

# Determination of the Optimal Location for Water Treatment Plants in the Decentralized Water Supply System

분산형 용수공급시스템 구축을 위한 정수처리시설 최적 위치 결정

Chang, Dong-Eil<sup>1</sup> · Ha, Keum-Ryul<sup>1</sup> · Jun, Hwan-Don<sup>2</sup> · Kim, Jeong-Hyun<sup>3</sup> · Kang, Ki-Hoon<sup>1\*</sup>

장동일<sup>1</sup> · 하금률<sup>1</sup> · 전환돈<sup>2</sup> · 김정현<sup>3</sup> · 강기훈<sup>1\*</sup>

1 대림산업(주) 기술개발원 · 2 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 · 3 K-water 연구원 상하수도 연구소

**Abstract :** Major issues in water supply service have changed from expansion of service area to improvement of service quality, i.e., water quality and safety, and early response to emergency situation. This change in the service concept triggers the perceptions of limitation with the current centralized water supply system and of necessities of decentralized (distributed) water supply system (DWSS), which can make up the limitations. DWSS can reduce the possibility of water supply outage by establishing multiple barriers such as emergency water supply system, and secure better water quality by locating treatment facilities neighboring consumers. On the other hand, fluctuation of water demand will be increased due to the reduced supply area, which makes difficult to promptly respond the fluctuating demand. In order to supplement this, hybrid water supply system was proposed, which combined DWSS with conventional water supply system using distributing reservoir to secure the stability of water supply. The Optimal connection point of DWSS to existing water supply network in urban area was determined by simulating a supply network using EPANET. Optimal location of decentralized water treatment plant (or connection point) is a nodal point where changes in pressure at other nodal points can be minimized. At the same time, the optimal point should be selected to minimize hydraulic retention time in supply network (water age) to secure proper water quality. In order to locate the point where these two criteria are satisfied optimally, Distance measure method, one of multi-criteria decision making was employed to integrate the two results having different dimensions. This methodology can be used as an efficient decision-support criterion for the location of treatment plant in decentralized water supply system.

**Key words :** Decentralized water supply system, Hybrid water supply system, Distance measure method

**주제어 :** 분산형 용수공급시스템, Hybrid water supply system, 거리척도방법

## 1. 서론

인간이 생활함에 있어 필수요소 중 하나는 안정된 상수도를 공급 받는 것이라 할 수 있다. 안정된 상수도의 공급은 소비자에게 상수도 시설기준에서 제시한 수질과 관망 내에 충분한 압력이 확보된 상태에서 소비자가 요구로 하는 유량을 제공

할 수 있음을 의미한다. 과거의 상수도 사업은 산업화로 인해 인구가 도시로 집중됨에 따라 상수도의 공급 확대에 초점을 두어 진행하여 왔으며 공급자 위주의 상수도 운영 한계로 인해 소비자들의 불편사항을 일부 묵인하며 운영해 왔다. 이러한 상수도 운영 방식은 각 지자체 및 광역도시에서 100%에 가까운 급수율(환경부, 2010)을 자랑하고 있는 현 시점에는 더 이상 적합하지 않다. 또한, 1993년 울산 공단의 가뭄피해, 1991년, 2008년 발생한 낙동강 페놀 누출 사고 및 2011년에 발

\* Received 4 October 2012, revised 26 November 2012, accepted 4 December 2012.

\* Corresponding author: Tel: 82-2-369-4230 Fax: 82-2-369-4100 E-mail: khkang@daelim.co.kr

생한 최악의 구미단수 사태 등 비상시 긴급한 상황에서의 “비상용수 공급체계 구축 마련”의 필요성을 더욱더 절실하게 하고 있다(국토해양부, 2010). 단수사태 조사가 이루어진 1991년부터 2006년까지 전국의 대형 단수사고는 총 21건(국토해양부, 2010)으로 해당 단수에 의한 피해액은 정성적인 피해까지 합산할 경우 피해 정도가 심각하였다. 이와 별도로 국민 생활수준 향상에 따른 먹는 물에 대한 관심과 욕구가 증대되는 것은 오늘날 수돗물의 직접 음용률 2.5%(서울시, 2009)에 불과하다. 따라서, 미래 상수도 사업은 소비자 중심의 운영 사업과 서비스 수준 향상을 목표로 진행되어야 할 것이다.

소비자 중심의 상수도 시스템을 구축하는 방법으로 고품질 수돗물의 생산이 가능하며, 사고 시 단수피해를 최소화하여 안정적인 용수공급이 가능한 분산형 용수공급시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 분산형 용수공급시스템은 기존의 배수지를 중심으로 한 개의 수원(Water Source)가 해당 급수구역에 모든 용수를 공급하는 중앙집중형 시스템(Centralized Water Supply System)에서 한 개의 급수구역내에 두 개 이상의 수원을 확보하여 용수를 공급하는 새로운 용수공급 시스템이다. 현재까지 국내·외 용수공급시스템을 살펴본 결과 완전한 형태의 분산형 용수공급시스템을 채택하여 운영하고 있는 도시는 없었으며 기존 중앙집중형시스템의 운영에 있어 심각한 문제로 대두되고 있는 관과 괴에 따른 단수 및 단일 수원지의 사고로 인한 용수공급 불능상태에 대비한 비상용수 확보 방안의 해결책으로 일부 사업을 진행하였던 것으로 조사되었다. 대표적인 사례로, 영국 런던의 경우 상수관망의 누수율이 30%가 넘어서 누수가 사회적인 심각한 문제로 대두됨에 따라 대신도 환형 송수간선(water ring main)을 1994년에 완공하여 송수관로의 누수 문제를 해결했으며, 이스라엘의 경우 단일 수원지로 인한 용수공급의 안정성 문제를 해결하고자 국가 전역에 분포하는 수자원을 하나로 모아 송수관망으로 유

입 시킨 후 NWC(National Water Career) 통제 하에 각 수요처에 공급하고 있다.(2009, 동아닷컴) 완전한 의미의 분산형 용수공급시스템은 다중수원 확보를 통한 비상시 용수공급의 안정성을 확보하고 도시 내 저류조 및 분산 설치되어 있는 정수처리시설을 통해 단수 피해에 대한 다중 방어 시스템을 구축하는 것과 정수처리 시설이 도시 내 위치하여 수질 신뢰성 확보를 통해 음용율을 제고하는데 목적이 있다(국토해양부, 2012).

분산형 용수공급시스템은 소비자와 가까운 거리에서 우수한 수질을 갖춘 용수 공급 서비스를 제공할 수 있는 정수처리시설을 요구로 한다. 이러한 설계 조건으로 인해 수돗물의 수질개선 목적으로 멤브레인(Membrane) 공법이 도입된 정수처리시설이 제안되고 있으며 기존 중앙집중형 정수처리시설보다 설치 면적의 제한을 받는 관계로 인해 압축화된 정수처리공정이 요구된다. 수처리 방식은 수질과 공정구성에서 장점을 가진 멤브레인을 이용한 공법이 일반적으로 고려되고 있지만 이 방식은 매시간 일정한 용수만 생산할 수 있기 때문에 각 시간마다 달라지는 상수 수요변화를 만족시키기 위해 운전조건을 변경할 경우 정수처리 연속공정상 불안정성을 초래할 수 있다. 또한 분산형 용수공급시스템의 용수공급 방식에 있어 소비자에게 용수가 공급되는 시간을 단축시켜 수돗물의 안전성을 극대화시킬 수 있는 직접급수 방식만을 고려할 경우 상수관망 내 동수압의 변동이 커져 관로의 수리적 안정성에 문제를 일으킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 배수지와 같이 유량변동에 탄력적으로 대응할 수 있고 일정한 수압을 공급 대상블록에 유지시킬 수 있는 별도의 시설물이 필요하게 된다.

본 연구에서는 완성도 높은 분산형 용수공급시스템 구축을 위해 용수공급의 안정성을 제공할 수 있는 배수지를 이용한 간접 급수 방식과 직접급수 방식으로 우수한 수질의 수돗물 제공할 수 있는 분산형 정수처리시설을 접목한 Hy-

brid Water Supply System(HWSS)을 제안한다. HWSS는 기존의 중앙집중형 용수공급시스템에서 필수적인 배수지와 급수구역내에 위치할 분산형 정수처리시설의 조합으로 구성된다. 자세한 HWSS의 구성은 본문에서 설명하도록 하겠다. 이러한 HWSS의 구성에서 가장 중요한 것은 분산형 정수처리시설의 설치 위치라고 할 수 있다. 배수지의 경우 급수구역내에서 고도확보와 같은 지형적인 이유로 설치위치가 거의 정해지게 되지만 분산형 정수처리시설은 급수구역내에 위치해야 하기 때문에 설치가능 위치의 개수가 많고 개별 위치별로 수리 및 수질적 측면에서 장단점이 있다. 따라서 적절한 위치에 분산형 정수처리시설을 설치하여야만 HWSS가 가진 장점을 극대화할 수 있을 것이다.

분산형 정수처리시설의 위치결정을 위하여 본 연구에서는 EPANET에서 제공하는 Extended Period Simulation(EPS)을 통한 수리 및 수질 결과와 대기준 의사결정법을 적용하는 방법을 제안한다. 모형 구축 과정 중 배수지는 고정된 위치에서 용수를 관망 내로 공급하고 분산형 정수처리시설은 해당 시설이 설치 가능한 모든 절점에 순차적으로 탱크와 유량조절밸브를 설치하여 용수를 관망 내로 공급하는 것으로 모형에 반영하였다. 탱크와 유량조절밸브는 직접급수 방식을 반영할 수 있는 프로그램 tool로서 사용되었으며 분산형 정수처리시설의 직접급수 방식에 따라 초기 가압에 의한 관 누수 및 파괴를 최소화 시킬 수 있도록 각 절점의 시간에 따라 변동하는 압력의 변화를 최소화 시킬 수 있는 절점과 안전한 수질 보장을 위해 수돗물의 관내 체류시간(Waterage)이 최소가 될 수 있는 절점을 최적 설치 위치로 우선적으로 선택하는 것으로 하였다.

수리해석과 수질해석으로 도출된 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치 절점들이 다른 차원의 성질을 가지고 있기 때문에 하나의 결과를 도출하기 위한 방법론으로 대기준 의사결정법 중 하나인 거리척도법을 사용하였다. 분산형

용수공급시스템을 구축하고자 하는 각 대상블록에 따라 정수처리시설이 설치될 위치가 달라지므로 정량적인 해석을 통한 설치 위치 결정이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 제시한 방법론은 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치 결정에 있어 정량적인 평가를 통해 합리적이고 객관적인 결과를 제공할 수 있다.

## 2. 분산형 용수공급시스템

### 2.1 기존 중앙집중형 용수공급시스템의 한계

중앙집중형 용수공급시스템은 국내 급수율 향상을 위한 방안으로 도입되어 현재까지 각 지방자치단체 및 수도권 대형 정수장을 기반으로 운영되고 있다. 중앙집중형 용수공급방식은 단일 수원으로부터 도수된 원수가 정수장에서 모래여과 또는 막여과를 통해 송수되어 배수지에서 저류된 후 각 소비자에게 공급되는 방식으로 전반적인 시스템의 운영과 유지관리 면에서 경제적으로 효율적임이 증명되어 왔다. 하지만 단일 수원이 기능이 손상될 경우 원천적인 용수공급이 불가능해 진다는 점과 정수장에서 각 가정으로 용수가 공급되는 과정에서 관로의 길이가 길어짐에 따라 예측되지 않은 오염에 노출될 우려가 크다(박노석, 2011). 따라서, 상수도 서비스의 주체가 소비자로 이동되는 현 시점에 과거 중앙집중형 용수공급방식의 틀을 벗어난 새로운 용수공급방식의 도입이 기대되고 있다.

### 2.2 분산형 용수공급시스템 도입 배경

분산형 용수공급시스템은 도시 내 정수처리시설에서 원수를 정수처리하여 각 가정에 공급하는 용수공급 방식으로 공급의 안정성 및 안전성 확보 할 수 있는 인프라를 구축하는 것을 의미하며 상수도의 유지관리, 운영 효율을 극대화시킬 수 있는 통합시스템이라 할 수 있다. 통합 형태의 분산형 용수공급시스템은 공급지역의 사고에 대비한 비상 용수공급 대책 및 보조 수원확보를 통해 예비율 확보 패러다임을 가지고 있으며, 정

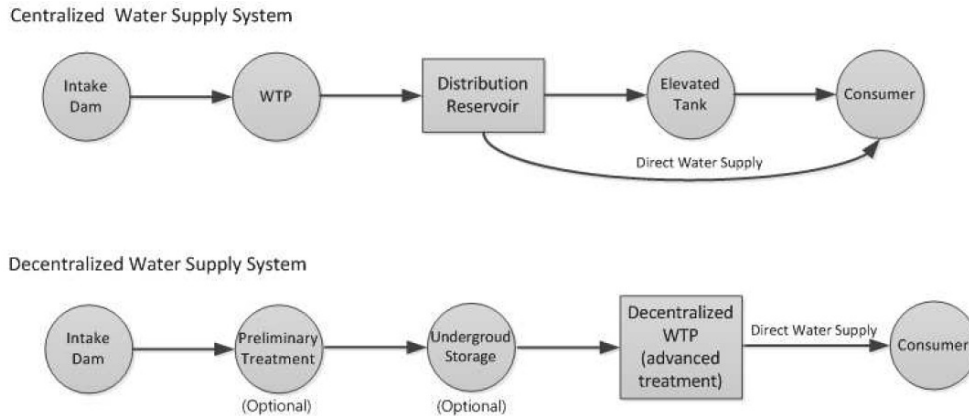


Fig. 1. Diagram of Centralized and Decentralized Water Supply Systems

수처리시설 내 에너지 자립도 제고, 수질사고 및 재해 대비, 용수와 에너지를 통합한 시스템을 구축하는 것에 목적이 있다. 기존 중앙집중형 용수 공급방식과 분산형 용수공급방식의 계통도는 위 Fig. 1.과 같다.

분산형 용수공급 시스템은 원수의 특성에 따라 처리 방식이 결정되며 기존 정수장을 활용하여 1차 처리수(혼화-응집-침전)를 원수로 분산형 용수공급시스템에 적용할 경우, 정수처리 시설은 막여과 및 오존-입상활성탄 공정으로 구성하여 고도처리시설로서 활용하게 된다.

분산형 용수공급시스템 구축에 있어 정수처리시설은 소비자가 거주하는 곳에서 가까이 설치되어 기존 용수공급방식보다 짧은 공급관로를 거치므로 관내 체류시간(Waterage)이 짧아 수질적인 측면에서 안전성 및 심미적인 안정성을 보장할 수 있는 장점을 가지게 된다. 하지만, 멤브레인 정수처리공정 특성에 의해 일정한 양의 용수 생산만이 가능한 점에서 시간에 따라 각 절점의 기본 수요량이 변동되는 실 상수관망의 운영 상황을 만족 시키지 못하는 단점이 있다.

### 2.3 Hybrid 용수공급시스템의 제안

본 연구에서는 소비자에게 제공할 수 있는 수질의 안전성, 단수에 대비한 다중방어 용수공급 시스템 및 음용률을 제고 시킬 수 있고 정수처리

시설 운영에서 발생할 수 있는 용수공급의 불안정성을 개선할 수 있는 새로운 형태의 용수공급 방식인 Hybrid 용수공급시스템을 제안한다.

Hybrid 용수공급시스템은 직접급수 방식이 우선적으로 고려되는 분산형 정수처리시설과 중앙집중형 용수공급시스템의 배수지를 결합하여 용수공급 대상지역의 수요 변동에 탄력적으로 대응하고 관내 체류시간(Waterage)를 단축시켜 수도물의 맛과 질에 대한 향상된 서비스를 소비자에게 제공할 수 있는 시스템이라 할 수 있다. 장동일(2012)는 기존 중앙집중형의 간접 급수방식, 분산형 용수공급시스템의 직접 급수방식 및 두 가지 용수공급방식이 결합된 하이브리드 용수공급방식을 급수 방식에 따른 모든 절점의 압력변화 폭을 평가하였으며 결과로 용수공급 측면에서 다중의 용수공급 방식이 각 절점의 압력의 안정화를 제공할 수 있다는 점을 결과를 통해 제시하였다.

Fig. 2는 하이브리드 용수공급시스템의 개념을 설명한 것으로 도시 내 분산형 정수처리시설이 설치되어 배수지와 함께 용수를 공급하는 것을 표현하였다. 배수지는 기존 용수공급 지역에 분산형 용수공급시스템을 구축할 경우 수송에너지 절감과 일정한 수두가 확보 가능한 기존 배수지 사용하는 것이 타당할 것으로 판단되며 신도시의 경우 지형적인 요소 및 도시 미관을 고려하여 배수지 또는 배수지의 기능을 가질 수 있



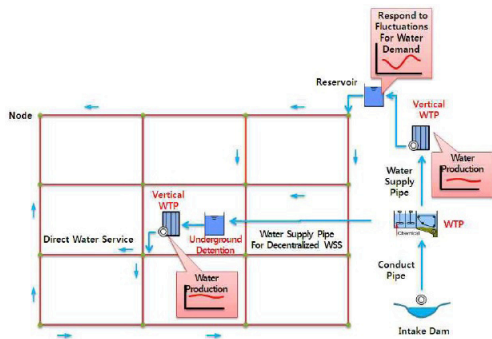


Fig. 2. The Concept of Hybrid Water Supply System

는 시설물을 설치하는 것으로 제안한다. 배수지는 위치수두를 최대한 확보할 수 있는 위치에 설치되어 있지만 분산형 정수처리시설은 도시 내 어디에 위치하느냐에 따라 소비자에게 제공되는 서비스의 질이 달라 질 수 있을 것이다. 따라서 분산형 정수처리시설 설치 시 최적의 설치 위치를 제안하기 위해 필수적으로 관망 수리 및 수질해석을 통한 객관적인 평가가 수행되어야 할 것이다.

### 3. Hybrid 용수공급시스템 모형 구축

#### 3.1 기본 가정

본 연구는 분산형 용수공급시스템 구축에 필수적인 정수처리시설이 대상블록 내에 설치될 수 있는 기반이 조성되어 있으며, 블록 내 용수공급은 분산형 정수처리시설과 배수지를 통해 다중으로 이루어지는 것으로 모형을 구성하였다. 분산형 정수처리시설이 설치됨에 따라 장점으로 부각되고 있는 수질의 안정성은 EPANET의 Water Quality Modeling 해석 방식 중 하나인 Waterage를 채택하여 수돗물이 각 절점에 도달되는 시간을 통해 간접적으로 해석하였다. 정수처리시설이 도시 내에 위치함으로써 각 수요처와 연결된 상수관망 내에서 용수 체류 시간이 짧아질 것으로 예상됨에 따라 관 말단 절점에서 최소 염소농도 기준을 충족시키기 위한 초기 약품 투입량이 적어질 뿐만 아니라 중앙집중형 용

수공급방식 보다 노후화된 기존 상수관과 접촉하는 시간이 짧아짐으로써 초기 우수한 수질을 최대한 유지하여 소비자에게 심미적인 안전성까지 확보할 수 있다는 가정 하에 Waterage 분석을 수행하였다.

본 연구에서 제안한 Hybrid 용수공급시스템에서 사용하는 배수지에 공급되는 용수는 기본적으로 분산형 정수처리시설의 최적 운영을 통해 용수수요가 적은 시간대에 공급받는 것으로 가정하였으며, 대단위 이상의 용수공급지역일 경우 배수지의 용수공급을 전담하는 정수처리시설을 별도로 설치하는 것을 제안한다. 상수관망으로 공급되는 용수의 양은 기본수요량 변화에 따라 공급될 수 있도록 구성하였다. 배수지는 기본적으로 용수사용량 변화에 대해 탄력적으로 대응할 수 있는 장점을 가질 뿐만 아니라 상수도 시설기준에 의해 공급 구역의 12시간 계획 급수량을 저장할 수 있도록 설계됨에 따라 정상적인 송수관로 운영 시 용수공급량에 대한 제약을 받지 않을 것으로 판단하였다. 분산형 정수처리시설의 용량은 배수블록의 수요량에 의해 결정되며 매 시간 일정한 용수를 블록 내에 공급하는 것으로 가정하였다.

#### 3.2 모의조건

분산형 정수처리시설의 운영특성인 단위시간당 일정한 수돗물이 상수관망에 공급되는 조건을 수리 및 수질해석을 통해 모의하기 위해서는 유량조절밸브(Flow Control Valve)가 설치되어야 한다. 본 연구에서는 EPANET에서 제공하는 밸브 조건 중 하나인 FCV를 분산형 정수처리시설 하단에 설치하여 모의 상수관망에 공급되는 용수를 조절하였으며 분산형 정수처리시설에 할당된 용수공급량과 일정한 압력으로 기존 상수관망에 주입하기 위해 충분한 위치수두를 확보한 탱크를 설치하였다.

본 연구에서는 펌프의 운영에 따라 달라질 수 있는 배수지 및 탱크의 수두로 인해 각 절점의

압력 결과가 왜곡되는 것을 방지하기 위해서 공급대상지역의 시간 변동량이 반영된 24시간 급수 총량을 위치수두만을 확보한 상태에서 각 절점에 제공하는 것으로 모의 하였다. 실제 분산형 정수처리시설을 특정 절점에 설치 시 연결 절점의 잔류 수두보다 큰 압력으로 시간 당 제공할 용수를 주입해야 한다. 각 절점의 시간별 용수 수요변화를 반영하기 위해 EPANET에서 제공하는 Extended period simulation을 24시간 동안 수행하였으며 매 시간별 용수공급량은 U시의 상수수요량 변동 자료인 Fig. 3.를 바탕으로 각 절점의 기본수요량을 1로 기준하여 0.5 ~ 1.4 범위에서 결정하였다.

Fig. 4.의 거리척도방법(Distance Measure Method)은 분산형 정수처리시설 최적 설치를 제안하기 위해 이상적인 수리, 수질 해석 결과를 가지는 위치(Utopian point)와 특정 절점의 수리, 수질 해석 결과에 해당하는 위치간의 거리를 척도로 하여 특정 절점에 대한 평가를 정량적으로 나타낼 수 있는 방법이다. 거리를 척도하

는 방법으로는 이상점(Utopian point)과의 거리를 최소화하는 Utopian approach가 대표적이다, Utopian approach는 각각 의사결정자들이 선택한 대안점(Decision maker's preferred alternatives or point)과 이상점(Utopian point)과의 거리를 비교하여 가장 거리가 짧은 대안을 그룹의 합의안으로 채택하는 방법이다(백천우, 2007).

본 연구에서는  $Z_1, Z_2$ 를 분산형 정수처리시설에 따른 각 절점의 평균압력 변화폭과 Water-age로 채택하였으며 이상점과 대안점간의 거리를 계산하는 방법으로 식(1) ~ 식(3) 중 일반적으로 가장 많이 쓰이는 거리척도 계산법인 Euclidean distance를 선정하여 최적 설치 위치를 결정하였다. 식 (1)인 Euclidean distance 방법은 이상점 A와 대안점 B간의 대각거리이며 식 (2)인 City distance는 도시 구역에서 이동 거리 특성을 수식으로 표현한 것이다. 식 (3)인 Tchebychef distance는 A점과 B점의 좌표간의 최단 Vector거리를 나타낸 것이다.

$$Euclidean\ distance : C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (1)$$

$$City\ distance : C = a + b \quad (2)$$

$$Tchebychef\ distance : C = \text{Min}(a, b) \quad (3)$$

## 4. 모형 적용 및 결과

### 4.1 모형의 적용

현재까지 국내·외 용수공급시스템을 살펴본 결과 완전한 형태의 분산형 용수공급시스템을 채택하여 운영하고 있는 도시는 없기에 분산형 정수처리시설이 설치된 상수관망을 대상으로 모의를 수행하는데 어려움이 있다. 따라서 일반적 도시 내 상수관망도의 특징을 가지고 있으며 간단한 구조 구성된 가상 관망에 대해서 적용성을 평가 해 보기로 하였다. 여기 사용된 관망은 Ozger(2003)가 Semi-PDA 모형의 적용성 평가를 위해 사용했던 관망을 분산형 정수처리시

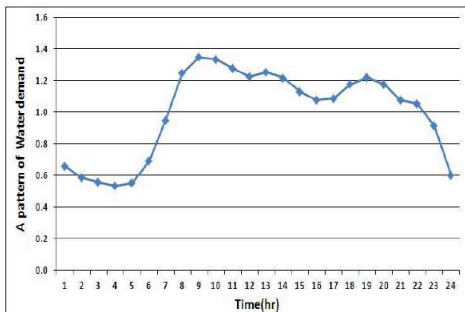


Fig. 3. Variable Coefficient for Water Demand of the U city

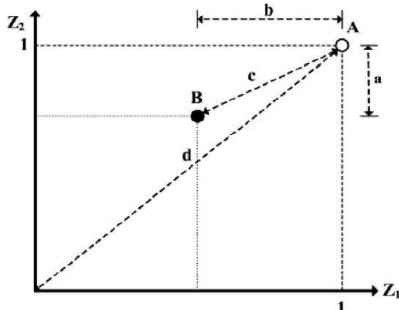


Fig. 4. The Concept of Distance Measure Method

설 최적 설치 위치 제안을 위해 변형한 것으로 1개의 저수지와 13개의 절점, 그리고 21개의 관으로 구성되어 있다. Fig. 5는 분산형 정수처리시설이 설치되기 전 가상 관망이며 Fig. 6은 임의 절점에 정수처리시설이 설치된 가상 관망을 나타낸 것이다. 가상 관망의 절점 및 관겨 제원은 다음 Table. 1과 Table. 2와 같다.

가상 관망에 U시의 용수 수요변동 Pattern을 입력하고 EPANET의 Extended period simulation을 수행 한 결과 24시간 동안 단일 저수지로부터 각 절점에 공급하는 총 공급량은 76,111.4 CMH(Cubic Meter per Hour)로 분석되었다. 본 가상 관망에 설치될 분산형 정수처리시설의 시설용량은 현재 분산형 정수처리시설의 공정구성 및 수처리 방식으로 최대 생산 가능한 일 30,000만톤 생산량을 기준으로 결정하였

Table 1, Nodes Information of Ozger's Network

ID	Elevation (m)	Demand (CMH)	Type
1	27.43	0.0	Junction
2	33.53	212.4	Junction
3	28.96	212.4	Junction
4	32.00	640.8	Junction
5	30.48	212.4	Junction
6	31.39	684.0	Junction
7	29.56	640.8	Junction
8	31.39	327.6	Junction
9	32.61	0.0	Junction
10	34.14	0.0	Junction
11	35.05	108.0	Junction
12	36.58	108.0	Junction
13	33.53	0.0	Junction
20	60.96	-	Reservoir

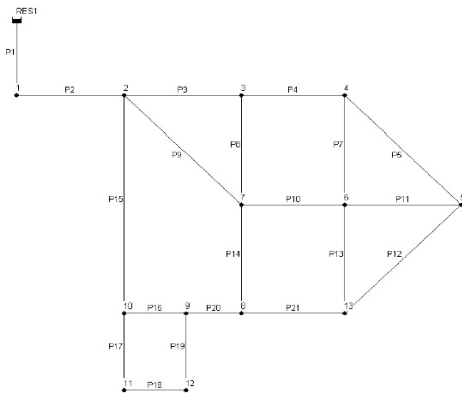


Fig. 5. Ozger's Network

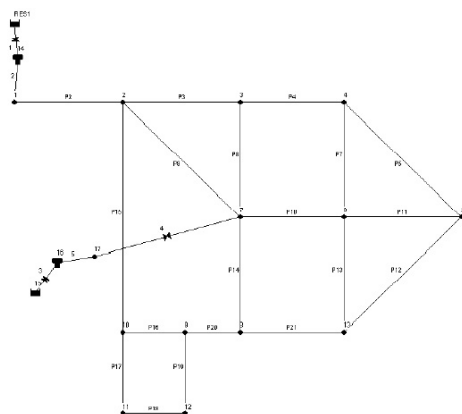


Fig. 6. Ozger's Network installed Vertical WTP

Table 2, Pipes Information of Ozger's Network

ID	Start Node	End Node	Length (m)	Diameter (mm)	C (H-W)
P1	20	1	609.6	762	130
P2	1	2	243.8	762	128
P3	2	3	1524.0	609	126
P4	3	4	1127.8	609	124
P5	4	5	1188.7	406	122
P7	4	6	762.0	254	118
P8	3	7	944.9	254	116
P9	2	7	1676.4	381	114
P10	7	6	883.9	305	112
P11	6	5	883.9	305	110
P12	13	5	1371.6	381	108
P13	6	13	762.0	254	106
P14	7	8	822.9	254	104
P15	2	10	944.9	305	102
P16	10	9	579	305	100
P17	10	11	487.7	203	98
P18	11	12	457.2	152	96
P19	9	12	502.9	203	94
P20	9	8	883.9	203	92
P21	8	13	944.9	305	90

으며 시간 당 1,250톤이 FCV에 의해 특정 절점에 주입되는 것으로 모의하였다. 일 30,000톤은 가상 관망의 총 공급량의 약 40 %를 감당하는 용량으로 적정 범위 내에서 결정되어졌다고 판단할 수 있다.

가상관망 내의 모든 절점은 분산형 정수처리 시설이 설치 가능한 것으로 가정되었으며 실제 도시 지역을 대상으로 분산형 정수처리시설을 설치할 경우 시공성, 접근성 및 다양한 사항을 고려하여 설치 가능 지역을 우선적으로 설정한 다음 해당 구역 내에서 분산형 정수처리시설의 최적 위치를 결정하는 것이 현실적으로 타당할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 Ozger의 가상 관망 내의 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치는 정수처리시설이 특정절점에 설치되었을 때 관의 누수 및 파괴의 핵심요인으로 볼 수 있는 압력이 영향 절점들에서 최소 변동으로 이어질 수 있는 절점을 수리적으로 우수한 위치라 판단하였으며 각 영향절점에 도달하는 용수의 시간이 최소가 될 수 있는 지점을 수질적으로 우수한 절점이라 해석하였다. 해당 결과를 도출하기 위해 EPA-NET에서 제공하는 Water hydraulic modeling과 Water quality modeling을 Extended period simulation을 통해 수행하였으며 각 절점의 결과를 순위로 통해 제안하였다.

## 4.2 모형 적용 결과

대상 관망에 분산형 정수처리시설이 설치될 위치는 수리해석 결과 13번 절점으로 다른 절점에 설치했을 경우에 비해 직접급수 방식에 따라 초기 가압에 의한 관 누수 및 파괴를 최소화 시킬 수 있도록 각 절점의 시간에 따라 변동하는 압력의 변화를 최소화 시킬 수 있었으며, 수질해석 결과로는 12번 절점에 분산형 정수처리시설을 설치했을 시 각 절점에 가장 짧은 Waterage로 각 절점에 수돗물을 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

두 차원이 다른 해석 결과를 하나의 통합 결과로 도출하기 위해 다기준 의사결정법 중 하나인 거리척도법을 사용하여 대상 관망의 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치를 산정한 결과 12번 절점이 13번 절점과 12번 절점이 결합한 좌표 (1.00, 1.00)의 이상점(Utopian point)으로부터 최단 거리에 위치하고 있음을 Table. 3을 통해 확인할 수 있었다. 12번 절점은 수리적, 수질적 장점 둘 모두를 가지는 최적의 분산형 정수처리시설 설치 위치로 판단 할 수 있다.

분산형 정수처리시설을 설치하는데 있어 본 연구에서 제안한 연구 방법에 의해 최상의 결과를 제공할 수 있는 절점 주변에 해당 시설을 설치하는 것이 용수공급시스템 운영에 있어 바람직하나 여러 제약조건에 의해 차선의 선택을 해야 할 경우 결과를 상위 결과 내에서 의사결정을 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 연구 결과에서 볼 수 있듯이 12번 절점의 좌표는 (0.96, 1.00)로 이상점과의 거리 0.04, 두 번째로 우수한 결과를 도출한 7번 절점은 이상점과의 거리가 0.14로 두 절점의 차이는 0.1에 불과하다. 따라서, 본 연구에서 반영하지 못한 수리 및 수질해석 결과에 대한 비중 부분과 설치비용 및 대상지역 토지이용 계획 등 다각도의 관점에 의해 분산형 정수처리시설의 설치 위치를 결정하는 것이 보다 현실적인 결정법이라 판단되며 Table. 3에는 각 해석 결과에 따른 분산형 정수처리시설 최적 설치 위치 결과를 Table. 4에는 전체 결과를 4개의 등급으로 구분하여 실무자의 의사결정 편의성을 반영한 결과를 제시하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 소비자에게 제공 할 수 있는 수질의 안전성, 단수에 대비한 다중방어 용수공급 시스템 및 음용률을 제고 시킬 수 있고 정수처리시설 운영에서 발생할 수 있는 용수공급의 불안정성을 개선할 수 있는 새로운 형태의 용수공급방식인 Hybrid 용수공급시스템을 제안하였



Table 3. The Result of Optimal Vertical Water Treatment Plant Installation Location

Node ID	ΔPressure(m)	Waterage(hr)	Normalization of ΔP(m)	Normalization of Waterage(hr)	Distance from Utopian point	Rank
2	51.70	0.66	0.00	0.62	1.07	12
3	49.37	0.74	0.20	0.34	1.04	11
4	47.93	0.67	0.32	0.59	0.80	7
5	40.79	0.84	0.92	0.00	1.00	10
6	45.23	0.71	0.55	0.45	0.71	6
7	40.90	0.58	0.91	0.90	0.14	2
8	43.96	0.63	0.65	0.72	0.44	5
9	43.45	0.61	0.70	0.79	0.37	4
10	48.88	0.69	0.24	0.52	0.90	8
11	49.07	0.70	0.22	0.48	0.93	9
12	40.31	0.55	0.96	1.00	0.04	1
13	39.84	0.65	1.00	0.66	0.34	3

Table 4. The results divided by grades within the scope of 25 %

Grade	Node ID	The distances of each nodes	Scope(%)
1	12, 7	0.04, 0.14	0 ~ 25
2	13, 9, 8	0.34, 0.37, 0.44	25 ~ 50
3	6	0.71	50 ~ 75
4	4, 10, 11, 5, 3, 2	0.80, 0.90, 0.93, 1.00, 1.04, 1.07	75 ~ 100

다. 분산형 정수처리시설을 설치할 최적의 위치를 객관적이고 합리적으로 판단하기 위해 EPA-NET의 Extended period simulation 기반의 수리·수질해석을 수행하였다.

수리해석과 수질해석으로 도출된 분산형 정수처리시설의 최적 설치 위치 절점이 다른 차원의 성질을 가지고 있기 때문에 하나의 결과를 도출하기 위한 방법론으로 다기준 의사결정법 중 하나인 거리척도법을 사용하여 두 요소의 결과가 반영된 최적의 분산형 정수처리위치를 12번 절점으로 제안하였다. 본 연구에서 대상블록의 분산형 정수처리시설 최적설치 위치인 12번 절점과 최원점인 13번 절점, 관망 중심에 위치한 7번 절점의 결과를 상대적으로 평가할 때 크지 않은 차이를 보여주고 있다. 따라서 실무자의 판단에 의해 수리 및 수질해석 결과에 대한 비중 부분과 설치비용 및 대상지역 토지이용 계획 등 다각도의 관점에 따라 합리적으로 분산형 정수처리시설의 설치 위치를 결정하는 것이 보다 현실적인

결정법이라 할 수 있을 것이다.

객관적인 의사결정 기준이 없을 경우 실무자 판단에 의해 관망 내 최원점 및 중앙의 위치한 절점에 분산형 정수처리시설을 설치할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시한 위치와 실무자의 일반적인 판단에 의해 제시할 수 있는 위치가 크게 다르지 않은 결과를 보였지만 대상 관망이 넓어지고 고려해야할 변수가 많아 질 경우 주관적 판단이 아닌 정량적인 평가 방법을 사용하여 객관적이고 합리적인 결과를 도출하는 것이 중요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 제안한 방법론은 향후 분산형 용수공급시스템 구축 시 분산형 정수처리시설 최적 설치 위치 결정에 있어 효율적인 의사결정 기준으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 : 10기술혁신 C-01)에 의해

수행 되었습니다.

### 참고문헌

Ministry of Environmental (2010) Water supply statistics, (2010)

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) 2nd annual report of Decentralized water supply system project.

DongA.com (2009) Water is life.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) Project report for developing a next generation water supply system.

No-Suk, Park, Seon-Ha, Chae and Jeong-Hyun, Kim (2011) Introduction of decentralized water supply system, Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 25(2), pp. 133-138.

Dong-Eil, Chang, Keum-Ryul, Ha and Ki-Hoon, Kang (2012) Determination of optimal installation location for decentralized water supply system in urban service area, Korean society of environmental engineers conference.

EPANET (2000) EPANET2 USERS MANUAL.

Jung-Ho, Lee (2012) Development of a reliability estimation method for the storm sewer network, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 12(2), pp. 225-230.9.

Chun-Woo, Baek (2007) Development of HSPDA model for analysis of water distribution systems under abnormal operating conditions, Ph.d. dissertation, Korea University, Seoul, Korea.

Ozger, S.S. (2003) A semi-pressure-driven approach to reliability assessment of water distribution networks, Ph.d. dissertation, Arizona State University, Tempe, Arizona.