 시나리오를 설정하였다. 첫째, 수원지에 관한 시나리오는 수로와 수원지에 필요한 유지용수량과 저장공간을 산정하기 위해 물수지를 분석하였다. 분석 결과, 수로 부분 자체는 676.8톤/월의 급수가 필요하지만, 수원지의 생태적 또는 경관적 측면을 고려하여 3,018톤~5,512톤의 저장 공간과 0.75m~1.37m의 수심 유지가 요구되었다. 둘째, 수로에 관한 시나리오는 계류형 수경시설의 유지관리에 효과적인 설비의 계통을 선정하는 것이다. 이를 위해 용수를 고지대로 압송하여 흘려보내는 단일순환계통과 각각의 수공간에 별도 공급하여 독립 운전하는 다중순환계통을 비교 분석하였다. 그 결과, 소규모 동력장치에 의해 독자적으로 운전하는 다중순환계통이 용수공급에 필요한 운전시간을 최소화 할 수 있어 더 효과적인 것으로 나타났다.

주제어: 물순환시설, 도시공원 내 저류지, 물수지 분석, 수경시설, 물공급

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

수경시설은 주요한 조경시설 중의 하나로 시민들은 자연 상태의 수공간보다 도시에서 볼 수 있는 인위적인 수공간을 선호한다(Bulut and Yilmaz, 2009; Yu, 2013). 이 배경에는 건조한 도시공간에 상시 수량을 확보해 줌으로써 온도 저감의 효과(Oh *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2011; Bea and Yoon, 2012) 및 건강한 생태환경을 제공하기 때문이다(Lianyong and Eagles, 2009; Clarke, 2010; Jo and Lee, 2020). 또한 수경시설은 본질적 특성과 더불어 인간의 지각과 심정을 반영하여 실제적 특성과 은유적 특성에도 영향을 미친다(Oh *et al.*, 2013).

계류형 수경시설(landscape-use artificial channel, LuAC)은 4가지 수경시설 유형(지당형, 분출형, 낙수형, 계류형) 중의 하나이다(Kim *et al.*, 2007). 이 유형은 고구려 안악궁, 고려 만월대, 조선의 궁궐, 화성과 양동마을 등에서 다수의 흔적이 발견되었고, 지당형과 함께 오랜 역사를 가지고 있다. 옛 도성과 마을에서 인위적으로 조성한 계류는 상징성을 갖추는 것과 함께 인간의 활동과 결합하여 경계 설정, 영역 구분, 주민의 교류, 생활 및 생산 기반을 제공하였다(Jeong, 2010).

계류형 수경시설은 현대 도시민들이 선호하는 수경시설이다(Lee *et al.*, 2008). 이 시설은 자연 상태의 공간에서 많이 접할 수 있는 실개천을 재현하거나, 자연형 하천을 축조한 것으로 공원과 도시를 관통하는 인공수로(artificial channel)의 일종이다. 일반적으로 물의 흐름은 빠르지 않으나, 물의 공급량과 지형 경사에 따라 달라질 수 있고, 호안은 자연 재료나 인공 재료의 쓰임새에 따라 다양한 프로그램을 결정할 수 있다. 이것은

노인들에게 어린 시절 '아절함과 함께한 즐거움'을 회상시키고, 어린이들에게 '두려움을 극복'하게 한다(Noh *et al.*, 2020). 더불어 혈압을 감소시키는 생리적 변화에도 이바지한다(Park and Cho, 2016).

계류형 수경시설은 현재 우리나라 계획도시 내 물순환시설(water circulation facility)로 확장하였다. 1990년대 1기 신도시 이후 공원과 녹지가 연결하는 계획기법이 적용되면서 계류형 수경시설은 하천과 함께 도시 물순환 체계를 실현하는 도구가 되었다. 그리고 30년 이상 계획도시에서 수행한 조경계획과 시설계 경험은 계류형 수경시설의 기술을 발전시켰다. 2003년 중동 신도시 '시민의 강'을 시작으로 하수처리수를 이용한 호수와 물길이 결합하였고, 2004년 용인동백지구에서는 지역주민과의 접촉면을 늘리기 위해 빗물을 활용한 여러 갈래의 물길이 만들어졌다. 2000년 중후반 청라국제신도시와 김포한강신도시에서는 주변 하천수를 이용한 주운수로가 건설되었고, 송도국제신도시에서는 해수를 사용한 수처리 순환계획으로 수상택시 운행이 가능하였다.

공원시설로 설치되었던 계류형 수경시설이 도시 규모에 적용되면서 그 연장은 m 단위에서 km 단위로 확장하였다. 연출 수준에 머물러 있었던 수경 설비의 기술은 지속적인 용수공급과 담수 재사용에 집중하였다. 그에 따른 용수량과 동력도 증가하면서 조경공사비 중 설비 부분에 대한 비중도 높아졌다.

계류형 수경시설의 긍정적 효과와 설치 사례가 증가하고 있지만, 현재 원활한 운영이 어려운 실정이다. 전기와 우기의 뚜렷한 강수량 격차, 하천과 지하수 유량의 감소, 상수도 사용에 따른 비용 부담 같은 물리적 여건(Gimpo city, 2015; Choi and Lee, 2016)과 더불어 수량 확보가 안전하다고 여겨지는 하수처리수 재사용에 대한 반대 민원(Ji *et al.*, 2012; Byeon and Lee,

2019)과 물부족 국가로서 수경시설에 대한 상수 사용에 대한 거부감과 같은 정서적 여건은 대규모 계류형 수경시설 운전시간을 줄이거나 정지상태에 이르게 하였다. 시설의 짧은 물 교체 주기는 수질 악화와 대장균 증가와 같은 문제로 번졌고(Zo, 2012; Yoon *et al.*, 2014), 시설의 건전화는 앞서 언급한 수경시설에 대한 기대 효과를 낮추었다. 이러한 맥락에서 계류형 수경시설의 지속적인 관리와 운영을 도모할 수 있는 최적의 방안을 제시할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 첫째, 계류형 수경시설의 운영에 필요한 유지용수량과 그 저장공간의 규모를 산정하는 것이다. 둘째, 수경시설의 시공과 유지관리에 효과적인 설비계통을 구축하는 것이다.

2. 선행연구

조경 수경시설과 그 설비에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 우선 조경분야에서 수경시설에 대한 시공 및 유지관리에 관한 연구는 다음과 같다. Kwon(2002)은 설문조사를 통해 아파트 외부공간 수경시설을 대상으로 관리비 상승, 수질오염, 미가동 기간 경관 훼손 등의 시공 및 유지관리의 문제점을 도출하였다. 이에 대한 개선책으로 그는 지하수 활용, 약품 및 폭기 시설 사용, 생태연못 조성이 바람직하다고 보았다. Joo(2011)는 음악분수의 하자 유형을 설계, 시공, 관리 그리고 자재의 문제로 구분하였다. 그 결과, 설계상 하자의 비율이 가장 높았지만 이를 극복하기 위해서는 위탁관리에 대한 적극적 행정 태도의 전환이 요구된다고 보았다. Kim(2008)은 빗물을 이용한 수경시설을 계획, 설계, 시공, 관리 단계로 구분하여 실태조사를 하였다. 그리고 그 개선방안으로 관련 조례의 제정, 개발 후 지하수 유출량 산정, 침투 및 저류시설 의무화 등을 제시하였다. 위 연구들은 수경시설 설치에 요구되는 구성 요소를 소개하고, 문제점들 제시하는 데 이바지하였지만, 공학적 계산이 배제된 상태에서 소규모의 수경시설에 집중하였기 때문에 기술적 부분에 대한 개선방안을 제시하지 못하였다.

반면, 수자원 분야에서는 도시 규모 차원에서 공학적 수치를 제시한 소수의 연구가 진행되었다. Lee *et al.*(2016)은 LID 시설로 저류지를 활용할 수 있도록 용수 확보 방안과 시설 계획을 제시하였다. 특히 연구자들이 수행한 물수지 분석 방법은 본 연구의 진행에 참고가 되었다. 그러나 그들의 연구는 저류지에 국한하면서 수원지와 도시 물순환 체계와의 연결 관계를 누락하였다. Choi *et al.*(2011)은 청라국제신도시 주운수로와 중앙호수공원을 모형으로 제작하여 목표 수질에 도달하는 방안을 연구하였다. 그들은 대상지의 흐름 정체현상의 원인을 파악한 후 해결책으로 흐름유발장치의 설치를 주장하였다. 그러나 시설 체계에 대한 정비까지 접근하지 않았다.

지금까지 살펴본바 선행연구와 차별화된 연구를 진행하기 위해서는 수경시설에 대한 공학적 검증을 기반으로 담수 상태에 국한하기보다는 도시를 순환하는 물흐름까지 고려할 수 있는 체계와 설비계통으로 그 대상을 확대할 필요가 있다.

II. 방법론

1. 연구 대상 지역

본 연구의 대상지는 전주·완주 혁신도시로 2010년 조정 기본 및 실시계획에 따라 공원녹지 계획이 수립되었다. 당시 물순환시설은 무동력 운전에 기반하여 계획되었다. 실개울(L=4.5km)의 용수원인 하수처리장의 고도처리수는 현 중동근린공원(6호 근린공원) 내에 설치된 저류조로 이송한 후, 지형 경사를 따라 현 읍순근린공원(1호 근린공원) 내 저류지와 오공제를 거쳐 지구 밖으로 방류하는 것으로 계획되었다.

한편, 용수로 사용하는 고도처리수의 수질은 BOD 6mg/L 이하, SS 15mg/L 이하로 경관용 수경시설 목표 수질(BOD 5mg/L 이하, SS 15mg/L 이하)¹⁾에 미치지 않았다. 이 때문에 2012년 5월 전주시는 실개천과 인공호수에 하수처리수 재사용을 금지하였다. 그리고 사업시행자는 설계변경을 통해 덕진구 장동 읍순근린공원과 완산구 중동근린공원으로 연결된 실개천(L=1.64km, Figure 1 참조)으로 한정하여 그 규모를 축소하였고, 용수원을 빗물로 결정하였다.

기존 저수지를 활용한 읍순근린공원의 면적은 89,267m²으로 중복 지정된 저류지는 상시 수면적 4,024m², 관리 수위 0.5m로 계획되었다. 이 공원은 기본계획에 따라 공원 내 저류지를 물순환시설 체계상 고도처리수를 최종 담수하는 종점으로 계획되었다. 그러나 전주시와 사업시행자의 용수원에 대한 변경 조치에 따라 저류지는 빗물을 저장하여 인공 실개천으로 공급하는 시점으로 변경되었다. 이 저류지는 초기 우수의 집수 및 비점오염원을 처리 기능을 담당하여 홍수조절 및 습지관찰원으로서 복합 기능을 갖추었다(Figure 2 참조).

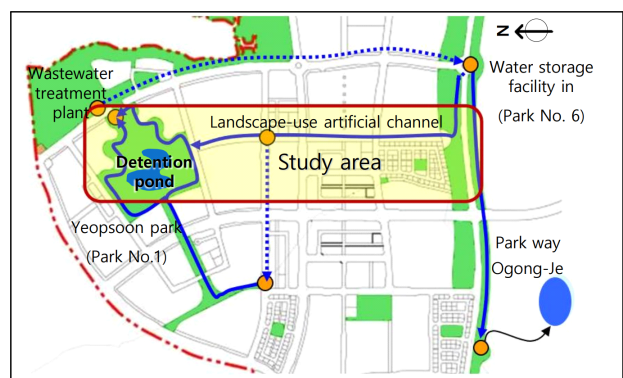


Figure 1. Blue network plan in Jeonju-Wanju Innovation City.
Source: JBDC & LH(2010).



Figure 2. Aerial view and masterplan of the waterhead
Source: Namu wiki(left) and JBDC & LH(2010, right).

2. 연구의 진행

본 연구는 대상지 내 인공 실개울에 필요한 원활하게 용수를 공급하고 흐름을 유지하기 위해 수원지(waterhead)와 수로(waterway)로 나누어 시나리오를 분석하였다(Figure 3 참조).

우선, 시나리오 A는 대상지 용수원의 변경 조치에 따라 염순근린공원 내 저류지의 용수원(빗물)의 저장공간 규모를 결정하는 과정이다. 또한 생태습지로 활용하고 있는 저류지의 성격을 반영하여 물수지 시나리오를 설정한 것이다.

다음, 시나리오 B는 계류형 수경시설의 기계적 시스템에 관한 것이다. 이것은 물순환시설 계통에 따라 발생하는 소요 비용의 차이를 분석하여 최적의 안을 결정하는 과정이다. 이를 수행하기 위해서는 각 설비계통 선정에 필요한 수리 계산을 통해 설비 규격, 공사비 그리고 유지관리비를 산정하는 것이다.

3. 시나리오 A에 대한 물수지 분석

1) 물수지에 대한 기초 이론

안정적인 용수공급의 필요량을 예측하는 방법으로 물수지(water balance)를 분석한다. 사전적 의미로 물수지란 일정 시간, 일정 면적 안에 물의 흡수량과 배출량의 균형을 이루는 상태이다(Figure 4 참조). 물수지 분석은 수문 과정에서의 변화를 계산하는데 적용하는 유입량, 유출량 그리고 저류량을 등을 검토하는 것이다. 즉, 유역 내 강우 등의 입력(input)과 증발과

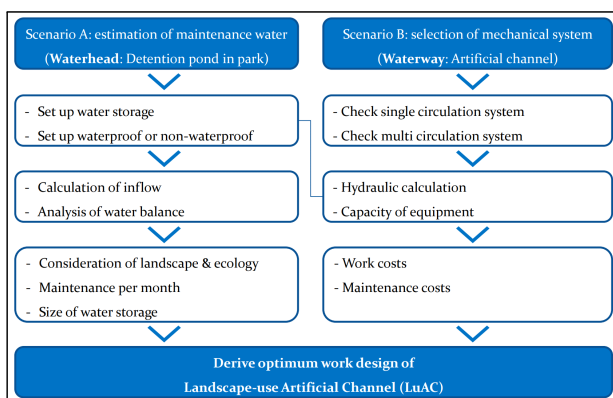


Figure 3. Flow chart to derive optimum scenarios

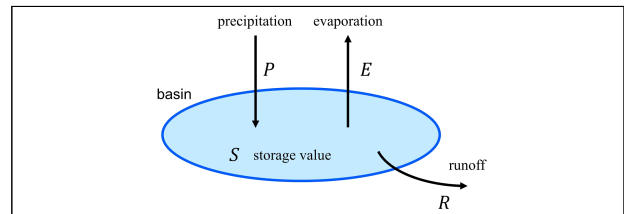


Figure 4. Basic model of water balance
Source: Wikiwand.

침투 등의 출력(output)을 나타내는 유입량과 유출량을 파악하여 각 합계의 차이를 통해 필요한 용수량을 파악할 수 있다(Oh *et al.*, 2018).

Figure 5에서 보여준 것처럼 물수지 분석을 통해 유출과 수요에 대한 계산 과정을 통해 저수지 또는 저류 공간에 필요한 저류량과 급수할 할 수 있는 유효 저류량을 산정할 수 있다(Kim *et al.*, 2020). 그러나 물수지 분석은 유역 크기의 다양성, 시간 단위의 고려, 상·하류를 고려하는 복잡한 네트워크를 적용하기 때문에 관련 학계에서는 정확성을 높이기 위한 다양한 모델을 개발하여 적용하고 있다(Gwon, 2019).

2) 물수지 방정식의 적용

본 연구는 소규모 유역의 기상관측과 유역면적 자료를 활용하여 유출량을 산정할 수 있는 단순 공식으로 널리 알려진 합리식을 적용하였다. 합리식은 적용이 용이하기 때문에 우수 관거의 설계, 자연 하천의 유역 유출량 산정 그리고 저류지의 규모 산정 등에 사용되고 있다(Kwon, 2019).

합리식에 따라 물리적 변수가 적은 저류지는 강수량, 증발량, 침투량을 고려하여 유입량, 저류지 증발량, 누수량으로 수원지의 내수량을 예측할 수 있다(Lee *et al.*, 2016). 또한 수원지의 물을 수로에 재사용한 것은 저장 용량의 손실에 해당한다. 따라서 시나리오 A의 물수지는 Eq. 1으로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Q1. (\text{Maintenance water on waterway}) &= E (\text{Evaporation}) + L (\text{Loss}) \\
 Q2. (\text{Maintenance water on waterhead}) &= E + L + Q1
 \end{aligned}
 \quad (\text{Eq. 1})$$

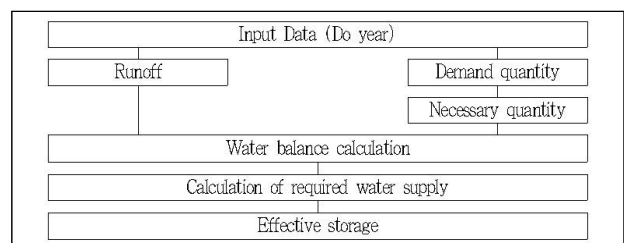


Figure 5. Procedure for water balance analysis
Source: Kim *et al.* (2020).

증발량은 아래의 Eq. 2의 공식을 적용하였다. 이 식에 적용한 증발접시계수 0.7은 호소 표면으로부터 실제 증발량 비를 나타낸 것이다(Lee *et al.*, 2016). 일반적으로 증발량은 수 면적이 넓을수록 많이 발생한다.

$$E \text{ (Evaporation)} = P \text{ (Evaporation pan)} \times K \text{ (Pan coefficient)} \times A \text{ (Surface area)} \quad (\text{Eq. 2})$$

누수량은 유체로 포화된 다공성 물질 내의 흐름량을 설명하는 달시의 법칙(Darcy's law)으로 산출하였다(Eq. 3). 벤토나이트 시트 방수의 경우 투수계수(K)는 평균값 $1 \times 10^{-10} \text{ cm/sec}$ 을, 무방수의 경우 촘촘한 실트 또는 점토질 실트에 해당하는 평균값 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 을 적용한다. 방수제 두께(Δh)는 실시설계 도면에 근거하여 사용한다.

$$L \text{ (Leakage)} = K \text{ (Permeability coefficient)} \times \Delta h \text{ (Waterproofing material thickness)} \times A \text{ (Cross-sectional area)} \quad (\text{Eq. 3})$$

3) 입력 자료의 구축

물수지 분석 과정에서 사용되는 입력 자료는 현황자료(위치, 유역면적 등), 해당 기상관측소의 강우 자료, 물수지 옵션(용수의 사용처) 등이 있다(Kim *et al.*, 2020).

우선, 대상지의 현황자료 중 유역면적은 “전북 전주·완주 혁신도시 개발사업 재해영향평가”에 따라 100ha로 설정하였다. 또한 대상지 재원은 “전북 전주·완주 혁신도시 개발사업 조정기본 및 실시설계 보고서”와 실시설계 도면에 근거하여 Table 1과 같다. 다만 수원지(waterhead)의 수심 0.5m는 용수의 저장 용량에 대한 시나리오에 따라 조정하였다. 그러나 인공 실개울(waterway)의 수심 0.5m 미만은 Ministry of Construction and Transportation(2016)과 Ministry of Environment(2019)의 설계기준에 따라 유지하였다(Table 1 참조).

용수 산정의 기초자료 사용하는 전주시 강우량과 관측증발량은 2000년부터 2020년까지 20년간의 평균자료를 활용하였다(Table 2 참조). 단, 일반적인 수경시설의 운전 기간을 고려하여

Table 1. Specification of designed site area

Class	Basin area (ha)	Normal water area (m ²)	Target water depth (m)	Maintenance capacity (ton)
Waterhead	100	4,024	0.5*	2,012
Waterway		1,837.4	0.2~0.5**	526.1

* Adjustments according to the settings in scenario A.

** Water depth based on landscape design standard by Korean government.

Table 2. Jeonju average precipitation and evaporation during 20 years(unit: mm/month)

Class	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
Precipitation	77.3	91.5	167.9	299.6	277.5	137.6	53.5
Evaporation	111.1	137.5	135.7	119.3	130.0	102.7	84.1

1년 중 4월부터 10월까지로 한정하였다.

자료를 살펴보면, 강우량은 우기와 건기의 명확한 차이가 있지만, 증발량은 매월 일정량을 유지하는 것으로 나타났다.

4) 용수의 최적 저장공간 결정을 위한 시나리오 A의 설정

시나리오 A는 시설 운전요에 요구되는 용수의 저장 규모(storage value)를 설정하기 위한 과정이다. 일차적으로 계류형 수경시설에 필요한 용수량을 산정하는 것이지만 저장공간이 공원 내 생태저류지라는 점을 고려할 필요가 있다. 따라서 인공습지 설계기준에 근거(Eom, 2010; Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2016)하여 수심을 0.5m, 1.0m 그리고 1.5m로 나누었다(Figure 6 참조).

- ① 수심 0.5m는 “전주·완주 혁신도시 공원녹지 기본 및 실시계획”에서 설정된 것이다. 이 수심은 탈질산화(denitrification)에 유리한 깊은 습지의 조건에 해당한다.
- ② 수심 1.0m는 소택형 습지 및 호수형 습지에 적용하는 기준으로 겨울의 동결과 여름의 고온으로 인해 서식 생물에 치명적인 영향으로부터 방어할 수 있다. 또한 부유물질의 침전과 산소 재공급에 유리한 조건이다(Lee *et al.*, 2016).
- ③ 수심 1.5m는 다양한 생물종이 서식할 수 있는 습지에 적용하는 기준이다.

이와 같은 관리 수심을 시나리오로 설정함에 따라 본 연구는 저장 용량을 2,012ton, 4,024ton, 그리고 6,036ton으로 설정하여 물수지 분석을 진행하였다.

수원지에 대한 시나리오는 관리 수심 및 저장 용량에 따라

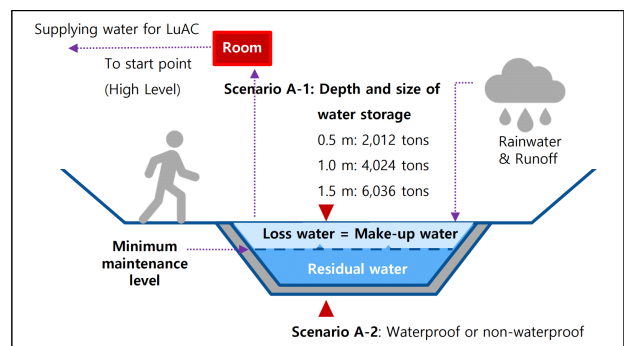


Figure 6. Scenario A for supplying water.

구분하는 것 이외에도 저류지 바닥 부분에 대한 방수 처리의 유무도 포함하였다. 이러한 배경에는 생태저류지를 LID시설로 인식하고 있는 경향을 고려한 것으로(Lee *et al.*, 2016; Choi *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017), 저장된 용수원의 침투 또는 누수에 따라 요구되는 관리 수량의 차이를 파악하기 위함이다.

4. 시나리오 B에 대한 설비 계통 분석

1) 수경 설비의 구성

수경 설비는 물을 담는 수조(또는 구체)를 중심으로 배치한다. 설비의 주요 구성물은 동력을 제공하는 펌프, 물을 전달하는 파이프, 물을 공급하거나 배출하는 노즐, 펌프에 전력을 공급하고 운전을 담당하는 제어반 등으로 구성한다.

수경 설비 구성물의 규격은 수조에 담긴 물의 양에 비례하고, 펌프 위치에 따라 배관 선형이 달라진다. 소규모 수경시설에서는 수조 하부에 공간을 만들어 수중펌프(submersible pump)를 설치하고, 배관은 수조 영역을 따라 설치한다. 반면 대규모 수경시설에서는 펌프의 규격이 커지기 때문에, 인근 육지부에 별도의 기계실을 설치하여 유체를 가압할 수 있는 펌프, 용수 저장 탱크 그리고 수질정화장치 등 부속시설 등을 배치한다.

2) 사례로 본 계류형 수경시설 설비계통의 유형

현재 우리나라 약 20여 개의 계획도시에 물순환시설이 설치되었거나 조성될 예정이다. 그중 용인 동백, 성남 판교, 세종 행북, 김포 한강 그리고 인천 가정의 사례를 살펴보면 빗물, 지하수, 하천수 등 자연수를 용수원으로 사용하고 있다(Table 3 참조). 1990년대에 계획하여 2000년대에 완공된 계획도시는 무동력 상태로 자연유하를 하였다면 2000년대에 계획하여 2010년대에 완공된 계획도시는 순환수를 상용하였다. 2010년 이후 수

자원의 방류에서 물순환 방식으로의 체계 전환은 시설의 규모에 비해 용수 확보의 어려움을 반영한 것으로 볼 수 있다.

주요 사례를 살펴보면 계획도시에서 운영 중인 계류형 수경시설의 설비계통의 유형은 자연유하 방식과 인공순환 방식으로 구분할 수 있다(Figure 7 참조). 계류형 수경시설은 일반적으로 단일유하로 설치하지 않는데(Kim *et al.*, 2007), 용수의 공급(시점)과 방류(종점) 위치에 저류 공간을 조성하여 호수공원으로 활용한다.

자연유하 방식(non-pressure flow system)은 무동력 상태로 물줄기를 흐르게 하여 외부로 방류하는 계통이다. 용인 동백은 빗물을 저장하기 위해 고지대에 총 9개소의 함양지를 설치하고 저지대 호수공원(현 동백호수공원)에서 용수를 체류시킨 후 인근 하천으로 방류한다. 성남 판교는 신분당선 판교역사에서 유출되는 지하수를 사용하고 있다. 2개소의 저류조와 펌프를 설치하여 용수를 고지대로 압송하지만, 수로를 따라 무동력 상태로 흘린 후 인근 저류지와 하천으로 방류한다.

용수를 방류하는 자연유하 방식과 달리 인공순환 방식(artificial circulation system)은 동력(pump)을 사용하여 인위

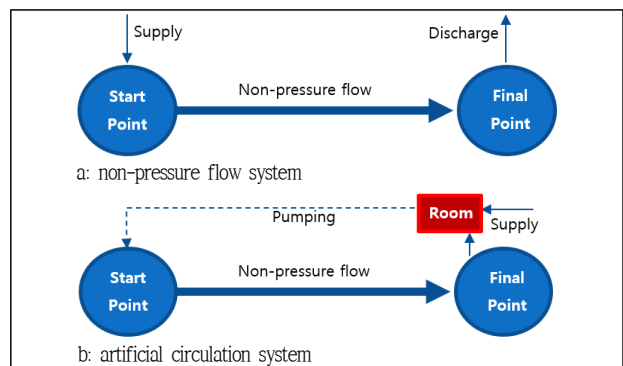


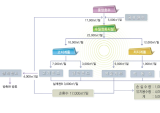

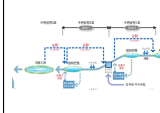


Figure 7. Classification of LuAC systems

Table 3. Main cases of the constructed LuAC

Class (unit)	Dongbeak*	Pangyo**)	Sejong**	Gimpo***3)	Gajeong****
System diagram					
System types	Non-pressure flow system		Artificial circulation system		
Year of completion	2006	2009	2013	2018	2019
Waterway length (km)	7.5	2.4	3.6	13.6	0.7
Lake area (m ²)	22,210	Non	322,800	74,300	-
Water source	Rainwater	Underground water	River water	Agricultural water	Rainwater
Supply (tons/d)	-	6,000	5,000	-	23 (Makeup water)
Circulation (tons/d)	Non		17,000	21,000	900

Source: *Choi and Lee (2016), **Sejong city, ***Gimpo city (2015) and ****LH (2011).

적으로 용수를 공급하여 흐르게 한 후, 그 물을 다시 회수하여 재사용한다. 이 방식은 주로 공원 또는 공동주택단지 등 상수를 활용한 소규모의 계류형 수경시설에 적용한 것으로 도시 규모에서 이 방식은 자연 상태에서 용수 확보가 불안정한 경우에 적용한다. 세종 행복은 금강으로부터 5,000톤/일을 취수하여 여울 계류 및 습지섬 등을 따라 호수로 유입시킨다. 그리고 증발과 방류로 손실된 5,000톤/일과 저지 계통에서 운영된 12,000톤/일은 중앙호수에서 다시 공급한다. 김포 한강에서 사용한 농업용수 21,000톤/일은 복합업무지구, 문화교류지구, 생태환경 지구에 위치한 각각의 발원지로부터 공급하여 수경시설에 20일 동안 체류시킨 후 잔여수를 재사용한다. 인천 가정은 북망산 유역으로부터 발생한 빗물 2,700톤/월을 공급받는다. 세종 행복과 김포 한강이 전체 계통을 물순환하는 것과 달리, 인천 가정은 수공간을 2개 구역으로 나누어 독립 순환하는 방식이다. 그리고 독립 순환을 위해 시간당 50톤과 500톤 규모를 운전할 수 있는 2개의 저류조를 각각의 구역에 배치하였다.

3) 설비계통에 따른 시나리오 B의 설정

본 연구는 빗물 재사용을 전제로 경제성과 유지관리 측면에서 효과적인 설비계통을 분석하고자 인공순환 방식을 기반으로 한 시나리오 B를 설정하였다. 시나리오 B는 세종 행복과 김포 한강에서 적용한 단일순환 계통과 인천 가정에 적용한 다중순환 계통으로 구분하였다(Figure 8 참조).

첫 번째 시나리오인 단일순환계통(single-circulation system)은 저류지에 저장한 용수를 고지대로 압송하여 흘려보내는 일반적인 인공순환 방식이다. 이 방식은 압송 펌프가 연출 역할까지 담당한다.

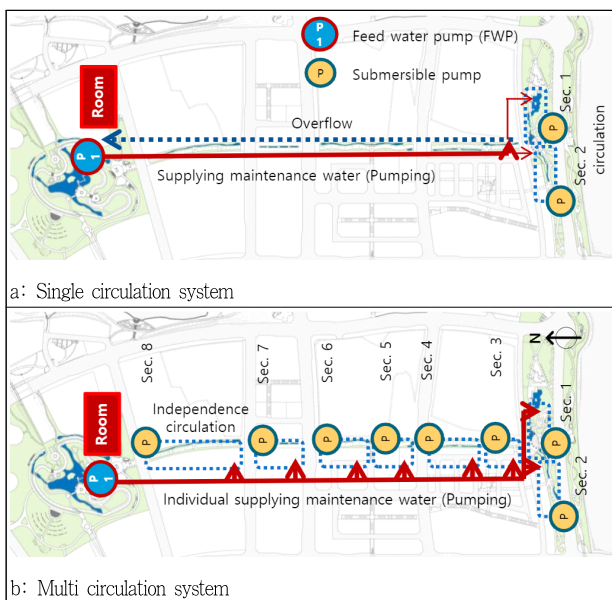


Figure 8. Scenario B based on artificial circulation systems

두 번째 시나리오인 다중순환계통(multi-circulation system)은 수원지에 저장된 용수를 총 8개소의 계류형 수경시설에 개별 공급한 후 독립 운전하는 것이다. 이 방식은 압송 펌프와 연출 펌프가 그 역할을 분리하여 작동한다.

4) 설비에 대한 수리 계산 및 비용 산정

동력을 제공하는 펌프와 유체를 전달하는 배관으로 구성된 수경 설비의 적절한 규격을 선정하기 위해서는 다음과 같은 순서로 수리 계산을 하였다(Appendix 1 참조).

- ① 달시-바이스바하(Darcy-Weisbach) 방정식⁴⁾을 사용하여 펌프의 총 양정(head)을 산정하였다.
- ② 펌프 동력을 산정하기 위해 축마력 공식(horsepower formula)에 용량(flow rate), 펌프의 토출 관경(header size) 관내 유속(pipe velocity) 그리고 총 양정을 대입하였다.
- ③ 펌프 토출 관경에 맞춰 기성화 된 펌프성능곡선(pump performance curve, Figure 9 및 Appendix 2 참조)에 ①과 ②에서 산정된 수치를 대입하면 최고 효율점(best efficiency point)에서 만나는 적정 펌프 규격과 전력량을 도출하였다.

설비 설치에 소요하는 공사비를 산정하기 위해서는 수리 계산으로 결정된 펌프 용량, 배관 규격 등이 반영된 설계 도면상의 수량 그리고 2020년 자재 단가 등을 적용하였다. 단, 설비를 설치하는 수조와 기계실 시공에 필요한 토공, 콘크리트공 그리고 철근공 등을 제외하여 순수 설비 공사비만 산출하였다.

유지관리비는 전력비, 기타 경비, 용수비, 유지비(위탁운영비 포함)로 구성된다. 그러나 본 사례는 빗물을 사용하기 때문에 용수비는 0원에 해당하고, 동일 수공간에서 설비 구성의 차이만 있으므로 기타 경비와 유지비를 생략하였다. 따라서 펌프 용량에 따른 전기 사용료만 적용하여 최적의 설비계통을 선정하였다. 이때 전기요금 단가는 한국전력요금 단가표 (2020. 12.) 중 일반용전력(갑) I 저압 전력 단가를 적용하였다.

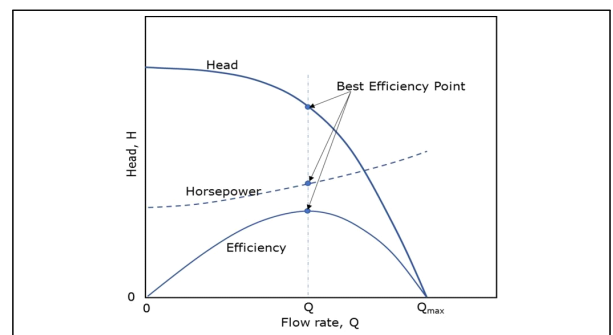


Figure 9. Pump performance curve sample.

III. 결과 및 고찰

1. 수원지의 유지용수량과 저장 규모

1) 수로 부분의 유지용수량

Table 1에서 명시하였듯이 수로 부분의 담수량은 526톤이다. 수로는 콘크리트 방수로 처리되었기 때문에 손실량에서 누수량을 제외하였다. 따라서 수로 부분의 손실량은 증발량만 해당하였다.

수로 부분의 증발량은 10월에 108톤으로 가장 적었고, 6월에 176톤으로 가장 많았다. 4월부터 10월까지 수경시설 운전 기간 월평균 150톤의 물이 손실되었다. 물 교체 주기를 월 1회로 설정할 때 월평균 676톤의 유지용수가 수원지로부터 공급되어야 한다(Table 4 참조). 전주시 관측증발량의 변화폭이 적어 수로 부분에 필요한 월별 유지용수량의 변화폭은 높지 않았다.

2) 저류지의 유입량

수원지에 대한 물수지 분석에 앞서 저류지 내 빗물 유입량이 시나리오 A가 목표로 하는 수심과 수량에 충족하는지를 검토하였다. 이를 위해 간편식으로 사용하고 있는 빗물 유출량 합리식($Q=CiA$)를 적용하였다. 유출계수(C)는 한국토지주택공사에서 도시 및 주택단지에 적용하는 0.66으로 설정하였고(Jeong *et al.*, 2020), 유역면적(A)은 100ha로 설정하였다.

저류지 유입량은 강우량에 비례하여 7월 19,894톤으로 가장 많았고, 10월 3,552톤으로 가장 적었다(Table 5 참조). 시나리오 A에서 목표로 하는 저장 용량을 유입량과 비교한 결과, 수

심 0.5m에서는 수경시설 운영 기간 모두 충족하였다. 반면 수심 1.0m일 경우 10월에, 1.5m일 경우 4월과 10월에 시나리오 A가 목표로 하는 저장 용량에 도달하지 못하였다.

3) 무방수시 유지용수량 (Table 6 참조)

다음은 무방수 상태의 수원지에 대한 물수지를 분석하였다. 저류지의 증발량은 월평균 330톤으로 10월에 236톤으로 가장 적었고, 5월에 386톤으로 가장 많았다.

앞서 언급한 것처럼 무방수 상태의 누수량을 산정하기 위해 투수계수(K)는 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 를 적용하였다. 월평균 누수량은 시나리오에서 설정한 담수량에 비례하였다. 수심 0.5m에서의 월평균 누수량은 521톤, 1.0m에서는 1,025톤 그리고 1.5m에서는 1,439톤이 발생하였다. 수심 0.5m에서는 매월 같은 누수량이 발생하였지만, 1.0m와 1.5m에서는 4월과 10월 유입량이 시나리오 A 목표에 충족하지 못하여 누수량도 낮았다.

무방수시 월평균 유지용수량은 수심 0.5m일 경우 1,528톤, 1.0m일 경우 2,032톤 그리고 1.5m일 경우 2,446톤으로 산정되었다. 월별 저류지 유지용수량은 증발량의 영향을 받아 5월에 가장 높았고, 10월에 가장 적었다. 최대·최소폭은 수심 0.5m에서 219톤, 1.0m에서 341톤 그리고 1.5m에서 862톤으로 산정되었다. 따라서 저류지 내 저장 용량이 높을수록 더 많은 유지용수량이 요구되었다.

마지막으로 유지용수 사용 후 저류지 내 월평균 잔여 수량은 수심 0.5m일 경우 485톤, 1.0m일 경우 1,924톤 그리고 1.5m일 경우 3,106톤으로 산정되었다. 월평균 잔여 수심은 각각 0.12m, 0.48m 그리고 0.77m로 나타났다. 결과적으로 잔여 수량은 시나리오 A에서 설정한 저장 용량의 약 50% 미만이었다.

4) 방수시 유지용수량 (Table 7 참조)

방수 상태에서 누수량 산정하기 위해 투수계수(K)는 $1 \times 10^{-10} \text{cm/sec}$ 를 적용하였다. 시나리오 A가 목표로 하는 수심 0.5m에서 월평균 누수량은 0.052톤, 1.0m에서는 0.102톤 그리고 1.5m에서는 0.144톤으로 무의미하였다.

미량의 누수 발생으로 방수 상태의 유지용수는 무방수 상태보다 현저하게 감소하였다. 또한 시나리오 A의 저장 용량의 변화에도 월평균 유지용수량은 1,007톤으로 일정하였다.

유지용수량이 모두 손실될 시 잔여량도 높게 나타났다. 월평균 잔여량은 수심 0.5m에서는 1,005톤, 1.0m에서는 2,949톤 그리고 1.5m에서는 4,545톤으로 산정되었다. 수심 0.5m에서는 월평균 49.9%의 물이 남지만, 1.0m와 1.5m에서는 70% 이상의 물이 남을 것으로 나타났다. 월평균 잔여 수심은 각각 0.25m, 0.73m 그리고 1.13m로 무방수 상태보다 더 높았다.

5) 수원지 적정 담수 수위 및 저장 용량 결정

수로 부분의 관리·운영하기 위해 요구되는 월평균 유지용

Table 4. Water loss and need of LuAC (unit: tons)

Class	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
Loss	150.7	142.9	176.8	174.5	153.4	132.1	108.2
Need	669.0	702.9	700.6	679.5	693.3	658.2	634.3

Table 5. Comparison of inflows with water storage as set in scenario A

Class	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
Inflows (tons)	5,132.9	6,075.8	11,148.9	19,894.1	18,426.6	9,136.9	3,552.5
0.5 m (2,012 tons)	meet						
1.0 m (4,024 tons)	meet						3,552.5 (-471.5)
1.5 m (6,036 tons)	5,132.9 (-903.1)	meet					3,552.5 -2,483.5

Table 6. Maintenance water capacity and remaining volume in the waterhead (Non-waterproof, unit: tons)

Storage	Class	Mean	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
2,012 ton (0.5m)	(A) Evaporation	330.1	312.9	387.3	382.2	336.0	366.2	289.3	236.9
	(B) Leakage	521.5	521.5						
	(C) Maintenance	1,528.5	1,503.4	1,611.8	1,604.4	1,537.1	1,581.0	1,469.0	1,392.7
	Residual depth (Volume)	0.12m (483.5 / 24.0%)	0.13m (508.6)	0.10m (400.2)	0.10m (407.6)	0.12m (474.9)	0.11m (431.0)	0.13m (543.0)	0.15m (619.3)
4,024 ton (1.0m)	(B) Leakage	1,025.5	1,043.0						
	(C) Maintenance	2,032.5	2,024.9	2,133.3	2,125.9	2,058.6	2,102.5	1,990.5	1,792.0
	Residual depth	0.48m	0.50m	0.47m	0.47m	0.49m	0.48m	0.51m	0.44m
	(Volume)	(1,924.1 / 47.8%)	(1,999.1)	(1,890.7)	(1,898.1)	(1,965.4)	(1,921.5)	(2,033.5)	(1,760.5)
6,036 ton (1.5m)	(B) Leakage	1,439.1	1,330.4	1,564.5					
	(C) Maintenance	2,446.1	2,312.3	2,654.8	2,647.4	2,580.1	2,624.0	2,512.0	1,792.0
	Residual depth	0.77m	0.70m	0.84m	0.84m	0.86m	0.85m	0.88m	0.44m
	(Volume)	(3,106.1 / 51.4%)	(2,820.6)	(3,381.2)	(3,388.6)	(3,455.9)	(3,412.0)	(3,524.0)	(1,760.5)

* Storage = A (Evaporation) + B (Leakage) + Supplying maintenance water for artificial channel (see Table 4).
Residual water level (and volume) = Storage - C (Maintenance water).

Table 7. Maintenance water capacity and remaining volume in the waterhead (Waterproof, unit: tons)

Storage	Class	Mean	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
2,012 ton (0.5m)	(B) Leakage	0.052	0.052						
	(C) Maintenance	1,007.0	982.0	1,090.3	1,082.9	1,015.6	1,059.5	947.5	871.2
	Residual depth	0.25m	0.26m	0.23m	0.23m	0.25m	0.24m	0.26m	0.28m
	(Volume)	(1,005.0 / 49.9%)	(1,030.0)	(921.7)	(929.1)	(996.4)	(952.5)	(1,064.5)	(1,140.8)
4,024 ton (1.0m)	(B) Leakage	0.102	0.104						
	(C) Maintenance	1,007.1	982.0	1,090.4	1,083.0	1,015.7	1,059.6	947.6	871.3
	Residual depth	0.73m	0.76m	0.73m	0.73m	0.75m	0.74m	0.76m	0.67m
	(Volume)	(2,949.6 / 73.3%)	(3,042.0)	(2,933.6)	(2,941.0)	(3,008.3)	(2,964.4)	(3,076.4)	(2,681.2)
6,036 ton (1.5m)	(B) Leakage	0.144	0.133	0.156					
	(C) Maintenance	1,007.1	982.1	1,090.4	1,083.0	1,015.7	1,059.6	947.6	871.3
	Residual depth	1.13m	1.03m	1.23m	1.23m	1.25m	1.24m	1.26m	0.67m
	(Volume)	(4,545.1 / 75.2%)	(4,150.8)	(4,945.6)	(4,953.0)	(5,020.3)	(4,976.4)	(5,088.4)	(2,681.2)

수는 676톤이다. 다만, 공급원이 공원 내 저류지라는 점에서 볼 때 생태·경관적 요건까지 고려한 적정 담수 수위와 담수량이 결정되어야 할 것이다.

시나리오 A에 따라 무방수 상태에서 1,528톤/월~2,446톤/월, 방수 상태에서 1,007톤/월의 용수공급이 필요하였다. 무방수 상태에서 잔여 수심은 0.12m~0.77m였고, 방수 상태에서 잔여 수심은 0.25m~1.13m로 무방수 상태보다 방수 상태에서의 수심이 약 1.5배 높았다.

기존 계획에서는 고도처리수가 지속적이고 즉각적으로 용수

를 공급하기 때문에 저류지의 관리 수위 0.5m로 설정하여도 특별한 문제가 없지만, 본 사례는 불확실성이 높은 빗물을 용수원으로 사용하고 있어 즉각적으로 보충할 수 없는 한계가 있다. 이 때문에 잔여 수심을 최소의 관리 수위로 고려되어야 할 것이다. 따라서 엽순근린공원 내 저류지(습지관찰원)가 생태적 습지로 운영되기 위해서는 무방수 상태에서 잔여 수심 0.48m 또는 방수 상태에서 0.73m를 유지할 수 있는 4,024톤의 저장공간이 적정할 것으로 판단한다. 또한 잔여 수심을 기 계획 관리 수위 0.5m에 맞추기 위해 역산하면 방수 처리한 상태에서 최소

3,018톤(목표 수심 0.75m)의 저장공간이 필요하다.

탈질산화 과정에서 발생하는 악취 등을 억제할 수 있는 수심 1.0m로 관리하기 위해서는 방수 상태에서 1.13m의 잔여 수심을 형성하고 있는 6,036톤의 저장공간 시나리오가 적합할 것이다. 또한 잔여 수심을 1.0m에 맞추기 위해 역산하면 최소 5,512톤(목표 수심 1.37m)의 저장공간이 필요하다.

2. 설비의 구성과 계통의 결정

1) 기계실 내부 설비의 구성과 운전시간

설비계통에 대한 시나리오 B의 설정에 따라 염순근린공원에 설치하는 기계실 내부 설비를 검토하였다(Figure 10 참조). 기계실 내 주요 설비는 수원지에 저장된 물을 기계실로 전송하는 급수펌프, 수로로 전달하기 위한 물을 저장하는 탱크, 저장수를 수로에 분사하는 급수펌프 그리고 저장된 물을 정화하는 수질정화장치 등의 부속시설로 구성한다.

물탱크의 규모는 단일순환계통일 경우 500톤이 필요하였고, 다중순환계통일 경우 200톤이 필요하였다. 단일순환계통의 물탱크 규모는 계류형 수경시설 수로 부분의 총 담수량 526톤을 한 번에 공급하기 위해 고려한 것이다. 하지만 다중순환계통은

단계적으로 계류에 물을 공급하기 때문에 물탱크 규모는 최초 공급지이자 최대 담수지인 sec. 1 수로의 담수량 204톤을 고려한 것이다.

급수 펌프의 형식에 따라 단일순환계통에는 인라인 펌프(In-line pump)가 다중순환계통에는 부스터 펌프(Booster pump)가 설치되었다. 인라인 펌프는 필요한 양만큼만 분사하는 일종의 순환 펌프이다. 반면 다중순환계통에서는 주 배관에서 각 수로와 연결된 여러 지관으로 유체를 분사하기 때문에 배관 내에 발생할 수 있는 압력 소실과 성능 저하를 방지할 수 있는 부스터 펌프를 사용하였다.

급수 펌프의 6시간 운전은 수로에 물이 담길 수 있는 시간이다. 따라서 단일순환계통은 수로 부분에 물을 흐르게 하기 위해서는 매일 6시간 동안 운전하여야 한다. 반면, 다중순환계통은 수로 부분의 물 교체(526톤/월)와 손실량(150톤/월) 보충만 담당하기 때문에 매달 9시간만 운전하여도 가능하였다.

2) 펌프 및 배관에 관한 수리 계산

다음은 시나리오 B에 대한 설비의 주요 자재인 펌프와 배관에 관한 수리 계산을 통해 적정 양정과 용량을 검토하였다(Table 8 참조). 단일순환계통은 공급수의 자연유하로 인하여 기계실 외 수로 부분에 별도의 설비가 요구되지 않는다. 단, 대상지 남쪽에 있는 sec. 1과 sec. 2는 그 외 수경시설과 물 흐름 방향의 차이로 인하여 별도로 구간 순환을 하였다. 단일순환계통은 sec. 3에서부터, 다중순환계통은 sec. 1에서부터 물을 공급하기 때문에 압송 거리의 차이가 발생하였다. 이 때문에 단일순환계통에서 사용하는 급수펌프의 총 양정(total head) 값이 다중순환계통보다 낮게 산정되었다.

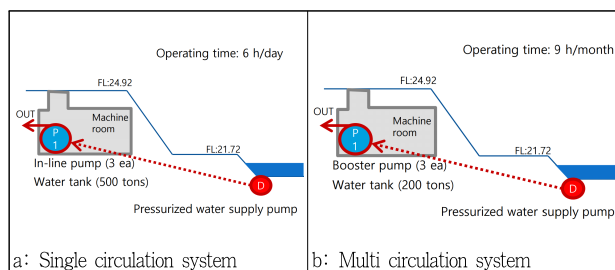


Figure 10. Operation of water supply equipment according scenario B

Table 8. Pump capacity by hydraulic calculation

Class			Length (m)	Water volume (Ton)	Single-circulation				Multi-circulation				
					Flow rate (lpm)	Header size (A)	Total head (M)	Pump power (HP)	Pump capacity (Kw)	Flow rate (lpm)	Header size (A)	Total head (M)	Pump power (HP)
Waterhead	Pump to room		526	1,400	100	17	12.5	7.5	1,400	100	17	12.5	7.5
	Pump to channel			1,100	100	90	50.0	22	1,400	200	109	80.0	18.5
				(In-line pump)				(Booster pump)					
Waterway	Sec. 1	112	204	1,100	100	10	5.5	4	1,100	100	10	5.5	4
	Sec. 2	127	44	770	100	13	4.0	3	770	100	13	4.0	3
	Sec. 3	75	21	-	-	-	-	-	450	80	12	2.0	1.5
	Sec. 4	111	21	-	-	-	-	-	420	80	12	2.0	1.5
	Sec. 5	86	38	-	-	-	-	-	700	100	14	4.0	3
	Sec. 6	166	31	-	-	-	-	-	650	100	14	4.0	3
	Sec. 7	87	17	-	-	-	-	-	333	65	10	1.5	1.1
	Sec. 8	329	66	-	-	-	-	-	1,100	100	10	5.5	4

3) 공사비 및 연 유지관리비

단일순환계통과 다중순환계통 모두 공사비는 약 10억 원으로 산출되었다(Table 9 참조). 특이한 점은 저류지 내 기계설비 부분에서 단일순환계통의 공사비가 높게 나왔다. 이는 물탱크 용량이 커지면서 수질정화장치 등 부속 설비의 규격이 다중순환계통의 부속 설비보다 규모가 컸기 때문이다.

연 유지관리비는 다중순환계통이 단일순환계통보다 1천5백만 원 정도 낮게 나왔다(Table 10 참조). 주요 원인은 단일순환계통의 급수펌프의 운전시간이 다중순환계통보다 월등히 길었기 때문이다.

4) 설비계통의 결정

지금까지 인공순환계통 중 단일순환과 다중순환 계통을 비교 분석한 결과, 다중순환계통이 유지관리 측면에서 유리하였다. 다중순환계통은 수경시설 운전에서 필요한 동력장치를 분산하였지만, 단일순환계통은 하나의 동력장치에 집중하였다. 즉, 계류형 수경시설을 운전하기 위해 소형 펌프가 연출을 담당하고, 급수펌프가 공급을 담당하는 역할 분리의 계통이 하나의 높은 동력에 의존하여 장시간 운전하는 계통보다 효과적이었다.

추가로 다중순환계통이 단일순환 계통보다 시공 및 관리상의 측면에서 효과적일 수 있다. 첫째, 다중순환계통은 도수관로 설치가 불필요하면서 도로 부분 등의 타 공정과의 간섭을 최소화 할 수 있다. 둘째, 다중순환계통은 물탱크 내 공급용수의 체류시간이 한 달 동안 이루어져 정화효율이 높다. 반면, 단일순환계통은 공급용수의 체류시간이 1일 이내에 불과하여 정화효율이 낮을 수밖에 없다. 셋째, 다중순환계통은 급수 펌프에 문제가 발생하더라도 물 교체기인 한 달 이내에 수리 및 교체한다면 개별 수로의 운전에는 영향을 미치지 않는다. 또한 개별 수로의 운전에서 문제가 발생하여도 다른 수경시설에 영향을 미치지 않는다. 그러나 단일순환계통에서 펌프의 고장은 수리 및

교체하기 전까지 시설 운전을 마비시킬 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 빗물을 활용한 계류형 수경시설의 지속가능한 관리 · 운영을 도모할 수 있도록 전주 · 완주 혁신도시 설계된 수원지의 적정 유지용수량과 그 저장 규모를 결정하는 것과 함께 설비계통에 관한 최적 설치방안을 제시하였다. 이러한 목적을 수행하기 위해 수원지 방수 처리의 유무에 따라 저장 규모(수심) 2,012톤(0.5m), 4,024톤(1.0m) 그리고 6,036톤(1.5m)에 대한 물수지를 분석하였다. 또한 수경 설비의 계통을 단일순환계통과 다중순환계통에 대한 수리 계산을 통해 구성물의 규격, 운전시간 그리고 소요 비용을 비교 분석하였다.

수원지에 대한 물수지 분석 결과, 수로 부분 운전에서 필요한 유지용수량은 월평균 676톤이지만, 수원지의 손실량을 고려하여 무방수 상태에서 1,528톤/월~2,446톤/월, 방수 상태에서 1,007톤/월의 용수공급이 필요하였다. 한편, 공원 내 수원지의 생태적 관리를 위해 최소 저장 규모는 3,018톤(수심 0.75m)~5,512톤(수심 1.37m)이 적정할 것으로 판단된다.

설비계통을 비교 분석한 결과, 단일순환계통의 급수 운전시간은 하루 6시간이라면 다중순환계통은 월 9시간으로 나타났다. 양 설비계통의 공사비가 유사하더라도 급수 펌프 운전시간의 현격한 차이로 인하여 유지관리 부분에서 다중순환계통이 효과적이었다. 즉, 계류형 수경시설 설비의 효과적인 운영 · 관리를 위해서는 높은 동력의 단일 장치에 집중하기보다 소규모 동력장치들이 독립적으로 배치하여 운전할 필요가 있다.

지금까지 공원 내 수원지 즉, 저류지의 규모는 홍수조절 능력으로 결정하였다. 반면, 본 연구는 저류지를 조경학의 영역에서 빗물 활용 수경시설의 운영과 공원의 특성을 반영한 저류 공간의 규모를 산정하였다는 점에서 의미가 있다. 또한 빗물을 활용한 계류형 수경시설의 경제성과 유지관리에 효과적인 설비 계통(안)을 제시하였다는 점에서도 의미가 있다.

도시 내 대규모 수경시설을 운영하기 위한 용수 확보의 장애와 시설의 운전 정지 상태가 빈번한 상황에서 본 연구의 결과는 지원시설의 규모와 체계에 대한 대안 선정 방식의 모델이 될 수 있을 것으로 기대한다. 다만 유지용수 및 담수량 산정 이론적이고 이상적 수준인 만큼 후속 연구는 대상지의 장기적인 실측 자료와 유지관리 방법을 검증할 필요가 있다. 동시에 다중순환계통의 효용성을 정밀하게 입증하기 위해서는 보다 많은 요소를 설정하여 분석할 필요가 있다.

Table 9. Actual costs(Unit: 1,000 won, KRW)

Class	Single-circulation	Multi-circulation
Waterhead	735,980	460,500
Waterway	317,000	615,000
Total	1,052,980	1,075,500

Table 10. Maintenance costs per year(Unit: 1,000 won, KRW)

Class	Single-circulation	Multi-circulation
Waterhead	31,451 (6h/d)	12,782 (9h/m)
Waterway	2,247 (6h/d)	5,158 (6h/d)
Total	33,699	17,940

주 1. 국토교통부 (2016) 조경공사표준시방서 3-1 수경시설 중 수경시설의 수질 일반기준 참조.

주 2. 성남 판교의 물순환시설은 완공 후 지하수 유출이 800톤/일으로 급감하여 시설 운전이 정지되어 2012년 정비공사를 시행하였다.

- 주 3. 김포 한강의 물순환시설은 사용하는 농업용수의 공급 부족과 수질 악화로 인하여 광역상수도를 사용하는 방향으로 현재 정비공이 진행하고 있다.
- 주 4. 유체 역학에서, 달시-바이스바하 방정식(Darcy - Weisbach equation)은 일정한 길이의 파이프에서 유체가 흐를때 따르는 마찰로 인한 압력 손실 또는 수두 손실과 비압축성 유체의 유체 흐름의 평균 속도를 관련시키는 상태 방정식이다. 유체가 일정량을 가지고(유량), 일정 속도(유속)로 흐를때 유체의 성상(성질 특히 점도)과 파이프 배관의 특성과 관련하여 손실되는 에너지를 표현한다.

References

- Bae, W. K. and K. H. Yoon(2012) A design guideline of the apartment house complex for mitigation of heat island effect - For the planning agenda constructed and elected in 2005~2010, Journal of The Urban Design Institute of Korea 13(2): 47-60.
- Bulut, Z. and H. Yilmaz(2009) Determination of waterscape beauties through visual quality assessment method, Environmental Monitoring and Assessment 154(1-4): 459-468.
- Byeon, C. W. and J. C. Lee(2019) A study on ecological reprocessing and creation of biotope by reuse of treated waste water and nonpoint pollution source of stream, Journal of Wetlands Research 21(4): 374-383.
- Choi, G. W., D. E. Kim, G. H. Yoon and M. S. Han(2011) The effect and application of flow induction machine in artificial canal way and lake through water quality model test, Journal of Korea Water Resources Association 44(6): 477-486.
- Choi, J. H., O. J. Lee and S. D. Kim(2017) Estimation of stormwater interception rate for bio-retention LID facility, Journal of Korean Society on Water Environment 33(5): 563-571.
- Choi, J. S. and J. M. Lee(2016) A study on introduction plan of water circulation facilities considering site-condition, Research Report to Land & Housing Institute pp. 1-222.
- Clarke, J.(2010) Living waterscape: The practice of water in everyday life, Performance Research 15(4): 115-122.
- Eom, H. Y.(2010) Constructed wetland design, Korean National Committee on Irrigation and Drainage 43: 20-24.
- Gimpo city(2015) Operation and management of water circulation system in Gimpo Han River New Town, Research Report to Gimpo, pp. 1.1-7.69.
- Gwon, Y. H.(2019) The Drought Evaluation through the Development of Water Balance Model Linked with Reservoirs and Rivers, Ph. D. Dissertation, Graduate School of Incheon National University, Korea.
- JBDC & LH(2010) Landscape Architecture Masterplan in Jeonju and Wanju Innovation City Development Project, Inprocess Review Report, pp.1-100, (Unpublished)
- Jeong, D. S.(2010) The characteristics of water space in the spatial structure of oam folk village, Journal of The Urban Design Institute of Korea 11(2): 23-44.
- Jeong, Y.G., J. P. Park and H. S. Sin(2020) Correlation between LID flood control capability and runoff coefficient, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation 20(5): 339-351.
- Ji, J. S.(2007) A development on method of algae removal for water quality improvement by using compacted equipment in eutrophic lakes, Research Report to Korea Institute of Construction Technology pp. 1-234.
- Ji, W. K., J. H. Ahn and J. H. Lee(2012) Urban instream flow augmentation using reclaimed water in Korea, Journal of Korean Society of Water and Wastewater 26(2): 285-294.
- Jo, J. W. and M. W. Lee(2020) Water space classification for rainwater circulation in residential complexes and reservoir park design - With case study on Youngho urban park at Hyoja residential complex, Jeonju city, Journal of The Urban Design Institute of Korea 21(2): 99-116.
- Joo, J. W.(2011) A Study on the Analysis of Types of Flaws and Improving the Maintenance of Music Fountains, Master's Thesis, Graduate School of Hanyang University, Korea.
- Kim, J. H., S. H. Kim and K. W. Kwon(2020) Water supply method according to reservoir water balance analysis using UAV and USV, Journal of the Korean Society of Cadastre 36(3): 103-114.
- Kim, J. P., Y. S. Kim and W. H. Im(2007) An analytical study of the design and characteristics of water bodies in urban parks - A case study of urban parks in Gyeong-Nam -, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 35(2): 25-36.
- Kim, M. S.(2008) A Study on Improvement of Waterscape Facilities Supplied by Rainwater in Apartment Complex, Master's Thesis, Graduate School of Seoul National University, Korea.
- Kwon, S. H.(2002) A Study on the Improvement Plans for Construction and Maintenance of the Waterscape Facility in the Outdoor Space in Apartment Complex, Master's Thesis, Graduate School of Hanyang University, Korea.
- Kwon, T. G.(2019) Measure for Improving Urban Park Water Balance by Estimate Run Off Coefficients by Land Cover Types, Ph. D. Dissertation, Graduate School of Dankook University, Korea.
- Lee, J. M., C. J. Joo, Y. G. Yun and Y. G. Jeong(2016) Investigations on establishing a water circulating system for securing the quantity and quality of water at the Seok-Mun detention basin, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 16(4): 329-337.
- Lee, K. J., A. Y. Choi and B. H. Song(2008) Characteristics analysis of the design factors followed by present techniques of waterscape facilities in the apartment complex, KIEAE Journal 8(4): 11-18.
- Lee, O. J., J. H. Choi, J. H. Lee, and S. D. Kim(2017) Determination of optimum design capacity of bio-retention for improvement of urban water cycle, Korean Chemical Engineering Research 55(6): 745-753.
- LH(2011) Groundswell: Landscape Design of Urban Infrastructure in Incheon Gajeong District, pp. 1-166.
- Lianying, W. and F. J. Eagles(2009) Some theoretical considerations: From Landscape ecology to waterscape ecology, Acta Ecologica Sinica 29(3): 176-181.
- Ministry of Construction and Transportation(2016) Waterscape Facility: Korean Design Standard, KDS 34 50 35, pp. 1-11.
- Ministry of Environment(2019) Guidelines for Operation and Management of Waterfront Facilities, pp.1-82.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2016) Eco-pond and Constructed Wetland: Korean Design Standard, KDS 34 70 20, pp.1-19.
- Noh, H. J., K. S. Choi, Y. N. Kim, M. S. Park, J. H. Lim and H. S. Park(2020) Ethnographic study on diachronic aspects of children's play around a stream, The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction 20(4): 1223-1245.
- Oh, S. H., J. W. Kim, M. B. Chae, Y. H. Bae and H. S. Kim(2018) Case study: Runoff analysis of a mountain wetland using water balance method, Journal of Wetlands Research 20(3): 210-218.
- Oh, S. M., I. S. Cho and S. G. Oh(2013) Analysis on characteristic of planning and introduction effect according to water space in housing environment, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea 15(6): 73-81.
- Oh, S. M., S. G. Oh and H. S. Won(2010) Analyzing the change of

- indoor thermal environment with the introduction of the water space in exterior housing. *Journal of the Korean Housing Association* 21(2): 41-48.
35. Park, K. Y., S. W. Lee, Y. J. Shim and H. Y. Hwang(2011) Analysis on the mitigation effects of urban heat island through creation of water space - A case study of Yeol-Mae village Apt in Daejeon's, *KIEAE Journal* 11(5): 13-18.
 36. Park, S. N. and H. J. Cho(2016) Physiological and psychological effects of an interior falling waterscape facility on university students, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 44(5): 38-46.
 37. Yoo, S. H., D. K. Lee, H. M. Kim and Y. C. Cho(2015) An analysis of the water balance of low impact development techniques according to the rainfall types, *Journal of Environmental Impact Assessment* 24(2): 163-174.
 38. Yoon, S. H., S. G. Kim, N. H. Kim, W. Wi, S. H. Lee, G. W. Jo, D. S. Kim and Y. G. Cho(2014) Distribution of antibiotic resistant *escherichia coli* and water quality in waterscape facilities, *Journal of Environmental Health Science* 40(3): 225-233.
 39. Yu, N.(2013) A study on citizen's preference for waterscape design in urban open space, *Applied Mechanics and Materials* 357-360: 1995-2001.
 40. Zo, Y. G.(2012) Risk assessment of *escherichia coli* infection from use of interactive waterscape facilities, *Journal of Environmental Health Science* 38(1): 73-81.
 41. Namu wuki (<https://namu.wiki/w/%EC%A0%84%EB%B6%81%ED%98%81%EC%8B%A0%EB%8F%84%EC%8B%9C?from=%EC%A0%84%EC%A3%BC%ED%98%81%EC%8B%A0%EB%8F%84%EC%8B%9C>)
 42. Sejong city, (https://www.sejong.go.kr/lake/sub01__03__03.do;jsessionid=HsfXh3fc5RmWxLuy4GctYRSvAuZthMLvjQYrUqDkd66grWfyIzRW9Uh1EKdV9Dp.Portal_WAS2_servlet_engine5)
 43. Wikiwand (https://www.wikiwand.com/en/Water_balance)

Received : 15 January 2021

Revised : 16 March 2021 (1st)

16 April 2021 (2nd)

Accepted : 19 April 2021

4인익명 심사필

Appendix 1. Hydraulic calculation for pipe and pump

1) 용량

*산출 근거 [$Q=A \times H$]답수량을 유량으로 선정하여 연출보다는 정화에 따른 순환을 기준으로 하여 선정하였음. [Q =유량, A =단면적, H =수심]

2) HEADER 관경 (HEADER size)

*산출 수식 [$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$]

펌프로부터 토출된 물은 입자가 일정하지 않은 난류의 상태이므로, HEADER는 1차적으로, 물의 입자를 고르게 분포시켜주는 역할을 한다. 이때 물의 평균 유속은 1.2~1.5m/sec정도이다. 일반적으로 HEADER의 관경은 펌프로부터의 토출경과 동일하거나 커야 한다.

[Q =유량(m^3/sec), D =HEADER의 관경(M단위 환산 적용), V =평균유속]

3) 관내 유속 (pipe velocity)

*산출 수식 [$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2 \times 60}$ (m/sec)][Q =유량(m^3/min), D =HEADER의 관경(M 단위 환산 적용)]

4) 총양정 (total head)

*산출 수식 (Darcy-Weisbach의 공식)

$$1. \text{ 관로의 마찰손실수두} : H_L = \lambda \times \frac{v^2}{2g} \times \frac{L}{D}$$

$$2. \text{ 마찰계수} : \lambda(\text{마찰계수}) = 0.02 + \frac{1}{2000 \times D}$$

$$3. \text{ 펌프의 총수두} : H_T = H_G + H_L + H_f + H_o$$

*물이 움직일 수 있는 최대의 높이를 양정이라고 한다.

[λ =마찰계수, D =HEADER의 관경(M 단위환산 적용), L = 토출배관 총길이(국부저항 상당길이), $2g$ = 중력, V = 유속, 펌프의 총수두 = H_T , 펌프의 압력수두 = H_G , 관로의 마찰손실수두 = H_L , 흡입수두 = H_f , 토출양정 = H_o]

5) 펌프 동력 (pump power)

*산출 수식 (축마력공식)

$$HP = \frac{R \times Q \times H}{75 \times 60 \times \eta P} \times 1.2 (\text{여유율} 20\%)$$

[R = 물의 비중(1,000), Q = 유량(M^3/MIN), H = 양정, ηP = 펌프의 효율]

Appendix 2. Pump performance curve

