

다중수원을 활용한 멀티워터 루프시스템의 표준화방안 구축에 관한 연구

이현동* · 이준형** · kwakpilljae***

A Study on Standardization Method Establishment of Multi Water-Loop System using Multi Water Resources

Lee Hyundong*, Lee Joonhyung**, Kwak Pilljae***

Abstract

Multi water-loop system is the efficient customer centered facilities of water supply by utilizing the multi water resources. Multi water-loop system is divided into various types. The system is classified potable and non-potable type. Mostly, the potable type utilizes surface water and ground water. However, the non-potable type utilize the multi water resources, such as rain water, sea water, reclaimed water, etc. Selective intake is possible when characteristics of region, physiographic condition and purpose of use are considered. For instance, downtown type, new-city type, agriculture type, island type are available. For development and application of these multi water-loop system, standardization is needed. For standardization, several methods are given; design principles, selection and composition method of multi water-loop system structure, BIM/GIS application method, safety inspection method. Consequently, a road map of design standardization method can be established. In this road map, there are three parts for the standardization of multi water-loop system. Three parts are the considerations, base material and ways of standardization. Design standardization become close when this road map followed by someone who plan the multi water-loop system. In this way, loop system's development is more efficient and economic. In hereafter research, each type's characteristic will be analysed and standardization methods can be established.

Keywords: Multi water-loop system, Multi water resources, Standardization, Roadmap

I. 서론

인구증가 및 도시화와 맞물려 사용가능한 수자원의 양이 줄어들고 있으며, 수자원 자립률 역시 하향세를 나타내고 있다. 이런 추세를 반영하여 세계적으로 다중수원과 ICT 기술을 결합한 스마트워터그리드(Smart Water Grid, SWG)가 새로운

물산업의 패러다임으로 떠오르고 있다(Kim., *et al*, 2013). 다중수원에는 지하수와 지표수뿐 아니라 빗물(천수, 우수 등), 해수, 하수재이용수 등을 포함하며, 스마트워터그리드는 이러한 다중수원을 활용하여 이용자의 목적에 맞게 공급함으로써 수자원 자립률을 높이는데 그 목적이 있다. 스마트워터그리드에서 중요한 요소인 멀티워터 루프

* 한국건설기술연구원 환경연구실, 한국과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학과 (hdlee@kict.re.kr)

** 한국과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학과 (leejh106@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 환경연구실 (Corresponding author pjkwak@kict.re.kr)

Received April 11 2014; Revised May 7 2014; Accepted May 7 2014

Copyright ©2014, Korean National Committee on Irrigation and Drainage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시스템(Multi Water Loop System, MWLS)은 목적에 맞게 처리된 다중수원을 효율적으로 공급하고, 비상시 인접지역으로 신속하게 물을 공급하여 대응하는 시스템이다. 현재 상수도시설물에서는 도수시설과 송수시설에 대하여 노후관 개량, 누수 사고, 청소 등에도 중단 없이 계획 수량을 안정적으로 공급할 수 있도록 관로의 복선화 또는 네트워크화를 구축해야 한다고 명시하고 있다(상수도시설기준, 2010). 이는 MWLS와 비슷한 개념을 가진 것으로 이를 발전시켜 MWLS의 개발로 이어질 수 있도록 해야 한다. MWLS가 개발되고 효율적인 설계·적용을 위해서는 하나의 표준화된 방안과 기준을 수립하여야 한다.

본 연구에서는 MWLS를 사용목적 및 지형조건에 따라 분류를 하고 각 유형별로 개념정의를 하였으며, 시스템을 구성하는 기본적인 구성요소를 분류하였다. 또한, MWLS의 개발과 적용을 위한 표준화 방안을 구상하였고, 현재 상수도산업에서 사용 중인 사항과 MWLS 표준화를 위해 신설한 사항들을 조합하여 표준화 방안에 알맞은 기반자료와 고려사항 정의하였으며, 이를 바탕으로 표준화 방안 로드맵을 제시하여 표준화 방안 접근을 용이하게 하고자 하였다.

II. 연구방법

1. MWLS 설계 고려사항 정의

MWLS는 다중수원을 활용하기 때문에 효율적인 운영을 위해서는 수원의 특징에 따라 시스템의 설계 개념과 방식이 달라야 한다. MWLS의 설계 시 고려해야 할 사항으로는 ①음용 및 비음용 분류, ②원수와 정수의 저류기능, ③상수도시스템의 구역단위 연계, ④물관련 정보의 양방향 교류 등이 있다.

이용자의 목적에 따라 시스템은 크게 음용형과 비음용형으로 구분이 가능하다. 음용형은 지표수와 지하수를 주된 다중수원으로 활용하고 있으며 (Table 1), 비음용형의 경우 지하수 및 지표수 뿐 아니라 하수재이용수, 빗물, 해수 등 다양한 수자원을 활용하여 물공급 시스템을 구성하고 있다 (Table 2).

음용형과 비음용형에서도 저류조(Storage Tank)의 위치에 따라 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. 음용형에서 a Type과 b Type은 동일한 수자원을 활용하고 있지만, 저류조의 위치가 정수처리장의 전·후인지에 따라서 유형이 분류된다.

Table 1. Classification of Potable MWLS(*Dual Line: Dualization Pipe for Duplex Water Supply).

Type	Schematic Diagram of System
a	• Surface water(90%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line* system) → Water treatment plant(Pure water reservoir/Water supply pump) or water distribution reservoir
	• Groundwater(10%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line system) → Water treatment plant(Pure water reservoir/Water supply pump) or water distribution reservoir
b	• Surface water(90%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system) → Water treatment plant(Pure water reservoir/Water supply pump) or water distribution reservoir
	• Groundwater(10%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system) → Water treatment plant(Pure water reservoir/Water supply pump) or water distribution reservoir

Table 2. Classification of Non-Potable MWLS.

Type	Schematic Diagram of System
a	• Surface water(50%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line system)
	• Precipitation(50%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line system)
b	• Surface water(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
	• Precipitation(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
c	• Surface water(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
	• Reclaimed water(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
d	• Surface water(50%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line system)
	• Reclaimed water(50%) → Storage tank → Water treatment → Supply system(Dual line system)
e	• Rain fall(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
	• Reclaimed water(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
f	• Surface water(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)
	• Sea water Desalination(50%) → Water treatment → Storage tank → Supply system(Dual line system)

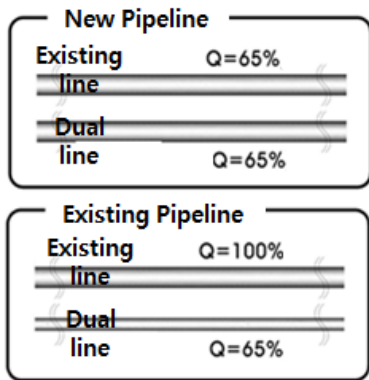


Fig. 1. Diagram of Dual Pipe Line.

음용형이 일반 도시 가정에 생활용수로 공급되는 유형이었다면 비음용형의 경우는 이용자의 목적에 맞게 혹은 지역적 특성에 맞게 공급되는 유형이다. f유형의 예를 들면, 지표수와 해수를 수자원으로 활용하고 있으므로 이 지역은 바다와 인접해 있는 해안지역이나 도서지역으로 유추할 수 있다.

MWLS의 목적 중 하나는 상수도시스템간의 연계를 통해 효율적인 물 공급과 비상시 사고대응

능력을 향상시키는 것이다. 따라서 시스템을 연결할 수 있는 관로의 네트워크화가 필요하며 관로의 이중화를 통해 시스템을 유역단위로 연계하여 수자원 공급 및 분배의 효율성을 상승시킬 수 있다 (Fig. 1).

물관련 정보의 양방향교류는 ICT 기반의 SWG 구축에 있어 핵심적인 요소이다. 유량, 수질, 수압과 같은 물관련 정보를 지역간에 실시간으로 공개하고 모니터링을 함으로써 MWLS로 분배되는 수자원에 이상이 발생할 경우 사고를 미연에 방지할 수 있다.

2. MWLS 기술 표준화 방안

MWLS 기술을 개발하고 설계·시공·유지관리의 효율성을 높이기 위해서는 구체적인 표준화에 대한 정의가 필요하다.

2.1 설계원칙

MWLS를 구성하는 구조물과 시설물은 기존의

상수도 시설물을 기반으로 신속하게 된다. 따라서 현재 상수도 관망 및 시설물의 설계 및 시공에 적용중인 ‘상수도시설기준’과 ‘상수도공사 표준시방서’를 기본으로 MWLS의 설계 및 시공에 적용하여야 한다. 이를 바탕으로 앞 절에서 논의되었던 설계 고려사항을 유의하여 설계기준과 시방서 기준을 수립하여야 한다.

2.2 MWLS 구조물 선정 및 구성

MWLS 구축시 모든 구조물을 신설하여 이용할 경우, 막대한 공사비와 공기가 소요될 뿐 아니라 대규모 상수도시설 공사가 진행되므로 이에 따른 단수 등의 불편을 초래하게 된다. 따라서 MWLS를 구축할 경우, 기존의 상수도 시설물을 최대한 활용하여야한다. 예를 들어, 새로운 배수지를 축조하는 대신 기존 배수지를 활용하여 연계시키고, 다중수원의 처리시설 역시 기존 정수처리장에 추가적인 설비를 설치하는 방향으로 나아가야 한다.

2.3 BIM/GIS 활용

MWLS의 효율적 설계와 시설운영 및 유지관리를 위해서는 BIM(Building Information Modeling) 기반의 건설정보 통합관리 시스템 구축과 같은 첨단건설 정보화 기술에 대한 접목이 필요하다(Kang

et al., 2012). GIS(Geographic Information System) 측면에서도 국가기본도 구축이나 갱신은 물론 3차원 국토공간정보 구축 차원에서도 활용도가 높으므로 이와 연계된 MWLS 구축이 필요하다. 또한 각 구성요소별로 고유번호를 부여하고 GIS를 이용하여 위치정보를 입력할 경우, 비상시에 신속한 위치탐색 및 사후조치가 가능하며, BIM 활용시 설계/시공/시설운영/유지관리 각 단계에서 피드백이 가능해지므로 더 경제적이고 효율적인 MWLS 구축이 가능해진다.

2.4 안전진단방법

MWLS를 구축한 이후에는 정기적인 안전진단을 통해 시스템의 수명을 늘리고 안전한 상수도 공급을 유지하여야 한다. 환경부(2007)는 상수도 관망의 대략적인 상태를 진단하는 일반기술진단과 특정요소를 세부적으로 진단하는 전문기술진단에 대한 연구를 주관하여 상수도 관망진단 매뉴얼을 발간하였다. 이 매뉴얼을 기반으로 MWLS의 중추적인 역할을 하는 관망진단을 수행해야 한다(Lee *et al.*, 2004). 관망시설뿐 아니라 콘크리트 구조물, 기계시설물 등에 대해서는 각 구성에 관한 진단방법과 사항을 토대로 정기적인 안전진단을 수행해야 한다.

Table 3. Performance Indicators for Leakage Control.

PIs	Explanation
Infrastr-ucture Leakage Index(ILI)	$ILI = \frac{CARL}{UURL}$ <ul style="list-style-type: none"> UURL(Unavoidable Annual Real Losses, m³/yr) = (18·Lm + 0.8·Nc + 25·Lp) × P CARL(Current Annual Real Losses = System Input - (Authorized metered consumption + Authorized unmetered consumption + Apparent loss)
Revenue Water(RW)	Water which provide revenue to the utility
Non-Revenue Water(NRW)	<ul style="list-style-type: none"> Water which does not provide any revenue to the utility Express as volume or absolute cost value or cost ratio(%)

2.5 누수관리 및 평가방법

MWLS를 포함하는 전체 상수도시스템의 물 서비스 효율과 경제성 제고를 위해서는 누수관리 및 평가방법을 수립하고 이를 시행해야 한다(Kong, et al., 2013). Table 3에 나와있는 기존 누수관리를 위한 수행능지표는 누수평가지표(ILI), 유수율(RW), 무수수량(NRW)이 주로 사용되고 있으며(Lee et al., 2013), 기반자료 및 상황에 맞는 수행능지표를 선정하여 누수평가 및 관리를 실시하여야 한다.

2.6 물사업 서비스수준 평가방법

MWLS를 설치한 후에 시스템이 성능이 제대로 발휘되는지, 소비자 만족도에 대한 평가방법을 마련하여 지속적으로 시스템에 대한 피드백이 이루어지게 해야 한다. 체계적인 서비스 수준 평가를 위해서 성과점검을 위한 항목을 설정하고, 각 점수와 점수에 따른 등급을 구분하는 기준을 마련하여 적용해야 한다. 수립한 성과점검 평가항목은 세부점검기준을 확립하여 서비스 만족도 조사의 정확성을 향상시켜야 한다. 대표적으로 소비자 만족도의 지표로 신고건수가 있는데, 신고항목에는 누수·단수·출수불량 신고 등이 있다(Park, 2010).

III. 연구결과 및 고찰

1. MWLS 유형별 개념정의

II 장의 1절에서 분류한 MWLS 유형에 대하여 개념정의를 하고 이에 따른 모식도를 작성하였다.

Fig. 2의 개념 모식도는 생활용수를 주목적으로 하는 지역에서 나타나는 모식도이다. 해당 시스템은 원수를 저류시키고 저류조의 연계를 통해 수자원을 분배 및 공유하고 있다. 시스템에서 정수처리장을 저류조 이전에 위치시킬 경우는 정수를 분배 및 공유할 수 있다. 저류기능에 따른 분류는 MWLS 적용지역의 특성에 맞추어 실시할 수 있다.

Fig. 3은 비음용형 중 f Type에 관한 개념 모식도를 작성한 것이다. 해당시스템에서는 해수담수화 과정을 거친 수자원과 빗물을 처리한 수자원을 하나의 저류조에 저장하여 공급하는 시스템으로 구성하였다. Fig. 2와는 다르게 위 유형에서는 저류조간의 연계가 아닌 공급처인 블록시스템간의 연계를 하여 특정지역에 단수가 발생하여도 인접 지역에서 루프시스템을 이용해 상수도를 공급할 수 있는 시스템으로 구축하였다. 또한 위 유형은 해수가 풍부한 지역에서 유리하므로 도서지역 혹은 해안지역에 적용할 수 있다.

본 연구에서는 대표적인 두가지 유형에 대해서 제시를 하였으나, 이용자 목적 및 지역특성에 따

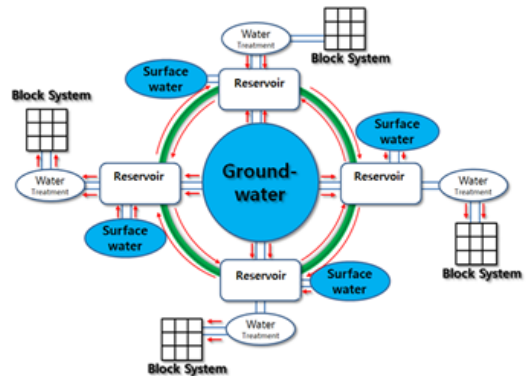


Fig. 2. Conceptual Diagram of Potable Type.

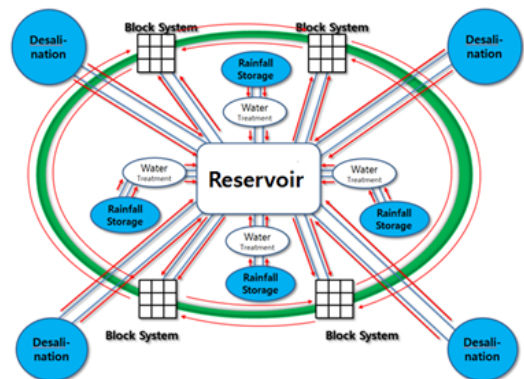


Fig. 3. Conceptual Diagram of Non-potable Type (island or coastal).

라 MWLS의 개념 모식도는 다양하게 작성될 수 있다.

2. MWLS 표준화 방안 제시

2.1 BIM/GIS 활용 기반 마련

BIM/GIS를 MWLS에 적용시키기 위해서는 상수도 시설물에 대한 BIM 라이브러리 기반을 마련할 수 있는 속성정보와 형상(도형)정보의 입력이 선행되어야 하며, 이를 위해서는 구성요소에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서 현재 상수도 시스

템에서 사용되고 있는 시설물에 대한 분류를 실시하였다.

Fig. 4는 MWLS의 구체적인 분류 전 시스템을 구성하는 구조물에 대한 분석을 실시하고 간략한 분류체계를 스프레드 시트로 나타내었다.

Fig. 5에서는 Fig. 4에서 분석한 구성요소를 토대로 스프레드 시트 기반의 분류데이터를 프로그램화 한 것이다. 이 분석에서는 구조물 구성을 도·송·배·급수별로 분류하여 데이터베이스를 구축하였다. 본 프로그램을 활용하기 위해서는 우선 시설 분류항목을 선택하고, 이후 상세검색을 통해 해당 조건에 맞는 구성요소와 구조물에 대한 정보를 얻을 수 있으며, 이는 BIM 구축시 필요한 식별번호 부여 등의 작업을 수월하게 하여 BIM 적용을 용이하게 할 수 있다.

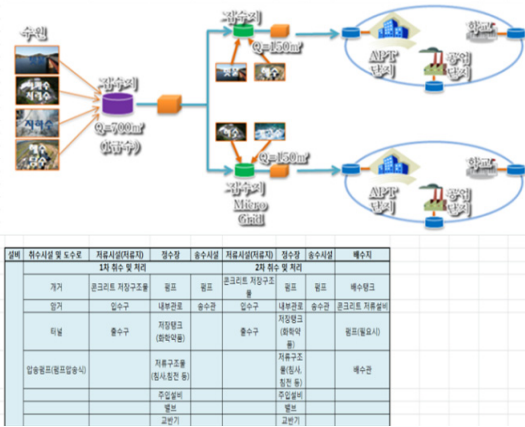


Fig. 4. Simple Analysis and Classification of MWLS Structure.

2.2 물사업 서비스수준 평가방법

본 연구에서는 MWLS 적용시 서비스수준 평가의 주안점으로 유용성, 안전성 및 내구성, 서비스 만족도를 선정하였다. 이 세가지 평가항목을 토대로 유용성 항목에는 수질, 수압, 유수율 등에 관한 사항을 세부 항목으로 설정하였고, 안전성 및 내구성 항목에서는 시설물의 성능을 오래동안 유지할 수 있는 방법에 관한 사항과 관련한 항목으로 구성하여 Table 4에 항목과 배점예시를 제시하였다.

또한 세부항목을 평가하기 위해서 세부 점검기준을 마련하여 해당 항목을 정확하게 평가할 수 있도록 하였다. 각 세부항목 별로 평균 6개의 세부 점검기준으로 평가할 수 있게 하였다. 각 항목마다 평가를 마친 후에 평가 점수를 기입하고 배점 기준, 즉 중요도를 부여하여 최종적으로는 MWLS의 서비스 수준에 대한 분석을 할 수 있다. 또한 주기적인 평가방법을 통한 서비스 수준 분석을 근거로 하여 MWLS의 이상여부를 사전에 감지하고 신속하게 대응하여 개선방향을 수립할 수 있다.

Fig. 5. Component Search Tool(software).

2.3 MWLS 기술 표준화 로드맵

표준화 방안을 수립하기 위하여 기존 상수도 시설물의 활용방안, 정보화 기반의 MWLS 관리방법, 지역의 상수도 시설물 특성, 서비스 수준 평가 방법 수립 사례를 고려사항으로 지정하였다.

표준화를 위한 기반자료로는 앞서 논의된 상수도시설기준, 상수도공사 표준시방서, 상수도 관망 진단 매뉴얼 뿐 아니라 상수도 시설물의 속성정보 및 형상(도형)정보, GIS 기반 지형정보, 상수도통계 자료, 상수도 사업 관련 민원신고 건수, 상수도 현황 조사 자료가 있다.

고려사항과 기반자료가 갖춰진 후에는 표준화 방안에 적절하게 적용시켜 표준화 방안 접근이 올바르게 이루어 질 수 있도록 해야 한다. Fig. 6은 MWLS의 표준화를 위한 로드맵을 제시한 것이며,

제시된 로드맵을 근거로 하여 표준화 방안에 접근하는 것을 용이하게 하였다. 고려사항과 기반자료가 갖춰진 경우 적용할 수 있는 표준화 방안을 도출할 수 있으며, 역으로 수립하고자 하는 표준화 방안을 선정하여 필요한 고려사항과 기반자료를 확인할 수 있다.

IV. 결론

인구증가 및 도시화 등 다양한 이유로 인한 수자원의 부족으로 인해 효율적인 물 공급과 분배에 대한 관심이 높아지면서 SWG가 등장하게 되었다. SWG의 핵심 구성요소인 MWLS는 그 연구가 현재 초기단계에 머물러 있다. 따라서 기본적인 개념정립이 필요하다고 판단되어 본 연구를 통해

Table 4. General Assessment Table of Service Level*.

	Assessment Provision	Criteria	Point
Usability	Target RW	10	8
	Pressure Equalization	10	7
	Water Quality	10	9
	Facility Faulty	5	4
	Data Management	5	3
	Total	40	31
Safety and Durability	Risk Management and Preparation	10	7
	Facility Management	5	4
	Inspection and Investigate	5	5
	Leakage Control	10	7
	Facility Repair	5	5
	Protection	5	4
	Total	40	32
Customer satisfaction	Public Health	10	8
	Waterworks Service	5	5
	Resident Participation	5	5
	Total	20	18
Total score		100	81

*Criteria is Different by Each Waterworks Corporation Standard.

유형별 분류를 통한 개념정의를 실시하였다. 본 연구에서 제시된 개념 모식도 외에 각 지역의 특성들을 고려한다면, 더 많은 유형의 개념 모식도가 제시될 수 있을 것이다.

MWLS 기술을 개발하고 발전시키기 위해서는 이에 대한 표준화 방안의 수립이 필요하였다. 본 연구에서는 표준화 방안의 연구를 통해 6가지 표준화 방안을 도출하였으며, 각 표준화 방안들을 수립하기 위한 사항들을 정의하여 MWLS 표준화를 위한 로드맵을 제시하였다. MWLS 설계 및 시공 시, 이 로드맵을 활용한다면 효율성이 증대될 것이며 표준화 방안에 대한 접근이 용이해 질 것으로 판단된다.

아직 상용화되지 않은 MWLS 개발의 표준을 제시함으로써 MWLS의 개발 및 기술 정착을 도모하고 SWG의 안전성을 증대시켜 물의 효율적인 관리 및 공급이 가능하게 될 것이다. 향후 연구에서는 본 연구에서 제시한 유형분류와 표준화 방안을 근거로 하여 각 유형 및 지형별로 적용할 수 있는 방안과 표준화 방안 구축을 수행할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

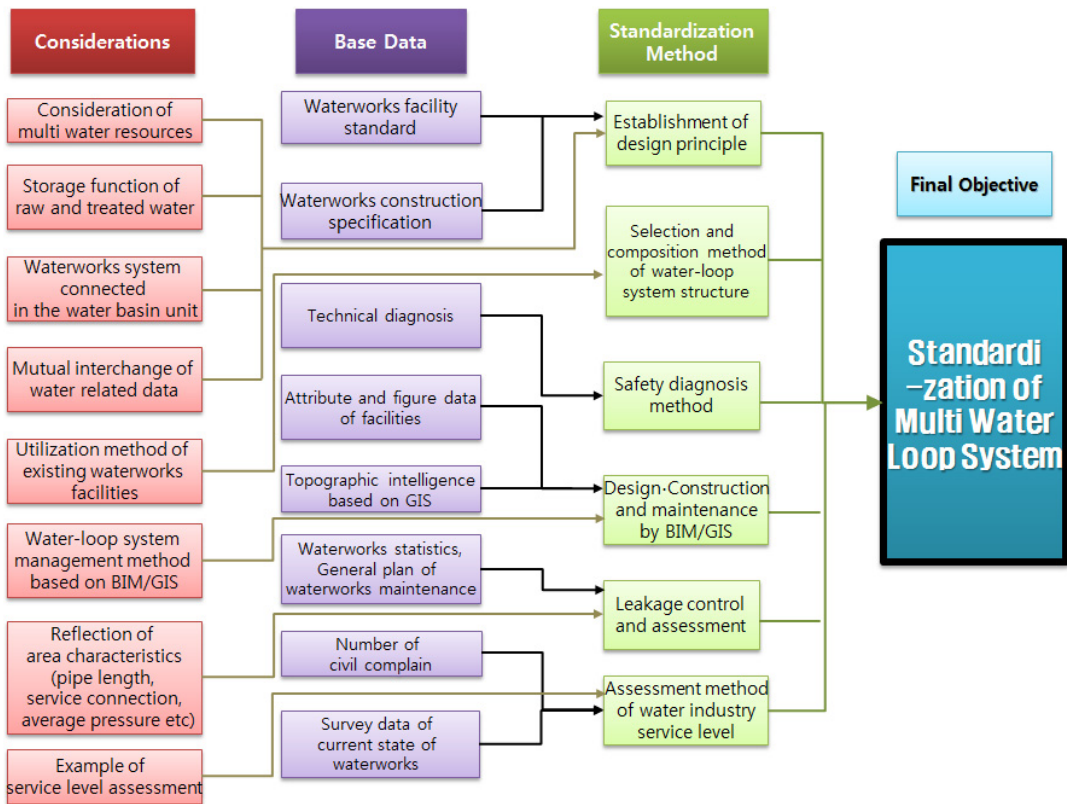


Fig. 6. Road map of MWLS Standardization Method.

References

1. Kang, T.W., Lee, J.W., Lee, W.S. and Choi, H.S., 2012. A Study on Civil BIM Description Neutral Library Development Direction for modeling the Construction Spatial Information, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, 20(4), pp. 145-151.
2. Kim, D.H., Park, K.H. and Min, K.J., 2013. A study on Smart Water Grid through IT Convergence, *The Society of Digital Policy & Management*, 11(7), pp. 27-40.
3. Kong, M.S., Lee, H.D., Kang, S.W. and Lee, J.H., 2013. Analysis of Performance Indicator for Leakage Management in Water Supply System. *Journal of Water Treatment*, 21(5), pp. 33-41.
4. Lambert, A., Brown, G., Takizawa, M. and Waeimer, D., 1999. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems, *AUQA ISSN0003-7214*, pp. 1-15.
5. Lee, H.D., Hwang, J.W., Kwak, P.J. and Joo, C.N., 2004. Assessment of Underground Reservoir Supply System in the Building by Direct Test, 2004. *The Korean Society of Water and Wastewater*, 2004 (1), pp. 29-36.
6. Lee, H.D., Kong, M.S., Kang, S.W., Kwak, P.J., Park, E.Z., Park, J.H. and Lee, J.H., 2013. Survey of Foreign Countries Waterworks Pipeline Performance Indicators for Water Loss Reduction, *Korean Society of Environmental Engineers*, 2013(1), pp. 480-481.
7. Lee, H.D., Kwak, P.J., Kim, S.K., Joo, C.N., Hwang, J.W., Choi, J.H. and Shin, H.J., 2004. Pipe Reliability Assessment Technology by Direct Diagnosis Method in Water Distribution System, 2004. *Korean Society of Environmental Engineers*, 2004(1), pp. 1153-1160.
8. Ministry of Environment, *Guideline of Waterworks Facilities*, 2010.
9. Ministry of Environment, *Manual of Waterworks Pipeline Network Diagnosis*, 2007.
10. Park, G.G., 2010. A Study on Customer Satisfaction and Influence Factor of Local Government Waterworks Service, *Public policy review*, 24(1), pp. 157-178.