

## 물 재이용 분야 국제 표준동향 및 오존/과산화수소/자외선 조합 고도산화공정 성능시험방법 표준 개발\*

안주석\*\* · 박찬규\*\*\*

기후변화와 과도한 물 사용 등으로 인해 물의 사용량은 급증하고 있는 추세이며, 이를 해결할 수 있는 방안으로 물 재이용 산업이 급속도로 성장하고 있다. 이미 많은 국가에서 다양한 물 재이용 기술을 개발하고 실제 사용하고 있으며, 관련 산업의 자국 선점을 위해 물 재이용 기술의 성능평가 방법에 대한 표준기술 개발이 활발히 진행 중이다. 이에 본 연구에서는 물 재이용 분야에 ISO 국제 표준 동향을 살펴보고 ISO/TC 282/SC 3 20468-7 제안을 통해, OH라디칼의 직접측정 및 특정 난분해성 유기물질 제거효율 평가를 통한 오존/과산화수소/자외선 조합 고도산화공정의 성능시험방법 표준을 개발하였다.

주요어: 물 재이용, 국제표준, 고도산화공정, 성능시험, 표준개발

### 1. 서론

기후변화와 과도한 물 사용 등으로 인해 세계 물 사용량은 급증하는 추세이다. 2030년에는 전 세계의 수자원 공급량의 약 40%가 부족할 것으로 예상되며, 공급효율성을 개선한다고 해도 20% 정도밖에 해결할 수 없다는 비관적인 전망도 있다. 우리나라의 경우에도 2020년에는 연간 4.4억 톤의 물이 부족할 것으로 전망하고 있어 물 관리정책의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 물 재이용 산업은 과거 기존 수자원에만 의존하던 것과 달리

새로운 대체 수자원을 이용할 수 있는 각광 받고 있는 산업이며, 특히 하수처리장 최종 방류수 재이용은 갈수기에도 안정적인 유량 확보가 가능하도록 하는 좋은 대안이 될 수 있다.

하수 재이용이란 하수처리장에서 유입되는 하수를 여러 가지 공법을 사용하여 처리한 후 사용 용도에 맞게 재이용 하는 것을 말한다. 하수 재이용의 범위는 크게 농업용수, 조경수, 공업용수, 지하수충전용수, 환경용수, 음용수, 그리고 비 음용수 등이 있으며 조경수와 비 음용수를 합쳐서 중수도라고도 한다. 최근 하수처리장 최종 방류수 처리를 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 활성탄을 이용한 색도

\* 이 논문은 산업통상자원부 국가표준기술력향상사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (100800089,2018)

\*\* 한국사업기술시험원, 환경융합기술센터, 연구원 (jusuk@ktl.re.kr)  
연세대학교 건설환경공학과

\*\*\* 한국산업기술시험원, 환경융합기술센터, 책임연구원 (parkcg@ktl.re.kr)

와 유기물질 제거, 분리막(Membrane) 수처리 기술을 이용한 하수재이용 처리, 미량오염물질 제거를 위한 고도산화기술(Advanced Oxidation Process: AOP) 적용 등이 그것이다. 특히, 차세대 물 재이용 기술인 고도산화공정은 하수 성분을 농축시키거나 다른 상으로 변화시키지 않고 분해를 시킴으로써, 이차폐수가 발생하지 않기 때문에 처분하거나 재생해야 하는 물질이 없어 다수의 관련연구가 진행되고 있다. 그러나 고도산화공정의 특성상 O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, Fenton 등 많은 공정이 존재하여, 이를 객관적으로 평가할 수 있는 성능시험방법이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 물 재이용분야에 ISO 국제 표준 동향을 살펴보고, 고도산화공정으로 유입되는 유입수와 생산수, 그리고 반응조 내의 ·OH(Hydroxyl Radical)을 측정함과 동시에 고도산화공정으로만 분해할 수 있는 특정 미량 난분해성 유기물질(Persistent Organic Pollutants: POPs)의 제거 효율을 성능시험 인자로 하여 AOP 공정의 성능을 평가하는 국제표준을 개발하였다.

## II. 물 재이용 분야 국제표준 동향

### 1. 물 재이용 국내·외 현황

주요 국가별 하수처리수 재이용을 현황은 표 1과 같다. 물 재이용량이 가장 많은 국가는 미국(플로리다, 캘리포니아), 유럽 순이며, 재이용율이 높은 국가는 미국, 싱가포르, 호주 순이다. 또한 시장 규모는 2005~2015년 기준으로 7,081,000 천톤/년에서 19,892,500 천톤/년(또는 US달러로 280억 Capex)로 증가할 것으로 추정된다.

우리나라의 경우 2015년을 기준으로 총 하수처리량은 7,005,179천 톤/년이고 그 중 재이용량은 그림 1과 같이 14.56%인 1,027,456천 톤/년이다. 장내용수 중 세척수는 189,448천 톤/년, 냉각수는 61,623천 톤/년, 청소수는 27,702천 톤/년, 식수대는 618천 톤/년, 희석용수는 18,256천 톤/년, 장내 중수도는 120천 톤/년, 장내 기타용수는 233,619천 톤/년으로 전체 재이용수의 51.7%를

〈표 1〉 주요 국가별 하수처리수 재이용율 현황

구분	재이용량 (백만톤/년)	재이용율 (%)	주요 용도 (%)				
			공업용수	농업용수	하천/습지 유지용수	지하수 충진*	기타 도시 환경용수**
일본	196 (2005년)	1.5	10	6	33	-	51
싱가포르	138 (2010년)	30					
미국 플로리다	919 (2008년)	46	14	11	6	13	56
미국 캘리포니아	650 (2002년)	10	5	46	4	14	31
호주 <sup>1)</sup>	167 (2002년)	12	3	83	-	-	14
유럽	963 (2002년)	2.4	4	70	5	17	4

\* 간접 음용수원 또는 해수침수 및 지하수위 하강 방지 목적

\*\* 기타 도시환경용수: 도시관개용수, 경관용수, 친수용수, 화장실용수, 도로 및 가로수 청소용수 등  
주1) 용도 구분은 New South Wales 주의 경우임

차지하고 있다. 또한 장외용수 중 장외중수도는 1,262천 톤/년, 공업용수 53,484천 톤/년, 농업용수 16,480천 톤/년, 하천유지용수 369,164천 톤/년, 장외 기타용수 55,677천 톤/년으로 하천 유지용수로 가장 많이 쓰이고 있다.

연도별로는 2008년 재이용율 10.8%, 재이용량 712,019천 톤/년에서 2015년 재이용율 14.56%, 재이용량 1,027,456천 톤/년으로 매년 증가추세를 보이고 있으며, 하천유지용수가 전체 재이용수의 35.9%를 차지하고 있다. 또한 2015년 용도별 하수처리수 재이용 현황은 표 2와 같다.

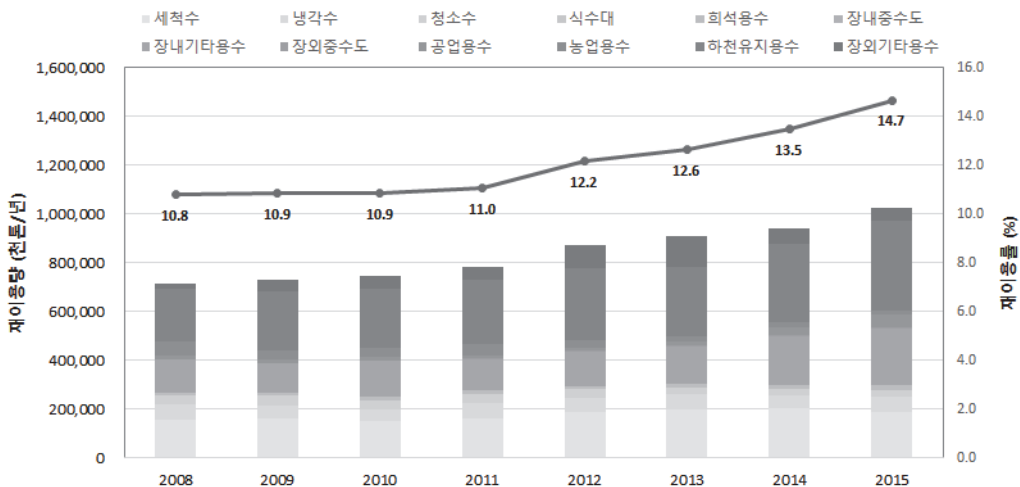
## 2. 물 재이용 국제표준 동향

수처리 분야의 국제표준은 미국과 캐나다 그리고 유럽을 중심으로 진행되고 있으며, 국제표준화 기구인 ISO에서는 수질(Water quality)분야의 ISO/TC 147과 상하수도 서비스(Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater

systems)분야의 ISO/TC 224 그리고 물 재이용(Water Reuse)분야의 ISO/TC 282가 있다. 현재 우리나라는 ISO/TC 147에서 수질 측정방법 표준화에 관한 활동을 하고 있으며, ISO/TC 224는 5종의 표준이 제정된 후 특별한 표준화 활동의 움직임이 없는 실정이다. ISO/TC 282는 2014년 1월 교토에서 열린 물 재이용 워크숍을 시작으로 활동을 시작하였으며, 2015년 5월 캐나다에서 공식적인 총회를 시작으로 표준화 활동이 활발하게 이루어지고 있다. 짧은 기간에도 그림 2와 같이 4개의 SC와 다수의 WG가 활동 중이며 표 3과 같이 현재까지 4개의 표준이 국제표준으로 등록되었고 21개의 표준이 개발 중에 있다.

현재 SC 03은 ISO/TC 282 내에서도 가장 활동적인 SC이다. 이미 각 국가별 상황에 맞는 다양한 물 재이용 기술이 적용되어 사용되고 있기 때문에, 이에 대한 위험도나 성능시험 방법에 대한 표준등록이 매우 중요하게 인식되고 있다. 또한 평가방법에 대한 표준이 해당 국가가 사용하고 있는 기술에 유리

〈그림 1〉 국내 용도별, 연도별 물 재이용량 및 재이용률 현황 (하수도 통계, 2016)



〈표 2〉 용도별 하수처리수 재이용 현황(2015)

용도		재이용량 (천 톤/년)	재이용률 (%)
장내용수	세척수	189,448	2.69
	냉각수	61,623	0.87
	청소수	27,702	0.39
	식수대	618	0.01
	회석용수	18,256	0.26
	장내중수도	120	0.002
	기타	233,619	3.31
장외용수	하천유지수	369,164	5.23
	공업용수	53,484	0.76
	농업용수	16,483	0.23
	장외중수도	1,262	0.02
	기타	55,677	0.79
합계		102,746	14.56

하게 작용한다면 물 재이용 시장을 선점할 수 있는 기회가 생기기 때문인 것으로 판단된다.

### III. 고도산화공정 성능시험방법 표준제안

〈그림 2〉 ISO/TC 282 물 재이용 분과 구조

ISO/TC 282 Water reuse
CAG Chair Advisory group
CTG 01 Communications task group
SC 01 Treated wastewater reuse for irrigation
WG 01 Treated wastewater use for irrigation
WG 02 Adaptation of irrigation system
SC 02 Water reuse in urban areas
WG 01 Centralized system design
WG 02 Centralized system management
WG 03 reclaimed water safety evaluation
SC 03 Risk and performance evaluation
WG 01 Health risk
WG 02 Performance evaluation
SC 04 Industrial water reuse
WG 01 characterization of industrial WWT
WG 02 Industrial wastewater classification
WG 03 Industrial cooling water reuse
WG 04 Pilot plant for industrial WWT
WG 02 Terminology
WG 03 Water system for biopharma industries

#### 1. 연구모형 및 연구문제

한국산업기술시험원은 2014년부터 물 재이용 분야의 국제표준화 활동 및 전문위원회 운영을 통해 표준화 활동을 시작하였고, KATS로부터 간사기관 및 표준협력개발기관으로 지정되었다. 정기적인 전문위원회 운영을 통해 수요조사를 수행하였으며, 그 결과 고도산화공정에 대한 성능시험방법 표준을 제안하였다.

고도산화공정은 기존의 일반적인 산화방법에 비해 월등히 강력한 산화방법으로 주로 ·OH를 생성해서 오염물질을 분해하는 방법이다. 표 4와 같이 기존의 생물학적 수처리나 막여과, 이온교환, 자외선(UV), 오존(O<sub>3</sub>) 공정으로 제거하기 힘든 미량 난분해성 유기 물질을 제거할 수 있는 공정이기도 하다.

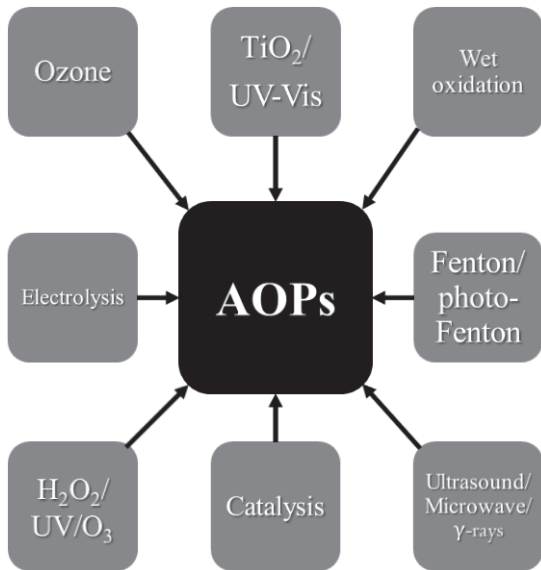
〈표 3〉 ISO/TC 282 등록 표준 4종 및 개발 표준 21종

등록/개발	구분	번호	명칭	
등록	ISO/ TC 282/ SC 01	16075-1:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation	
		16075-2:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 2: Development of the project	
		16075-3:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 3: Components of a reuse project for irrigation	
		16075-4:2016	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 4: Monitoring	
	개발중	ISO/ TC 282/ SC 02	ISO/DIS 20419	Treated wastewater reuse for irrigation - Guidelines for the adaptation of irrigation systems and practices to treated wastewater
			ISO/AWI 22238	Water reuse - A guideline to wastewater disinfection and equivalent treatments
		ISO/ TC 282/ SC 03	ISO/FDIS 20760-1	Water reuse in urban areas -- Guidelines for centralized water reuse system -- Part 1: Design principle of a centralized water reuse system
			ISO/NWIP 20760-2	Water reuse in urban areas -- Guidelines for centralized water reuse system -- Part 2: Management of a centralized water reuse system
			ISO/DIS 20761	Water reuse in urban areas -- Guidelines for water reuse safety evaluation: assessment parameters and methods
			ISO/DIS 20426	Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse
개발중	ISO/ TC 282/ SC 04	ISO/DIS 20468-1	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 1: General	
		ISO/AWI 20468-2	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 2: Methods to evaluate environmental performance of treatment systems on the basis of greenhouse gas emissions	
		ISO/AWI 20468-3	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 3: Part3: Ozone treatment technology	
		ISO/AWI 20468-4	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 4: UV Disinfection	
		ISO/DIS 20469	Guidelines for water quality grade classification for water reuse	
		ISO/NWIP 20468-5	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 5: Membrane Filtration	
		ISO/NWIP 20468-6	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 6: Ion Exchange	
		ISO/NWIP 20468-7	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems - Part 7 Advanced Oxidation Process	
	ISO/ TC 282/ SC 04	ISO/CD 21939-1	A calculation method and expression for industrial wastewater treatment energy consumption for the purpose of reuse - Part 1: Biological processes	
		ISO/WD 22447	Industrial wastewater classification	
ISO/ TC 282/ SC 04	ISO/AWI 22449-1	Industrial cooling water reuse - Part 1: Classification for industrial cooling water systems		
	ISO/AWI 22449-2	Industrial cooling water reuse - Part 2: Guidelines for cost analysis		
	ISO/AWI 22524	Pilot plan for industrial wastewater treatment facilities in the objective of reuse		
	ISO/AWI 23043	Evaluation method of industrial wastewater treatment and reuse technology		
ISO/AWI 23044	Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater reuse			

〈표 4〉 물 재이용 정수처리 기술의 주요 처리대상물질 (Biochemical Oxygen Demand: BOD 처리 후)

Technologies		Target constituents	Separation	Disinfection		Desalination	Oxidation or other			
			Turbidity or TSS	Pathogens			Conductivity or TDS	Color	Odor	POPs
				Bacteria	Virus					
Membrane	MF		✓	✓						
	UF		✓	✓	✓					
	NF/RO			✓	✓	✓	✓	✓		
Ion exchange	Resin				✓	✓				
	Membrane				✓					
UV				✓	✓					
Ozone				✓	✓		✓	✓		
AOP				✓	✓		✓	✓	✓	
(note)			Typical monitoring parameter		Additional target constituents					

〈그림 3〉 AOP의 종류 및 특성



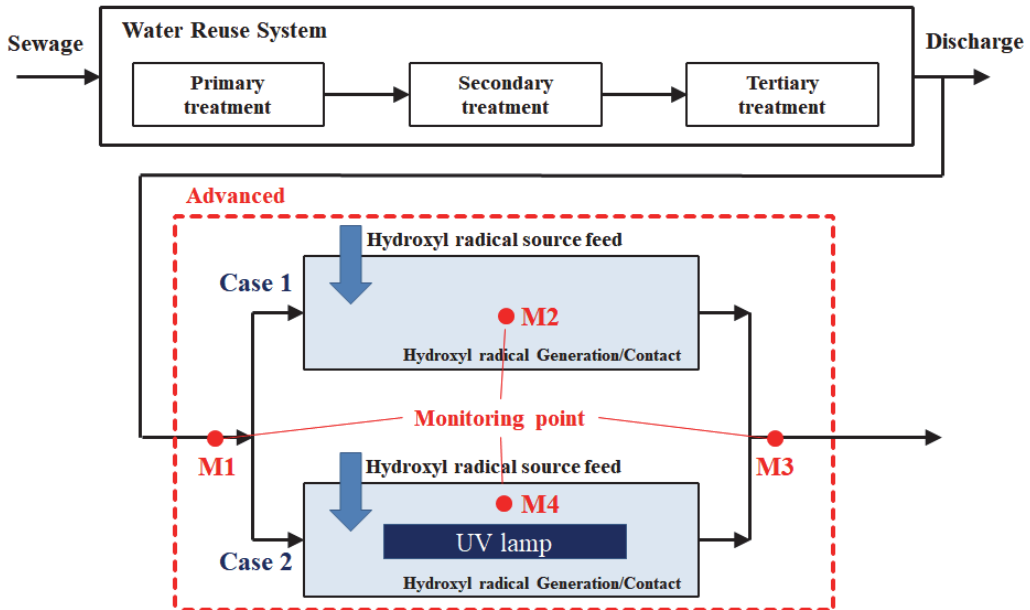
주로 ·OH을 생성할 수 있는 오존, 과산화수소, 자외선의 조합을 통한 시스템을 말하지만, 이외에도 그림 3과 같이 다양한 조합을 통해 강력한 산화제를

〈그림 4〉 ISO/TC 282/SC 3 20468-7 제안서

1. Scope
2. Normative references
3. Terms and definitions
4. Abbreviated terms
5. System configuration
  - 5.1 Radical source feeding
  - 5.2 Radical generation/contact
  - 5.3 Radical monitoring
6. Function requirement and evaluation method
  - 6.1 Functional requirement
    - 6.1.1 General
    - 6.1.2 Performance evaluation procedure
  - 6.2 Non-functional requirement
    - 6.2.1 Performance characteristics
    - 6.2.2 Environmental factor
    - 6.2.3 Economic factor
    - 6.2.4 Dependability

생성하는 방법을 통칭한다. 때문에 ISO/TC 282/SC 3에서도 고도산화공정에 대한 표준 개발이 몇 차례 논의된 바 있으나 성능시험방법 표준개발이 쉽지

〈그림 5〉 고도산화공정의 ·OH 모니터링 지점



않은 실정이다. 이에 ISO/TC 282/SC 3 20468-7 을 간사국으로부터 부여받아 각 나라와 전문위원회 운영 수요조사 결과를 바탕으로 그림 4와 같이 제안서를 제안하였다.

고도산화공정 성능시험을 하는데 있어, 산화제를 생성하는 모든 방법에 대한 성능시험표준을 제안하기 보다는 산업적/상업적으로 가장 많이 사용되고 있는 오존/과산화수소/자외선의 조합으로만 구성할 수 있는 고도산화공정 성능평가로 표준제안의 범위를 한정하였으며, 이에 대해 ISO/TC 282/SC 3 내의 전문가의 동의를 이끌어 냈다.

또한 고도산화공정을 구성하는데 있어 직접적인 장치의 평가지표를 Functional requirement로, 그렇지 않은 평가지표를 Non-Functional Requirement로 구분하여 성능시험방법을 제안하였다. Functional requirement의 경우 그림 5와 같이 1차적으로 고

도산화공정으로 유입되는 유입수와 생산수, 그리고 반응조 내의 ·OH를 직접적으로 측정하여 성능을 측정할 뿐만 아니라, ·OH이 지속시간이 매우 짧아 측정값의 신뢰도가 낮을 수 있다는 단점을 극복하기 위하여 2차적으로 고도산화공정으로만 분해할 수 있는 특정 미량 난분해성 유기물질의 제거효율을 지표화하여 성능을 평가할 수 있도록 하는 성능시험방법을 제안하였다. Non-Functional Requirement의 경우 ISO/TC 282/SC 3 내 전문가 그룹에서 공동으로 작업하고 있는 문서인 ISO/TC 282/SC 3/20468-1 General을 통해 전문가 그룹 내 의견이 정리되면 해당 내용을 고도산화공정에 맞도록 수정하여 반영할 예정이며, 이러한 내용들이 포함된 ISO/TC 282/SC 3/20468-7 AOP 성능시험방법 표준 제안이 NP단계가 통과되어 WD단계를 수행중이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 물 재이용 분야 국제표준 동향을 살펴보고 OH라디칼의 직접측정 및 특정 난분해성 유기물질 제거효율 평가를 통한 오존/과산화수소/자외선 조합 고도산화공정의 성능시험방법 표준을 개발하고자 하였다.

물 재이용 분야는 대체 수자원으로 각광 받고 있는 산업으로, 이미 다양한 물 재이용 기술이 많은 국가에서 적용되어 사용하고 있는 실정이다. 이에 물 재이용 기술 성능평가 방법에 대한 표준기술 선점을 위해 많은 국가들이 ISO/TC 282/SC 3내에서 활동을 하고 있으며, 우리나라도 ISO/TC 282/SC 3/20468-7 제안을 통해 물 재이용 기술 중 고도산화공정 성능시험방법에 대한 표준을 확보하고자 한다.

이를 시작으로 블루오션이라 불리는 세계 물 시장에 핵심 분야인 물 재이용 기술의 다양한 기술표준을 확보하기를 기대하며, 또한 그 과정에서 국내 기업의 다양한 의견과 수요를 반영하여 시장 활성화와 기업지원에 기여할 수 있기를 바라 마지않는다.

#### 참고문헌

B. D. Cho. Possibility of the wastewater reclamation by using ultrafiltration and reverse osmosis membrane. The University of Seoul (2010)

Changwoo Cho, Juntar Kim, Jeongjae Park, Juhoon Song, Miseon Lee, Juri Jeong and Jaewoong Ryu. A Study on Reuse of Reclaimed Water in Jeonbuk Province. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 39(5), pp.237-245 (2017)

Glaze, W. H., Kang, J. W. and H. H. Chapin. The

Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozon, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozon Sc. & Eng.*, 9(4), 335-345 (1987)

Il-Ho Kim, Hiroaki Tanaka. Applicability of UV and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Processes in the Control of Pharmaceuticals and Personal Care Products and Microbiological Safety for Water Reuse. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 32(7), pp. 722-729 (2010)

In S. Kim, Byung Soo Oh. Technologies of Seawater Desalination and Wastewater Reuse for Solving Water Shortage. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 30(12), pp.1197-1202 (2008)

K. H. Ahn, K. G. Song, J. H. Kweon and H. Y. Cha. Removal of color and organic substances using granular activated carbon for wastewater reclamation. *J. Korea Technol. Soc. Water and Wastewater Treat.*, 6(2), 11-17 (1998)

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. Development of Smart Water Production Technology in Microgrid. pp. 21-22 (2015)

Ministry of Construction and Transportation (KMA). Water Vision 2006~2020. pp.9-11 (2006)

Takashi Asano, Franklin L. Burton, Harold L. Leverenz, Ryujiro Tsuchihashi, and George Tchobanoglous. *Water Reuse. Metcalf & Eddy/AECOM* (2006)

The World Bank. Charting our water future, economic frameworks to inform decision-making. 2030 Water Resources Group, pp. 5-7 (2009)

논문접수일 : 2018. 01. 01  
 1차수정본접수일 : 2018. 04. 18  
 게재확정일 : 2018. 06. 12



## A Study on International Standards of Water Reuse and Standardization for Advanced Oxidation Process(AOP) Combining O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV

An, Jusuk\* · Park, Chan-gyu\*\*

### Abstract

The use of water is on the rise due to climate change and excessive water use, and the reuse industry is rapidly growing as a solution. Many countries are already developing and using a variety of technologies for reuse of water, and are actively developing a standard technology for evaluating the performance of water reuse technologies to premish the relevant industry. Accordingly, in this study, we examined the trend of ISO international standard in the field of water reuse. And through the proposal of ISO / TC 282 / SC 3 20468-7, the performance test method standard of advanced oxidation process combining O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV was developed by using direct measurement of OH radical and removal efficiency of specific refractory organic matter.

※ Key Words: Water Reuse, International Standard, Advanced Oxidation Processes, Performance evaluation, Standardization

---

\* Researcher, Environmental Convergence Technology Center, Korea Testing Laboratory(KTL)  
School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University

\*\* Senior Researcher, Environmental Convergence Technology Center, Korea Testing Laboratory(KTL)

