

## 도시 용수 통합관리 방안 연구

정진홍<sup>1\*</sup>, 최계운<sup>2</sup>, 오현제<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 환경연구실, <sup>2</sup>인천대학교 건설환경공학과

## An application of integrated water cycle system in U-City

Jin-hong Jung<sup>1\*</sup>, Gye-Woon Choi<sup>2</sup> and Hyun-Je Oh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Environmental Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

<sup>2</sup>Dept of Civil & Environmental Engineering, Incheon University

**요 약** 인구 증가와 함께 도시개발로 인한 지구온난화의 심각, 대기질 악화, 수질 오염 및 수생태계 파괴 등 도시환경 문제가 심화되고 있다. 또한 도시 개발 시 토지 피복면적 변화에 따른 불투수층 면적이 증가되는 인공적 요인과 이상기후에 의해 강우특성이 변화하는 자연적 요인으로 도시 열섬현상 심화, 용수 부족, 지하수위 저하, 침수 피해 등을 야기하여 물순환 건전성을 저해시키고 있다. 이를 해결하기 위해서는 체계적인 정보기술 인프라 및 환경센서 기술을 활용하여 도시 물순환 건전성을 제고시키기 위한 물순환시스템 구축기술 개발이 필요하다. 본 연구에서는 도시 내에서 물순환 건전성을 평가하는 방법으로 자연계 물순환 건전화율 및 인공계 물순환 건전화율 평가식을 제시하여, 도시화 및 산업화로 인해 발생하는 물순환 왜곡 정도를 정량적으로 분석하고, 도시 개발 후 물순환 건전성을 확보하기 위한 방법론을 제시하였다.

**Abstract** This study aims at suggesting a evaluation method of water cycle soundness in U-City. The distortion of water cycle soundness induced industrialization and urbanization was quantitatively analyzed. In order to evaluate the soundness of water cycle in U-City the reduction ratio of runoff was evaluated in comparison of before the construction of the water recycling facilities for natural water cycle, the reduction ratio of urban water was evaluated in comparison of before the introduction of the artificial recycling facilities for artificial water cycle.

**Key Words** : Cycle, Integrated water cycle system, Soundness, U-City, Urban water

### 1. 서론

최근 전세계적으로 발생하는 기후변화의 영향으로 극지적으로 이상기후가 발생하고 있다. 이에 따라 각 도시들은 라이프라인에 대한 비상 대응 체계를 구축하는 한편, 인간의 생명 유지에 직접적인 물의 관리에 심혈을 기울이고 있다. 또한, 산업화 및 도시 인구 집중 등 도시지역의 과도한 팽창으로 인하여 도시 내의 물순환 건전성이 악화되고 있는 상황이다. 즉, 도시화로 인한 불투수면적의 증가로 직접 유출이 증가하여 도시 내 가용 수자원의 감소와 홍수피해가 증대되어 지속가능한 수자원 공급

의 저해 요인이 되고 있다[2-7].

도시화 및 산업화로 인하여 불투수면적의 증가로 지하수가 고갈되고, 하천유지용수의 부족, 하천 하류의 수질 오염 발생 및 홍수 발생 등 물순환 체계의 불균형이 심화되고 있다. 이러한 도시 물순환 체계의 부조화를 해결하고 물순환 구조를 건전화하기 위해서는 자연 발생하는 우수 등 가용 수자원의 의존도를 높이고 도시화 및 산업화로 인해 발생하는 왜곡된 물순환 구조를 개선하여 물의 재이용 관리방안을 적극 도입해야 할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 도시 내에서 물순환 건전성 평가 방법

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(마이크로그리드 스마트 용수관리 기술 개발)의 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jin-hong Jung(KICT)

Tel: +82-31-910-0740 email: [jinhong98@kict.re.kr](mailto:jinhong98@kict.re.kr)

Received November 12, 2013 Revised December 4, 2013

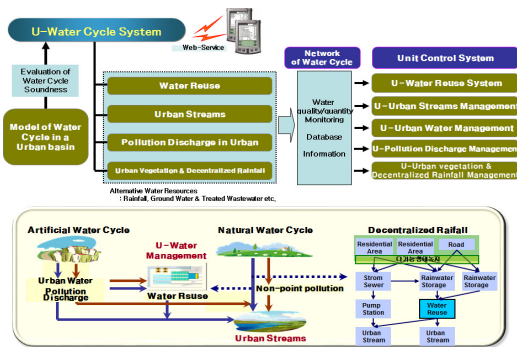
Accepted December 5, 2013

을 제시하여 도시화 및 산업화로 인해 발생하는 물순환 왜곡 정도를 정량적으로 분석하고, 도시 개발 후 물순환 건전성을 확보하기 위한 방법론을 제시하고자 한다.

## 2. 물순환 통합관리시스템 구축

### 2.1 기본 방향

물순환 통합관리의 기본 방향은 물환경 정보시스템과 연계가 가능한 형태로 기본 로직을 구성하는 것이다. 이를 위하여 물순환 통합관리와 관련된 국내외 각종 표준 지침과 관련 시스템 사례조사를 통해 기본 방향을 설정하였다. 데이터로거 가이드라인, 통신프로토콜 가이드라인, 통신망과 센서망 가이드라인, 영상정보망 가이드라인, 통합센터 구축 및 통합프로그램개발 가이드라인 등을 제시하였다. 또한, U-Eco City 사업의 일환으로 수행된 Pilot Test Bed에 구성된 도시용수, 중수도, 도시오염물질 및 빗물관련 단위시스템의 현장계측장비에서 전송한 데이터를 기반으로 분석 결과를 도출하여 도시 물순환 건전성을 평가할 수 있는 시스템 아키텍처를 Fig. 1과 같이 도시한다.



[Fig. 1] Contents of U-service in integrated water cycle system

### 2.2 물순환 건전화율 평가방안 도출

물순환의 정의는 크게 자연계와 인공계 물순환으로 분류할 수 있으며, 개개 성분별로 복잡한 순환 경로를 구성하고 있다. 본 연구에서는 식(1) 및 식(2)와 같이 자연계 물순환 건전화율은 도시 내에서 발생하는 강우유출에 있어서 초기우수저류지, 우수저류시설, 분산식 침투저류시설 등 순환시설 도입 이전과 비교한 유출 저감율로 정의하였고, 인공계 물순환 건전화율은 도시 외부에서 내부로 유입되는 도시용수에 있어서 하수고도처리시설, 중수고도처리시설 및 생태용수고도처리시설 등 재이용시설 도

입 이전과 비교한 도시용수 저감율로 정의하였다.

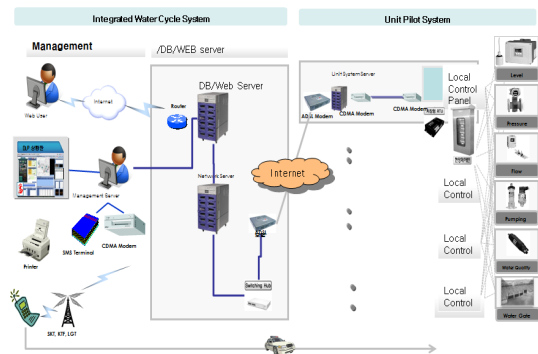
$$\text{자연계 건전화율}(\%) = \left[ 1 - \left( \frac{\text{총유출량} - \text{유출저감량}}{\text{총유출량}} \right) \right] \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

$$\text{인공계 건전화율}(\%) = \left[ 1 - \left( \frac{\text{외부유입용수량} - \text{내부순환재이용량}}{\text{외부유입용수량}} \right) \right] \times 100 \quad \text{식 (2)}$$

## 3. 연구결과

### 3.1 물순환 통합관리 네트워크 개요

본 연구에서의 물순환 통합관리 네트워크는 Fig. 2와 같이 도시용수, 중수도, 도시오염물질 및 빗물관련 단위시스템에 수질계측기, 유량계, 수위계, 수문, 펌프 등을 설치하고, 각각의 현장 계측기 외에 전원공급, 통신, 제어를 위한 각종부대시설물을 설치한다. 현장 계측기 및 설비로부터 각종 유무선 통신방식에 의해 정보를 수집하여 통합 DB에서는 저장된 데이터를 각 개별모듈별로 분석, 가공되어 DB에 저장되고 각각의 정보를 네트워크화하여 통합관리모듈에서 새로운 정보를 분석, 가공하여 DB에 저장한다. 실시간감시를 위한 원시데이터와 각 단위 모듈에서 분석, 가공된 데이터를 기반으로 Web 기반 형식의 통합관리 시스템을 구축하고, 각 개별모듈과 별도로 물순환 건전성평가 등을 위한 통합관리정보를 제공한다.



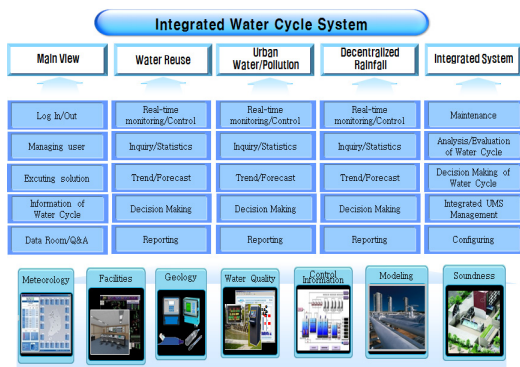
[Fig. 2] Network framework in integrated water cycle system in U-City

### 3.2 물순환 통합관리 네트워크 구성

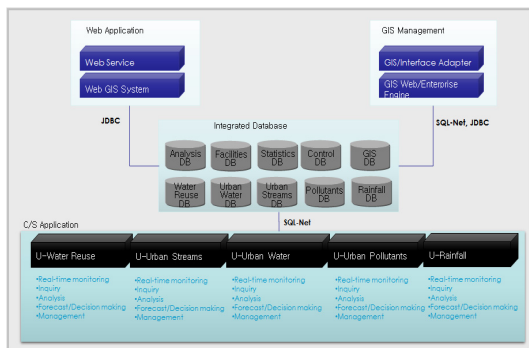
물순환 통합관리 네트워크의 Hardware는 Fig. 3과 같이 도시용수, 중수도, 도시오염물질 및 빗물관련 단위시스템의 현장 계측장비의 데이터 로거로부터 각종 계측정보를 유무선통신망을 통해 통합관리센터의 개별서버로 수집되고 개별 운영PC 또는 관계 유관기관에서 해당 단

위시스템을 모니터링하고 관리할 수 있도록 통합관제를 위한 Web 기반 통합시스템은 통합운영PC에서 직접 관리하고 관제하는 것으로 구성하였다.

물순환 통합관리 네트워크의 Software는 Fig. 4와 같이 단위시스템 정보 수집을 위한 서버 및 통합SMS, GIS, CCTV의 운영체제는 윈도우기반으로 설계하였으며, Web/WAS, DB 서버는 안정성을 고려하여 Unix기반의 운영체제를 선택하였다. 각 단위 운영PC는 각 단위시스템 운영을 위한 프로그램을 설치하고, 통합 운영PC는 Web기반 물순환 통합관리 프로그램을 설치하여, 상황관제 및 인터넷 모니터링을 구현한다.



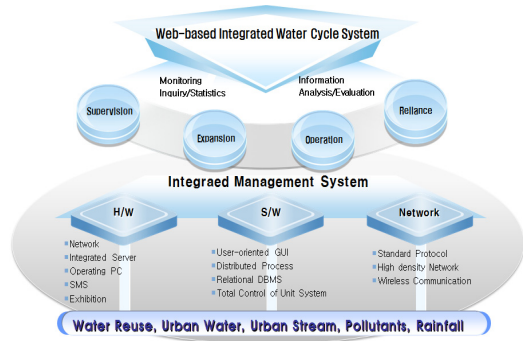
[Fig. 3] H/W Architecture of network in integrated water cycle system[1]



[Fig. 4] S/W Architecture of network in integrated water cycle system[1]

### 3.3 통합관리 네트워크 프레임워크 구성

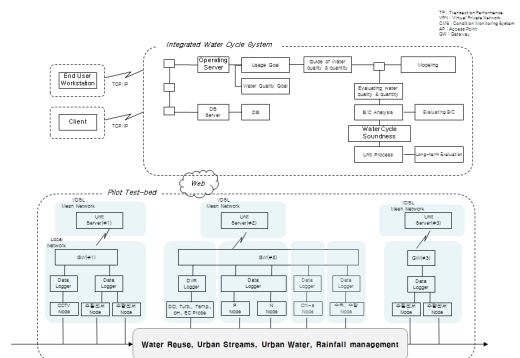
물순환 통합관리 네트워크 프레임워크는 Fig. 5에서와 같이 각 시스템별 현장센서로부터 측정된 자료를 실시간으로 수집·관리하여 도시의 물순환 수질·유량 정보를 실시간으로 공개함으로써 도시민의 생활에 직접적인 도움을 주며, 측정된 환경자료를 토대로 공공기관의 환경관련 정책수립이 용이하도록 시스템을 구성하였다.



[Fig. 5] Schematic diagram of integrated water cycle system[1]

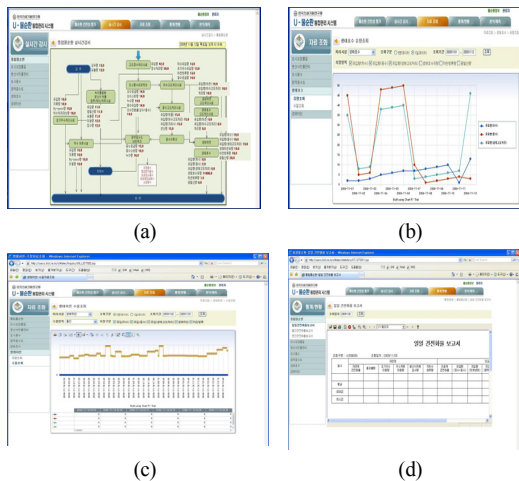
### 3.4 물순환 통합관리 네트워크 Pilot Test Bed 구축

물순환 통합관리 서비스를 제공하기 위한 네트워크 구성은 Fig. 6과 같다. 광역중수도 관리시스템, 도시용수 관리시스템, 도시오염물질 관리시스템, 분산식 빗물 관리시스템 및 생태하천 및 생태호수 관리시스템 각각의 관리시스템을 유·무선으로 네트워크화 하여 하위 단위시스템에서 수집한 데이터를 상위 통합관리시스템으로 5분 간격으로 데이터를 전송하고, 도시 물순환의 건전성을 분석 평가하기 위하여 물순환 통합관리 서버를 구축하여 운영하였다.



[Fig. 6] Schematic diagram of System Integration in U-City[1]

물순환 통합관리 네트워크 구성의 S/W는 Fig. 7과 같이 한국건설기술연구원내 전산실에 Server를 설치하였으며, Web기반의 물순환 건전성을 평가하기 위하여 사용자 인터페이스를 개발하였다.



[Fig. 7] Layout of network interface in integrated water cycle system[1]  
(a) Real-time Monitoring (b) Evaluation of water cycle soundness (c) Inquiry of data (d) Reporting

#### 4. 결론

도시 물순환의 건전성을 평가하기 위하여 물순환 통합 관리시스템을 구성하였다. 자연계 물순환에서는 물순환 시설 도입 이전과 비교한 유출저감율을, 인공계 물순환에서는 재이용시설 도입 이전과 비교한 도시용수 저감율 평가 방법을 제시하였다. 또한 도시를 대상으로 자연계 및 인공계 물순환 구조를 개선하기 위한 대안을 제시할 수 있도록 광역중수도 관리시스템, 도시용수 관리시스템, 도시오염물질 관리시스템, 분산식 빗물 관리시스템 및 생태하천 및 생태호수 관리시스템의 단위시스템을 통합관리시스템과 연동하여 실시간 수집 데이터를 5분 단위로 수집할 수 있는 시스템을 구축하였다.

향후 물순환 통합관리 네트워크 구축기술을 Test Bed에 적용하여 도시 물순환 네트워크 기술 테스트베드 검증, 물순환 단위시스템과의 통합 연계방안 도출, 테스트베드 설계 최적화 및 물순환 통합관리시스템 구축 및 물순환 통합관리 적용가능 서비스 도출 등의 검증연구가 필요한 것으로 판단된다.

이상의 Test Bed 검증을 활용하여 U-City의 물순환 관련 시설의 유지관리 및 새로운 미래 친환경기술에 대한 확장성 확보 방안 도출과 U-City에서의 물순환 서비스의 국제 표준화 방안 등에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] Jinhong Jung, Hyunje Oh, "Development of Water Cycle Network System in U-Eco City", Korean Society of Civil Engineers, Vol. 58, No. 12, pp.18-24, 2010
- [2] Margareta Lundin, Gregory M. Morrison, "A life cycle assessment based procedure for development of environmental substantiality indicators for urban water systems", Urban Water 4, pp.145-152, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00015-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00015-8)
- [3] Amit Chanan, Paul Woods. "Introducing total water cycle management in Sydney: a Kogarah Council initiative", Desalination, Vol. 187, pp.11-16, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.063>

#### 정진홍(Jin-Hong Jung)

[정회원]



- 2002년 7월 : 인천대학교 (토목 환경공학 석사)
- 2012년 2월 : 인천대학교 (건설 환경공학 박사수료)
- 1994년 1월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 환경연구실 수석연구원

<관심분야>

상하수도, 도시물순환, 비점오염, 자동제어

#### 최계운(Gye-Woon Choi)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 (공학 석사)
- 1991년 5월 : 미국 콜로라도주립대 (공학박사)
- 1994년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 도시환경공학부 교수
- 2013년 11월 ~ 현재 : 한국수자원공사 사장

<관심분야>

수자원, 도시하천, 도시홍수

오 현 제(Hyun-Je Oh)

[정회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 (토목 공학 석사)
- 2012년 2월 : 연세대학교 (토목 공학과 박사)
- 1987년 3월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 환경연구실 선임연구위원
- 2001년 4월 ~ 현재 : 국회 물관리정책연구회 정책자문위원

<관심분야>

상하수도, 도시 물순환, 해수담수화